

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 للزراعة - الحراش - الجزائر

ECOLE NATIONALE SUPÉRIEURE AGRONOMIQUE EL-HARRACH-ALGER



ECOLE DOCTORALE D'AMÉLIORATION DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES ET  
RESSOURCES GÉNÉTIQUES

MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de magistère en agronomie  
Spécialité : Amélioration des Productions Végétales et Ressources Génétiques

THÈME

Etude de l'interaction génotype x environnement de quelques lignées  
de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et analyse de comportement de 30  
populations F<sub>2</sub> et leurs variétés parentales

Présenté par : *M<sup>elle</sup>. DAHLIA Fatima*

**Jury :**

**Président :** M<sup>m<sup>e</sup></sup>. KHELIFI M. (Professeur à l'ENSA)  
**Promoteur :** M<sup>m<sup>e</sup></sup>. MEKLIICHE-HANIFI L. (Maître de conférences à l'ENSA)  
**Examineurs :** M<sup>f</sup>. AISSAT A. (Maître de conférences à l'université de Blida)  
M<sup>f</sup>. KHELIFI L. (Professeur à l'ENSA)

**Promotion : 2007/2009**

**Soutenu le : 06/04/2010**

يقول الله تعالى:

"كمثل حبة أنبتت سبع سنابل

في كل سنبله مائة حبة"

*A maman et papa.*

# Remerciement

*La louange est à Dieu, le Seul et Unique à Qui je dois toute mon obéissance et à Qui j'adresse mes amples remerciements ;*

*Mes remerciements et ma reconnaissance iront à madame MeKliche-Hanifi L, ma promotrice qui a suivi ce travail avec beaucoup d'intérêt, qu'elle trouve ici mes vifs remerciements pour sa disponibilité, son aide et ses précieux conseils ;*

*Mes remerciements iront également à madame KHELIFI M., qui a accepté d'examiner et de présider la soutenance de ma thèse ; Je tiens à remercier monsieur KHELIFI L. et Monsieur AISSAT A. qui ont fait l'honneur de juger mon travail ;*

*Je tiens à remercier également madame Anissa, (département de phytotechnie) ;*

*Je tiens à remercier vivement, Kheira Y, Nouara B., Nawel L., Sofia B., Fethi G., Meheiddine S., Mohamed T., Mohamed Fateh Z., M'hamed H., Youcef M., Abdallah L., et Billal K., pour leur précieuse collaboration, leurs aides et leurs conseils.*

*Mes remerciement iront également à khali abdelkader pour son aide et à ma grand-mère Achoura pour son soutien et ses prières ;*

*Je tiens à remercier ma sœur Achoura et mes frères Abdelhamid et Abdelkader pour leurs soutiens et aides ainsi que mon frère Ossama TAIBI, qui n'a pas hésiter à m'aider malgré la distance qui sépare nos pays (Algérie – Syrie)*

*Je tiens à remercier tous les ouvriers, techniciens, et ingénieurs qui m'ont aidé à réaliser mon expérimentation durant toute l'année et plus particulièrement Ridha, Nacer et Mohamed;*

*Je ne saurais terminer sans remercier, la personne qui a contribué le plus à la finalisation de ce travail, je suis reconnaissante à Khaled RAHAL pour son aide, son soutien, la bonne ambiance qu'il a su créer et les idées fructueuses que nous avons échangées durant et après l'expérimentation ;*

*À toute personne qui a participé de près ou de loin à la finalisation de ce travail, qu'elle trouve ici l'expression de mes reconnaissances les plus sincères.*

**FATIMA**

# Sommaire

<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
<b>PARTIE I : INTERACTION GENOTYPE X ENVIRONNEMENT</b>	
<b>Synthèse bibliographique</b>	
<b>CHAPITRE 1 : Généralités sur le blé.....</b>	<b>3</b>
1. Données succinctes sur le blé dur.....	3
1.1. Origine.....	3
1.1.1. Origine génétique.....	3
1.1.2. Origine géographique.....	3
1.2. Classification.....	3
1.3. Aperçu sur la morphologie du blé dur.....	4
1.4. Exigences agro-écologiques du blé dur.....	4
<b>CHAPITRE 2 : Méthodes d'analyse de l'interaction génotypes X milieux.....</b>	<b>5</b>
1. Généralités.....	5
2. Concepts de stabilité.....	6
3. Concept de l'adaptation.....	7
3.1. Mieux connaître le milieu pour comprendre l'adaptation au milieu.....	7
3.2. Origine génétique de l'adaptation au milieu.....	8
4. L'interaction génotype x milieu.....	8
4.1. Classification des interactions génotype x environnement.....	8
4.2. Actions du macro-milieu et de l'interaction génotype x environnement.....	10
4.2.1. L'hypothèse d'additivité des effets du macro-milieu et du génotype, et ses implications.....	10
4.2.2. L'interaction génotype x environnement.....	10
4.3. Efficacité de la sélection en présence d'interactions génotype x environnement.....	11
5. Méthodes statistiques pour mesurer l'interaction G x E.....	11
5.1. Les méthodes d'analyse de la variation quantitative.....	11
5.1.1. La description de la variabilité phénotypique.....	11
5.1.2. Effets génétiques et environnementaux.....	12
5.1.3. Effets additifs et non additifs.....	12
5.1.4. L'héritabilité.....	12
5.2. Méthode d'analyse de l'interaction génotype x environnement.....	12
5.2.1. Méthodes uniparamétriques.....	13
5.2.1.1. Modèle prenant en compte uniquement l'effet génotype.....	13
5.2.1.2. Modèle prenant en compte les effets d'interaction génotype-milieu.....	13
5.2.2. Méthodes multiparamétriques.....	14
5.2.3. Modèles mixtes.....	15
5.2.4. Méthodes non-paramétriques.....	15
5.2.5. Méthodes pour réaliser des groupes de génotypes et/ou de milieux.....	16
5.3. Avantages et limites des méthodes d'analyse de l'interaction génotype x environnement.....	17

## Matériel et méthodes

1. Objectif de l'essai.....	19
2. Conditions de réalisation des essais.....	19
2.1 . Localisation des zones d'étude.....	19
2.2 Conditions pédologiques et climatiques des zones d'étude.....	21
2.2.1. Le sol .....	21
2.2.2. Le climat.....	23
2.3. Le matériel végétal.....	25
2.4. Dispositif expérimental.....	25
2.5. Itinéraire technique.....	28
2.5.1. Travail du sol.....	28
2.5.2. Semis.....	28
2.5.3. Fertilisation.....	28
2.5.4. Désherbage.....	30
2.5.5. Traitements phytosanitaires.....	30
3. Analyse statistiques.....	31
Etude de l'hétérogénéité des variances (Muir, 1992).....	32
Le concept du biplot.....	33

## Résultats et discussions

1. Etude comparative des géotypes par la méthode conventionnelle.....	36
1.1. Analyse des différents effets pour les différents caractères.....	36
1.2. Coefficients de variation et héritabilité.....	36
1.3. Moyennes des différents caractères et corrélations phénotypiques.....	37
2. Etude de l'interaction géotype x environnement.....	43
2.1. Adaptation des géotypes.....	43
2.2. Analyse générale des effets par la méthode de Finlay-Wilkinson.....	45
2.3. Rendement en grain (parcellaire).....	46
2.3.1. Décomposition de la variance d'interaction.....	46
2.3.2. Etude de l'écovalence $W_i$ (Wricke, 1962).....	48
2.3.3. Etude de la stabilité de la variance ( $\sigma^2_i$ ) de Shukla .....	49
2.3.4. Etude de l'hétérogénéité des variances (Muir, 1992).....	50
2.3.5. Étude G.GE biplot (bidirectionnelle) .....	51
2.4. Le nombre de jours nécessaires à l'épiaison.....	52
2.4.1. Décomposition de la variance d'interaction.....	52
2.4.2. Etudes des pentes.....	52
2.4.3. Etude de l'écovalence $W_i$ (Wricke, 1962).....	54
2.4.4. Etude de la stabilité des variances ( $\sigma^2_i$ ) de Shukla.....	55
2.4.5. Etude de l'hétérogénéité des variances (Muir, 1992).....	56
2.4.6. Étude G.GE biplot (bidirectionnelle).....	57
2.5. Le nombre de jours nécessaires à la floraison.....	58
2.5.1. Décomposition de la variance d'interaction.....	58
2.5.2. Etudes des pentes.....	58
2.5.3. Etude de l'écovalence $W_i$ (Wricke, 1962).....	60
2.5.4. Etude de la stabilité des variances ( $\sigma^2_i$ ) de Shukla.....	61
2.5.5. Etude de l'hétérogénéité des variances (Muir, 1992).....	62
2.5.6. Étude G.GE biplot (bidirectionnelle).....	63

## PARTIE II : CROISEMENT DIALLELE

### Synthèse bibliographique

Introduction.....	64
1. Historiques.....	65
2. Objectifs de la sélection et de l'amélioration des plantes.....	66
2.1. Accroissement du rendement et sa régularité.....	67
2.2. Adaptation et résistance aux contraintes abiotiques et biotiques.....	67
2.2.1. Sélection pour la résistance aux contraintes abiotique.....	67
2.2.2. Sélection pour les contraintes biotiques.....	69
2.3. Amélioration qualitative des productions.....	71
2.4. Diminution du coût de production.....	72
3. Bases biologiques de la sélection.....	73
3.1. Méthodes de sélection avant l'hybridation.....	73
3.1.1. Sélection massale.....	73
3.1.2. Sélection des lignées pures.....	74
3.2. Méthodes de sélection après hybridation.....	74
3.3. Sélection généalogique.....	74
3.3.1. Méthode Bulk.....	75
4. Etude du croisement diallèle.....	76
4.1. Définition.....	76
4.2. Déterminisme génétique.....	76
4.2.1. Action génique.....	76
4.2.2. L'additivité.....	76
4.2.3. La dominance.....	77
4.2.4. L'épistasie.....	77
4.3. L'héritabilité.....	78
4.4. L'hétérosis.....	78
5. Méthode d'interprétation du diallèle.....	79
5.1. Méthode de Griffing.....	79
5.2. Méthode de Hayman.....	80

### Matériel et méthodes

1. Description du site expérimental.....	81
1.1. Caractéristiques pédoclimatiques du milieu.....	81
1.1.1. Caractéristiques intrinsèques du sol.....	81
1.1.2. Conditions climatiques de la campagne d'étude.....	81
1.2. Matériel végétal.....	84
1.3. Dispositif expérimental.....	86
1.4. Itinéraire technique.....	89
1.4.1. Précédent cultural.....	89
1.4.2. Travail du sol.....	89
1.4.3. Semis.....	89
1.4.4. Fertilisation.....	89
1.4.5. Désherbage chimique.....	91
1.4.6. Traitement phytosanitaire.....	91
1.4.7. Récolte.....	92
1.5. Caractères mesurés.....	93
1.5.1. Caractères phénologiques.....	93
1.5.2. Caractères agronomiques.....	93

1.5.3. Caractères morphologiques.....	93
2. Méthodes de traitement des données.....	95
2.1. Analyse statistique.....	96
2.2. Analyse génétique.....	96
2.2.1. Analyse diallèle de Griffing (1956).....	96
2.2.2. Hétérosis.....	96
	97

## Résultats et discussions

1. Etude des différents caractères agronomiques, morphologiques et phénologiques.....	
1.1. Caractères agronomiques.....	100
1.1.1. Nombre de pieds par mètre carré.....	100
1.1.2. Nombre d'épis par mètre carré.....	100
1.1.3. Nombre de grains par épi.....	101
1.1.4. Nombre total d'épillets.....	102
1.1.5. Nombre d'épillets fertiles par épi.....	105
1.1.6. Nombre d'épillets stériles par épi.....	105
1.1.7. Poids de mille grains.....	106
1.1.8. Poids de la biomasse aérienne.....	106
1.1.9. Indice de récolte.....	111
1.1.10. Rendement en grain estimé.....	112
1.1.11. Rendement en grain réel.....	112
1.2. Caractères phénologiques.....	113
1.2.1. Date d'épiaison.....	115
1.2.2. Date de floraison.....	115
1.2.3. Phase épiaison-floraison.....	116
1.3. Caractères morphologiques.....	117
1.3.1. Hauteur de la tige.....	121
1.3.2. Longueur du col de l'épi.....	121
1.3.3. Longueur de l'épi.....	122
1.3.4. Longueur des barbes.....	122
2. Etude des performances des rendements en grain.....	123
2.1. Sélection pour le rendement.....	126
2.2. Sélection pour les caractères liés au rendement en grain.....	126
2.2.1. Etude des corrélations.....	126
2.2.2. Droites de régression.....	126
3. Analyse génétique des différents caractères étudiés au niveau du diallèle.....	128
3.1. Hérité des caractères selon l'analyse de Griffing.....	130
3.1.1. Etude des aptitudes générales (AGC) à la combinaison.....	130
3.1.2. Etude des aptitudes spécifiques (ASC) à la combinaison.....	130
3.1.3. Etude du rapport AGC / ASC.....	131
3.2. Hétérosis.....	132
3.2.1. Hétérosis par rapport au parent moyen.....	135
3.2.2. Hétérosis par rapport au meilleur parent.....	135
3.2.3. Hétérosis par rapport à la meilleure variété.....	136
	137
<b>Conclusion générale.....</b>	
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>138</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>142</b>
	<b>156</b>

## Liste des figures

Fig.1. Une classification possible des différentes méthodes d'analyse de la stabilité et de l'interaction génotype x environnement.....	13
Fig.2. Localisation des zones d'étude.....	20
Fig.3. Images satellites montrant les zones d'étude.....	20
Fig.4. Températures moyennes et pluviométries des différentes campagnes agricoles.....	24
Fig.5. La géométrie du biplot.....	37
Fig.6. Relation entre d'une part le rendement en grain et d'autre part le nombre de grains par épi et le rendement en grain estimé.....	46
Fig.7. Rendement en grain parcellaire des différents génotypes dans les différents environnements.....	50
Fig.8. La géométrie du biplot pour le caractère rendement en grain.....	54
Fig.9. Précocité à l'épiaison des génotypes dans les différents environnements.....	56
Fig.10. La géométrie du biplot pour le caractère précocité à l'épiaison.....	60
Fig.11. Nombre de jours nécessaire à la floraison des différents génotypes dans les différents environnements.....	62
Fig.12. La géométrie du biplot pour le caractère précocité à la floraison.....	66
Fig.13. Courbe ombrothermique de GAUSSEN de la campagne 2008-2009.....	86
Fig.14. Variation des précipitations et de la température moyenne.....	86
Fig.15. Photos illustrant le dispositif expérimental à différents stades de l'essai.....	89
Fig.16. le dispositif expérimental.....	91
Fig.17.Symptômes d'une maladie bactérienne sur les barbes.....	102
Fig.18.Symptômes de la jaunisse nanisante de l'orge sur blé dur.....	102
Fig.19.Symptôme de la fusariose des épis provoqué par <i>Fusarium roesum</i> .....	102
Fig.20.Symptôme de la <i>Septoriose</i> .....	102
Fig.21.Nombre de pieds par m <sup>2</sup> .....	106
Fig.22.Nombre d'épis par m <sup>2</sup> .....	107
Fig.23.Nombre total d'épillets par épi.....	111
Fig.24.Nombre d'épillets fertiles et stériles.....	112
Fig.25. Poids de mille grains.....	113
Fig.26.La biomasse aérienne (q/ha).....	117
Fig.27. Précocité à l'épiaison.....	121
Fig.28. Précocité à la floraison.....	122
Fig. 29. Durée entre les phases épiaison et floraison.....	123
Fig. 30. Longueur du col de l'épi.....	127
Fig. 31. Longueur de l'épi.....	128
Fig.32. Relation entre le rendement en grain et certains caractères agronomiques et morphologiques.....	132

## Liste des tableaux

Tableau 1. Classification des interactions entre génotype et environnements.....	9
Tableau 2 : Résumé des méthodes uniparamétriques permettant l'analyse de l'interaction génotype x environnement.....	14
Tableau 3 : Résumé des méthodes multiparamétrique permettant l'analyse de l'interaction génotype x environnement.....	15
Tableau 4 : Résumé des méthodes non paramétriques permettant l'analyse de l'interaction génotype x environnement.....	16
Tableau 5 : Résumé des méthodes pour réaliser des groupes de génotypes et/ou de milieux.....	17
Tableau 6: Localisation des quatre essais étudiés.....	19
Tableau 7 : Résultats des analyses physico-chimiques du sol des deux zones d'étude.....	22
Tableau 8 : Caractéristiques du matériel végétal utilisé.....	26
Tableau 9: Techniques de travail du sol et dates de semis au niveau des quatre essais.....	31
Tableau 10 : Date de semis, pluviométrie totale, irrigation, dose d'azote et observations des différents essais.....	31
Tableau 11 : Dates et doses de fertilisants apportées dans chaque essai.....	32
Tableau 12 : Dates et doses de désherbants apportées dans chaque essai.....	33
Tableau 13 : Dates et doses des traitements phytosanitaires apportées dans chaque essai.....	33
Tableau 14 : Liste des numéros attribués aux génotypes dans les histogrammes et les tableaux des moyennes.....	38
Tableau 15: Carrés moyens et degrés de liberté des différentes sources de variation pour les différents caractères étudiés.....	39
Tableau 16 : Coefficients de variation (erreur et génétique), héritabilités au sens large, valeurs moyennes extrêmes et générales des caractères présentant une différence génotypique significative.....	40
Tableau 17: Moyennes des génotypes (Moy) et coefficients de détermination ( $R^2_{ij}$ ) (entre l'index du milieu et la moyenne) des différents caractères étudiés.....	42
Tableau 18 : Coefficients de corrélations entre le rendement en grain et les différents caractères...	43
Tableau 19: Classement des génotypes pour le rendement en grain parcellaire.....	47
Tableau 20 : Classement des génotypes selon leurs types d'adaptation.....	48
Tableau 21 : Analyse de la variance de Finlay-Wilkinson pour le rendement en grain parcellaire..	49
Tableau 22: moyennes, $S^2_{di}$ , $b_i$ , limites de confiance et coefficients de détermination $R^2_{ij}$ du rendement en grain parcellaire.....	51
Tableau 23 : Etude de l'écovalence de Wricke ( $W_i$ ) et la stabilité de Shukla ( $\sigma^2_i$ ) pour le rendement en grain parcellaire.....	52
Tableau 24 : Somme de carrés des écarts de l'hétérogénéité de la variance, de la corrélation incomplète et de l'interaction génotype x milieu de chaque génotype étudié pour le rendement en grain parcellaire.....	53
Tableau 25: Analyse de la variance de Finlay-Wilkinson pour le nombre de jours nécessaire à l'épiaison.....	55

Tableau 26: moyennes, $S^2_{di}$ , $b_i$ , limites de confiance et coefficient de détermination $R^2_{ij}$ du nombre de jours nécessaire à l'épiaison.....	57
Tableau 27 : Etude de l'écovalence de Wricke ( $W_i$ ) et la stabilité de Shukla ( $\sigma^2_i$ ) pour le nombre de jours nécessaire à l'épiaison.....	58
Tableau 28 : Somme de carrés des écarts de l'hétérogénéité de la variance, de la corrélation incomplète et de l'interaction génotype x milieu de chaque génotype étudié pour le nombre de jours nécessaire à l'épiaison.....	59
Tableau 29: Analyse de la variance de Finlay-Wilkinson pour le nombre de jours nécessaire à la floraison.....	61
Tableau 30 : moyennes, $S^2_{di}$ , $b_i$ , limites de confiance et coefficient de détermination $R^2_{ij}$ du nombre de jours nécessaire à la floraison.....	63
Tableau 31 : Etude de l'écovalence de Wricke ( $W_i$ ) et la stabilité de Shukla ( $\sigma^2_i$ ) pour le nombre de jours nécessaire à la floraison.....	64
Tableau 32 : Somme de carrés des écarts de d'hétérogénéité de variance, de corrélation incomplète et de l'interaction génotype x milieu pour chaque génotype étudié.....	65
Tableau 33: Stratégie de sélection en fonction des variances d'aptitude à la combinaison (Demarly, 1977).....	83
Tableau 34 : Résultats des analyses physico-chimique du sol (2008-2009).....	85
Tableau 35 : Pluviométrie et température pour la campagne agricole 2008/2009.....	85
Tableau 36 : Caractéristiques des différentes variétés.....	88
Tableau 37 : Récapitulatif de la fertilisation azotée.....	92
Tableau 38 : Récapitulatif de la fertilisation phosphorique.....	93
Tableau 39 : Récapitulatif de la fertilisation potassique.....	93
Tableau 40 : Récapitulatif de la fertilisation en oligo-éléments.....	94
Tableau 41: Récapitulatif des différents traitements phytosanitaires.....	95
Tableau 42 : Analyse de la variance des aptitudes générale et spécifique à la combinaison (méthode 4 modèle fixe).....	99
Tableau 43 : Liste des numéros attribués aux génotypes dans les histogrammes et les tableaux des moyennes.....	101
Tableau 44 : Estimation des effets d'AGC du caractère nombre d'épis par mètre carré au niveau des 6 parents.....	133
Tableau 45 : Estimation des effets d'ASC des 15 croisements en $F_2$ pour le nombre d'épis par $m^2$ .....	136
Tableau 46 : Calcul des composantes de la variation de l'aptitude à la combinaison.....	135

## Liste des abréviations

<b>ACIA :</b>	Agence canadienne d'inspection des aliments.
<b>AGC :</b>	Aptitude générale à la combinaison.
<b>ANOVA :</b>	Analyse de la variance.
<b>Ard :</b>	Ardente
<b>ASC :</b>	Aptitude spécifique à la combinaison.
<b>B :</b>	Bloc.
<b>BA :</b>	Biomasse aérienne.
<b>BB :</b>	Barbes blanches.
<b>b<sub>i</sub>:</b>	Coefficient de régression.
<b>BN :</b>	Barbes noires.
<b>Bt :</b>	Interaction bloc x traitement (bloc x génotypes).
<b>C:</b>	Carbone.
<b>Car :</b>	Carioca.
<b>Chen :</b>	Chen'S.
<b>CIMMYT:</b>	Centre international de l'amélioration du maïs et du blé.
<b>CM :</b>	Carre moyen.
<b>cos :</b>	Cosinus.
<b>CVe :</b>	Coefficient de variation de l'erreur (résiduelle).
<b>CVg :</b>	Coefficient de variation génétique.
<b>ddl:</b>	degré de liberté.
<b>E :</b>	Environnement.
<b>EF :</b>	Nombre d'épillets fertiles par épi.
<b>ENSA :</b>	Ecole Nationale Supérieure Agronomique.
<b>ET:</b>	Nombre d'épillets total/épi.
<b>ES:</b>	Nombre d'épillets stériles par épi.
<b>E*G*B :</b>	Interaction environnement x génotype x bloc.
<b>F :</b>	F observé du test de Fisher.
<b>Fig. :</b>	Figure.
<b>G :</b>	Génotype.
<b>GEI :</b>	Interaction génotype x environnement.
<b>GTA :</b>	GTA dur.
<b>HE :</b>	Hétérosis économique (Par rapport à la meilleure variété).
<b>HG :</b>	Hétérosis global (par rapport à la moyenne de toutes les variétés).
<b>HM :</b>	Hétérosis par rapport au parent moyen.
<b>HT :</b>	Hauteur de la tige.
<b>HS:</b>	Hétérosis par rapport au meilleur parent.
<b>HV :</b>	Hétérogénéité de la variance.
<b>H<sup>2</sup> :</b>	Héritabilité au sens large.
<b>IC :</b>	Corrélation incomplète.
<b>ICARDA :</b>	Centre international de la recherche agricole dans les régions arides.
<b>INRA:</b>	Institut national de la recherche agronomique.
<b>ITCF:</b>	Institut techniques des céréales et des fourrages.
<b>ITGC:</b>	Institut techniques des grandes cultures.
<b>IR:</b>	Indice de récolte.
<b>jrs:</b>	Jours.
<b>l :</b>	Litre.
<b>Lat :</b>	Latino.

<b>LB:</b>	Longueur des barbes.
<b>LCE :</b>	Longueur du col de l'épi.
<b>LE:</b>	Longueur de l'épi.
<b>L1 :</b>	Ligne 1.
<b>MADR:</b>	Ministère de l'agriculture et du développement rural.
<b>MDLC:</b>	Ministère de la coopération.
<b>NE/m<sup>2</sup>:</b>	Nombre d'épi par mètre carré.
<b>NG/E:</b>	Nombre de grain par épi.
<b>NP/m<sup>2</sup>:</b>	Nombre de pieds par mètre carré.
<b>ns:</b>	Non significatif.
<b>ONGIC :</b>	Office National Interprofessionnel des Grande Culture.
<b>p :</b>	Parent.
<b>P:</b>	Probabilité.
<b>PE:</b>	Précocité a l'épiaison.
<b>PE-F :</b>	Période entre l'épiaison et la floraison.
<b>PF:</b>	Précocité a la floraison.
<b>PMG:</b>	Poids de mille grains.
<b>ppds:</b>	Plus petite différence significative.
<b>R<sup>2</sup>:</b>	Coefficient de détermination.
<b>RDTé:</b>	Rendement en grain estimé.
<b>RDTr:</b>	Rendement en grain parcellaire.
<b>Saa :</b>	Saadi.
<b>SCE:</b>	Somme des carres des écarts.
<b>Sim :</b>	Siméto.
<b>S<sup>2</sup>d<sub>i</sub>:</b>	Carré moyen dû à la déviation groupée à partir de la régression.
<b>Vit :</b>	Vitron.
<b>VJNO :</b>	Virus de la jaunisse nanisante de l'orge.
<b>Wah :</b>	Waha.
<b>W<sub>i</sub>:</b>	Ecovalence.
<b>σ<sup>2</sup><sub>i</sub>:</b>	Variance de stabilité.
<b>* :</b>	Significatif.
<b>** :</b>	Hautement significatif.
<b>*** :</b>	Très hautement significatif.

## Introduction générale

Les blés constituent la première ressource en alimentation humaine, et la principale source de protéines. Ils fournissent également une ressource privilégiée pour l'alimentation animale et de multiples applications industrielles (**Bonjean et Picard, 1990**). La presque totalité de la nutrition de la population mondiale est fournie par des aliments en grain dont 95% sont produits par les principales cultures céréalières.

Le blé dur occupe mondialement, la cinquième place après le blé tendre (*Triticum aestivum* L.), le riz (*Oryza sativa* L.), le maïs (*Zea mays* L.) et l'orge (*Hordeum vulgare* L.) avec une production mondiale de 30 millions de tonnes. Le plus grand producteur et exportateur du blé dur est le Canada (**Amokrane, 2001**).

Dans la plupart des pays d'Afrique du nord et d'Asie de l'ouest, le blé dur occupe une place primordiale dans l'alimentation des populations. Il entre dans la composition d'un grand nombre de plats traditionnels : couscous, pains, galettes, pâtisseries et pâtes alimentaires, baghrir, makrout, etc. (**Monneveux, 2002 in Mazouz, 2006 ; Boy, 2006 ; Zeghouane et al., 2006**).

Sur le plan nutritionnel, il contribue en effet à 60 % pour les calories, 69 % des protéines totales et 88 % des protéines végétales (**ITGC, 1999**). La richesse en protéine du blé dur présente son meilleur atout nutritionnel. D'après **Hardouin et al. (2002)**, certaines variétés de blé dur sont riches en caroténoïdes, ces nutriments sont aujourd'hui connus comme étant dotés de propriétés bénéfiques pour la santé humaine.

Sur le plan spatial, la céréaliculture est pratiquée sur l'ensemble du territoire national. Elle occupe environ 80% de la surface agricole du pays (**Talamali, 2004**). Le blé dur représente 43% de la sole céréalière, sa superficie a enregistré une croissance remarquable puisqu'elle a connu une augmentation de 14 % durant la campagne 2005-2006 pour atteindre 2 671 410 ha (**MADR, 2006**).

Au point de vue socio-économique, l'importance du blé dur en Algérie et son incidence sur l'économie non seulement agricole mais générale du pays sont tels que les perturbations plus ou moins brutales qui y seraient apportées ne sauraient qu'avoir de lourdes conséquences sur l'équilibre économique et social du pays (**Rachedi, 2003**). Cette importance est appréciée à travers trois principaux paramètres : la consommation, la production et les importations (**ITGC, 1999**).

La production nationale se caractérise par une variabilité interannuelle très importante (**ITGC, 1999**), cette variation est due principalement aux conditions climatiques. D'après les données de l'**ONGIC (2007)**, durant la période 2002-2004, la production a oscillé entre 0,9 à 2,2 millions de tonnes.

Les besoins des consommateurs augmentent sans cesse et rapidement en raison essentiellement du nombre de consommateurs qui a doublé mais aussi par l'accroissement de la consommation par les ménages (**Rachedi, 2003**). Selon **Zaghouane et al. (2006)**, cette consommation a été estimée à 220 kg/an/habitant.

Bien que la tendance de la quantité importée soit à la baisse, la facture reste relativement importante en raison de la flambée des prix sur le marché international. Depuis le début de la

campagne 2006/2007, les cours mondiaux du blé dur ont significativement progressé soit environ 17% de hausse. La réduction des importations n'a pas remis en cause le fait que l'Algérie garde sa place parmi les premières zones importatrices du monde (**ONGIC, 2007**).

Malgré l'accroissement que connaît la production celle-ci reste toujours faible. Cette faiblesse de production découle en majeure partie des faibles potentiels du rendement (**Benbelkacem et Kellou, 2000**). Depuis qu'elles sont cultivées en Algérie, les variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sont confrontées et soumises à diverses contraintes (aléas climatiques, pauvreté des sols, etc.) et n'ont fait l'objet que de rares études mettant en relief leur variabilité géographique et temporelle en matière de productibilité.

L'augmentation des rendements de blé dur peut se faire par des techniques culturales appropriées (travail du sol, fertilisation et traitements phytosanitaires), mais aussi par la recherche de génotypes performants et adaptées aux différents milieux de culture. La cause principale des différences entre les génotypes dans leur stabilité de rendement est la présence d'interaction génotypes x environnement.

Les essais multi-environnementaux jouent un rôle important dans la sélection de plantes et la recherche agronomique. Les données de telles épreuves ont trois objectifs principaux (**Crossa, 1990**) :

- ✓ Estimer et prévoir exactement le rendement basé sur des données expérimentales limitées ;
- ✓ Déterminer la stabilité de rendement et le modèle de la réponse des génotypes à travers des environnements ;
- ✓ Fournir des conseils pour choisir les meilleurs génotypes fiables destinés à être semé dans des conditions pédoclimatiques nouvelles.

C'est dans ce cadre que nous avons entrepris les travaux suivants :

- L'étude de l'interaction génotype x environnement de quelques lignées de blé dur à partir de quatre essais de blé dur réalisés par les étudiants Bouraine (essai 1), Mihoub (essai 2), Mohamed Yahiaoui (essai 3) et Lebbi (essai 4) dans le cadre de leurs mémoires d'ingénieur.
- L'étude du comportement et des ségrégations F<sub>2</sub> provenant de croisement diallèles de blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans le but de commencer une sélection des meilleurs croisements et des meilleurs individus pour la création de nouvelles variétés performantes.

# PARTIE I :

## ETUDE DE L'INTERACTION GENOTYPE X ENVIRONNEMENT

### CHAPITRE 1 : Généralités sur le blé dur

#### 2. Données succinctes sur le blé dur

##### 2.1. Origine

###### 2.1.1. Origine génétique

Les blés tétraploïdes (28 chromosomes avec  $n = 14$ ) résultent d'un croisement rare mais naturel entre deux espèces de blés diploïdes par une hybridation naturelle, les chromosomes des deux espèces diploïdes sont réunis dans un même cytoplasme par un processus appelé l'amphidiploïdie. Une espèce diploïde ayant le génome AA produirait, par exemple, par un croisement normal avec une espèce diploïde ayant le génome BB un hybride AB qui est stérile. Dans des rares cas, les chromosomes se dédoublent spontanément pour produire l'hybride tétraploïde AABB, qui est fertile (Cook *et al.*, 1993).

###### 2.1.2. Origine géographique

Selon Bonjean et Picard (1990), les graminées à paille, espèces dont font partie les blés, sont apparues au Crétacé (période s'étendant de 136 à 65 millions d'années avant l'ère chrétienne). Le centre d'origine géographique du blé dur est le Moyen-Orient, mais il s'est différencié dans trois centres secondaires : l'ouest du bassin méditerranéen, le sud de la Russie et le Proche-Orient (Graniac, 1965 cité par Malek, 2008). Toutefois, l'Algérie a été considérée par Vavilov comme centre de diversification secondaire du blé dur. C'est en explorant le pays en 1798 que Desfontaines a individualisé le *Triticum durum* Desf. (Erroux, 1974). L'espèce *durum* se subdivise en trois sous espèces qui sont *europaeum*, *syriacum* et *méditerranaeum* (Graniac, 1977).

#### 2.2. Classification

D'après la classification proposée par Dhalgren et Clifford (1985) in Bonjean et Picard (1990), le blé dur appartient à

**Super ordre** : Comméliniflorales

**Ordre** : Poales

**Famille** : Poaceae

**Genre** : *Triticum*

**Espèce** : *Triticum durum*

### 2.3. Aperçu sur la morphologie du blé dur

Le blé dur (*Triticum durum*) est une monocotylédone de la famille des graminées du genre *Triticum*. C'est une plante annuelle et autogame.

Le blé dur est constitué d'un appareil végétatif herbacé qui comprend un système racinaire formé de racines séminales produites par la plantule durant la levée et des racines adventives qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante constituant ainsi le système racinaire permanent (ACIA, 2006) et une tige creuse ou chaume dont les entre-nœuds ne se sont allongés qu'à la montaison et portant des feuilles alternes et distiques et composées de quatre parties : gaine, limbe à nervures parallèles, stipules et ligules (Soltner, 2005).

L'inflorescence est un épi composé d'un rachis ou axe sur lequel sont insérés les épillets. Chaque épillet est une petite grappe d'une à cinq fleurs dont trois à quatre sont fertiles enveloppées chacune par deux glumelles (supérieure et inférieure) et comportant typiquement trois étamines et un ovaire à un seul carpelle. Les étamines se composent d'anthères renfermant le pollen et de filets. Le pistil est composé du stigmate et de l'ovaire (Boulal *et al.*, 2007).

Le fruit est un caryopse nu ou fruit sec indéhiscents dont les parois sont soudées à celles de la graine, le caryopse de blé se compose de trois parties : le tégument, le germe et l'albumen (Soltner, 2005).

### 2.4. Exigences agro-écologiques du blé dur

Conduit sous régime pluviale et cultivé dans des zones souvent soumises aux effets des aléas climatiques, le blé dur ne se développe pas bien ce qui se répercute sur sa croissance et par conséquent sur sa production (Boulal *et al.*, 2007). La connaissance des exigences en matière d'eau, de température et de conditions édaphiques permettra de mettre en œuvre des stratégies adéquates pour atténuer les effets environnementaux sur les cultures.



## CHAPITRE 2 : Méthodes d'analyse de l'interaction géotypes x milieux

### 1. Généralités

**Monneveux et Depigny-This, (1995)** ont signalé que dès 1974, Reitz a regroupé les variétés d'espèces cultivées en trois catégories :

- ⇒ Les variétés maintenant des rendements élevés dans une large gamme d'environnements ;
- ⇒ Les variétés assurant une production de grains relativement élevée dans les environnements à fortes contraintes (ces variétés sont souvent qualifiées de rustiques) ;
- ⇒ Les variétés ne donnant de bons rendements qu'en conditions très favorables (on rejoint ici la notion de variété à haute productivité, évoquée plus haut).

Le phénotype d'un individu est déterminé par le génotype et l'environnement, ces deux effets ne sont pas toujours additif ce qui indique que les interactions génotype x environnement sont présentes. Cette interaction génotype x environnement significative provient (**Falconer, 1974**) :

- Soit qu'une quelconque différence spécifique du milieu exerce sur certains génotypes un effet plus important que sur d'autres ;
- Soit qu'il y ait un changement dans le classement d'une série de génotypes que l'on mesure sous différents milieux.

Par définition, on dit qu'il y a interaction génotype x milieu lorsque l'on s'écarte de la situation d'additivité, c'est-à-dire lorsqu'une condition de milieu affecte différemment les génotypes comparés et que l'écart entre les génotypes n'est pas le même selon les conditions de milieu. Fondamentalement, l'interaction entre les effets du génotype et du milieu est un concept statistique, dont la mise en évidence passe par les techniques de l'analyse de variance. Les caractères d'adaptation aux contraintes du milieu jouent un rôle important dans l'existence d'interaction génotype x milieu (**Brancourt-Hulmel et al., 1997 ; Verrier et al., 2001 et Mignon-Grasteau, 2007**). Une interaction génotype x environnement significative résulte de l'importance des changements de différences entre les génotypes dans différents environnements ou changements du classement relatifs des génotypes (**Falconer, 1974**).

Selon **Peto (1982)** cité par **Albert (2004)**, il s'agit dans le premier cas d'une interaction quantitative et dans le second cas d'une interaction qualitative. L'existence de l'interaction génotype x environnement signifie que selon le milieu l'ensemble des gènes d'un génotype ne s'exprime pas de la même façon (**Gallais, 1990**). Certains génotypes sont plus stables que d'autres. Cette situation complique le travail du sélectionneur qui recherche une stabilité élevée de rendement lui permettant de diminuer le nombre de variétés à sélectionner. La définition du concept de la stabilité et les méthodes permettant de la mesurer et de l'améliorer diffèrent selon les auteurs.

Les sélectionneurs s'intéressent généralement à l'importance de la stabilité élevée des rendements, cependant il y a moins d'entente sur la définition la plus appropriée de la " stabilité " et des méthodes permettant de mesurer et d'améliorer la stabilité de rendement (**Becker et Leon, 1988 cités par Albert, 2004**).

## 2. Concepts de stabilité

Les termes de stabilité phénotypique, de stabilité de rendement et d'adaptation sont souvent employés dans des sens tout à fait différents. Différents concepts et définitions de stabilité ont été décrits au cours des années (**Lin et al., 1986** et **Becker et Leon, 1988 cités par Albert, 2004**).

**Lin et al (1986) cités par Albert (2004)** ont identifié trois concepts de stabilité:

**Type 1:** Un génotype est considéré comme stable si sa variance environnementale est petite. **Becker et Leon (1988) cités par Albert (2004)** ont appelés cette stabilité « le concept statique ou biologique de la stabilité ». Un génotype stable possède une déviation inchangée indépendamment de n'importe quelle variation des conditions environnementales. Ce concept de stabilité est utile pour des essais de qualité, de résistance aux maladies, ou en cas de stress. Les paramètres employés pour décrire ce type de stabilité sont les coefficients de la variabilité (CV) employés par **Francis et Kannenburg (1978) cités par Albert (2004)** pour chaque génotype comme un paramètre de stabilité et les variations génotypiques à travers les environnements ( $S_i^2$ ).

**Type 2:** Un génotype est considéré comme stable si sa réponse aux environnements est parallèle à la réponse moyenne de tous les génotypes dans l'essai. **Becker et Léon, (1988) cités par Albert (2004)** ont appelés cette stabilité « le concept dynamique ou agronomique de la stabilité ». Un génotype stable n'a aucune déviation de la réponse générale aux environnements et permet ainsi une réponse prévisible aux environnements. Un coefficient de régression ( $b_i$ ) et la variance de la stabilité ( $\sigma^2_i$ ) peuvent être utilisés pour mesurer la stabilité du type 2 (**Finlay et Wilkinson, 1963 et Shukla, 1972 cité par Albert (2004)**).

**Type 3:** Un génotype est considéré comme stable si le carré moyen résiduel du modèle de régression sur l'index environnemental est petit. L'index environnemental implique le rendement moyen de tous les génotypes dans chaque endroit moins la moyenne générale de tous les génotypes dans tous les endroits. selon **Becker et Leon (1988) cités par Albert (2004)**, le type 3 est aussi une partie du concept de stabilité dynamique ou agronomique.

Les méthodes pour décrire la stabilité du type 3 sont les méthodes d'**Eberhart** et de **Russell (1966) et Perkins et Jinks (1968)**. **Becker et Leon (1988) cités par Albert (2004)** ont affirmé que toutes les procédures de stabilité basées sur des effets de mesure de l'interaction génotype x environnement appartiennent au concept dynamique. Ceci inclut les procédures de décomposition de l'interaction génotype x environnement de l'écovalence de **Wricke (1962)** et de la stabilité de la variance de **Shukla (1972)**, des procédures qui utilisent l'approche de régression telle que proposé par **Finlay et Wilkinson (1963)**, **Eberhart et Russell (1966) et Perkins et Jinks (1968)**, aussi bien que des analyses non paramétriques de stabilité.

**Lin et Binns (1988) cités par Albert (2004)** ont proposé des concepts de stabilité du type 4 sur la base de la variation non-génétique prévisible et imprévisible. La composante prévisible est liée aux localités et la composante imprévisible est liée aux années. Ils ont suggéré l'utilisation d'une approche de régression pour la partie prévisible et les carrés moyens pour des interactions environnement x années pour chaque génotype comme mesure de la variation imprévisible.

### 3. concept de l'adaptation

D'après **Gallais (1992)** et **Brancourt-Hulmel *et al.* (1997)**, l'adaptation est l'aptitude d'une variété, d'un génotype (au sens large, individu ou groupe d'individus) à bien valoriser des conditions particulières. L'adaptabilité est l'aptitude d'un génotype à valoriser des conditions de milieux variés.

#### a. Mieux connaître le milieu pour comprendre l'adaptation au milieu

D'après **Brancourt-Hulmel (2000)**, Il paraît tout naturel au sélectionneur et au généticien de caractériser génétiquement le matériel végétal et de nombreux progrès sont actuellement réalisés grâce à la biologie moléculaire. En revanche, la caractérisation du milieu ne bénéficie pas d'autant d'efforts malgré la présence d'effet du milieu souvent beaucoup plus important que celui du génotype et malgré les progrès réalisés dans ce domaine (accès automatisé aux données météorologiques, développement continu de modèles agronomiques, etc.).

L'observation d'un certains nombre de génotypes (génotype révélateurs) dans différents milieux peut permettre la caractérisation des milieux en terme de facteurs limitants les composantes du rendement et par conséquent le rendement. Il est possible de déterminer les facteurs limitants qui ont généré ces interactions à l'aide de la régression factorielle biadditive incluant plusieurs variables du milieu. L'analyse des corrélations de chaque variable environnementale aux variables synthétiques (qui sont les combinaisons linéaires de toutes les variables environnementales) permet de déterminer celles qui sont à l'origine des interactions (**Brancourt-Hulmel, 2000**).

La distinction entre « milieux favorables » et « milieux défavorables » implique une caractérisation précise de ces milieux, une quantification des stress subis, et des pressions de sélection appliquées ; par ailleurs, la capacité d'un génotype à produire une quantité de grains élevée dans un milieu caractérisé par des contraintes données peut dépendre, de caractères aussi différents que (**Monneveux et Depigny-This, 1995**) :

- ✓ Des adaptations spécifiques liées à une grande rusticité (production de biomasse végétative importante, faible indice de récolte), qui interviendront surtout dans des milieux à très fortes contraintes ;
- ✓ Des adaptations « inductibles », à faible coût énergétique cumulé, compatibles avec une productivité élevée (comme cela semble être le cas pour l'ajustement osmotique par exemple) ;
- ✓ Des « adaptations » recouvrant en fait des « effets résiduels » de potentiels élevés de rendement, qui s'expriment surtout dans des milieux favorables ou à contraintes modérées.

**Brancourt-Hulmel (2000)** ajoute qu'en matière de caractérisation des milieux, la question importante est de déterminer non seulement si des contraintes du milieu sont apparues mais aussi si elles ont eu un impact sur l'élaboration du rendement des génotypes. Cela permet de repérer avec plus de pertinence les variables du milieu qui vont servir à mesurer l'adaptation des génotypes.

## b. Origine génétique de l'adaptation au milieu

L'adaptation d'un génotype au milieu peut avoir deux origines : la présence de « gènes d'adaptation », ou plus exactement de gènes qui gouvernent des caractères jouant un rôle dans l'adaptation, et le pouvoir tampon lié à la structure génétique de certains génotypes (**Gallais, 1992**). L'effet de la structure génétique peut se manifester soit par l'hétérozygotie conférée par l'état hybride, soit par l'hétérogénéité du peuplement cultivé (**Brancourt-Hulmel, 2000**).

Selon **Brancourt-Hulmel (2000)**, les gènes d'adaptation spécifique sont nombreux : ils peuvent concerner l'évitement de la contrainte (gènes de précocité) ou bien l'adaptation à la contrainte elle-même (résistance au froid hivernal, etc.) ou à l'agent pathogène. L'adaptation générale à différents milieux peut être contrôlée par des gènes non-allèles différents ou bien, comme dans le cas de la pléiotropie, par des gènes allèles produisant des effets variables (positifs ou négatifs) entre milieux (**Gallais, 1992**). Les génotypes les plus adaptés seront ceux cumulant un maximum de gènes à effets favorables. Les gènes peuvent être en outre plus ou moins spécifiques comme dans le cas des résistances aux maladies (**Lefebvre et Pflieger, 2000**).

## 4. L'interaction génotype x milieu

On parle d'interaction génotype x environnement lorsque différents génotypes répondent différemment à un changement d'environnement (**Sheridan, 1990 cité par Mignon-Grasteau, 2007**). Le génotype peut être une souche, une race ou une lignée, mais également un individu au sein d'une population ou la présence d'un gène particulier (**Mignon-Grasteau, 2007 et Bell, 2008**).

### a. Classification des interactions génotype x environnement

D'après **Mignon-Grasteau (2007)**, plusieurs classifications des interactions génotype x environnement ont été établies. Elles reposent sur l'importance relative des effets de l'environnement (E), du génotype (G) et de l'interaction entre génotype et environnement (I), la signification statistique de l'effet d'interaction génotype x environnement et l'inversion du rang des génotypes entre environnements. Toutes découlent de celle établie en 1946 par Haldane, qui définit 6 catégories d'interaction (**tableau 1, p 9**).

Selon **Haldane (1946)** cité par **Mignon-Grasteau (2007)**, la catégorie 1 correspond à l'absence d'interaction. Pour la catégorie 2, on a une inversion des rangs des génotypes entre environnements, mais les valeurs restent très proches dans les deux environnements et l'interaction est non significative. La catégorie 3 correspond au cas où l'interaction existe, mais est d'amplitude trop faible pour inverser le rang des génotypes entre les milieux. Enfin, la catégorie 4 est la plus importante, car le rang des génotypes est inversé entre les environnements et l'amplitude de l'interaction est forte, ce qui est le plus problématique pour l'éleveur et/ou le sélectionneur.

**Tableau 1.** Classification des interactions entre génotype et environnements (Mignon-Grasteau, 2007).

Type	Rang des génotypes A (en rose) et B (en bleu)	Rang des milieux X (en vert) et Y (en orange)	Additivité de G et E	Significativité statistique	Effets respectifs du génotype (G), de l'environnement (E) et de l'interaction (I)	Significativité statistique et rangs	Inversion des rangs des environnements et/ou des génotypes
1a			Interaction linéaire	Pas d'interaction	$G > E > I$	Interaction non significative	Pas d'inversion
1b					$E > G > I$		
3				interaction	$G > I > E$	Interaction significative	Inversion pour l'environnement
2			$E > I > G$		Interaction non significative	Inversion pour le génotype	
4a			Interaction non linéaire		$I > E > G$	Interaction significative	Inversion pour le génotype et l'environnement
4b					$I > G > E$		
Sources	<i>Haldane, 1946</i>	<i>Truberg et Huhn, 2000</i>	<i>Lerner, 1950</i>	<i>Weber et Le Roy, 1956</i>	<i>Mather et Jones, 1958</i>	<i>Pani, 1971</i>	<i>Truberg et Huhn, 2000</i>

## **b. Actions du macro-milieu et de l'interaction génotype x environnement**

### *i. L'hypothèse d'additivité des effets du macro-milieu et du génotype, et ses implications*

Selon **Verrier *et al.* (2001)**, des conditions de macro-milieu peuvent induire d'importantes variations des caractères quantitatifs. Pour caractériser une modalité particulière d'un facteur de milieu contrôlé, là encore, il est naturel de calculer la valeur moyenne des individus qui sont soumis à cette modalité. Exprimée en écart à la moyenne de la population, cette valeur moyenne est, par définition, l'effet moyen de la modalité considérée. Cette analyse suppose cependant que les différents génotypes soient répartis de façon équilibrée entre les différentes modalités de milieu.

Dans le cas où il n'y a qu'un seul facteur de macro-milieu, ce dernier est représenté par plusieurs modalités. Si plusieurs facteurs de milieu sont contrôlés, nous supposons que les effets moyens des différentes modalités des différents facteurs s'ajoutent les uns aux autres (**Verrier *et al.*, 2001**).

L'additivité entre les effets du génotype et du milieu implique qu'une modalité de milieu donnée affecte tous les génotypes de la même façon, et qu'un génotype donné confère le(s) même(s) avantage(s) quel que soit le milieu dans lequel se développe l'individu correspondant (**Verrier *et al.*, 2001**).

### *ii. L'interaction génotype x environnement*

La présence d'interactions entre génotype et environnement peut avoir de nombreuses conséquences (**Mignon-Grasteau, 2007**):

- Peut tout d'abord entraîner une réduction de la réponse attendue à la sélection, et donc occasionner une perte économique.
- De plus, les performances en milieu non optimal peuvent différer de façon importante, et le rang de différents génotypes peut être inversé suivant les environnements.
- Ignorer la présence d'interactions peut donc aboutir à choisir le mauvais génotype ou le mauvais candidat à la sélection pour un environnement donné.
- Enfin, la bonne adaptation d'un génotype à son environnement peut dépendre des caractéristiques climatiques, des systèmes de culture, de facteurs économiques ou sociaux.

La question du choix du meilleur génotype se pose notamment quand on souhaite utiliser dans un milieu à fortes contraintes des génotypes qui ont été améliorés dans des conditions plus favorables. De la même façon, lorsque l'on poursuit ou démarre une sélection, il faut éviter de trop artificialiser le milieu dans lequel on entretient les candidats à la sélection (**Verrier *et al.*, 2001**).

Les critères importants à prendre en compte en sélection ne sont donc pas nécessairement les mêmes selon l'environnement. La prise en compte des interactions entre génotype et environnement

implique donc tout d'abord de pouvoir les détecter, les décrire et évaluer leur ampleur correctement. De cette évaluation découlera ensuite la stratégie à adopter en sélection (**Mignon-Grasteau, 2007**).

### **c. Efficacité de la sélection en présence d'interactions génotype x environnement**

Les stratégies qui peuvent être adoptées sont alors de plusieurs ordres. On peut dédier certaines lignées à la production dans des conditions environnementales particulières, mais cela ne sera pas envisageable pour chaque type d'environnement. La sélection sur les normes de réaction pourrait fournir une alternative intéressante permettant de rechercher les génotypes ayant de bonnes capacités d'adaptation plutôt que ceux bien adaptés à un environnement donné (**Mignon-Grasteau, 2007**). Cet auteur a ajouté qu'en présence d'interaction entre génotype et environnement, les individus les plus performants ne sont pas nécessairement les mêmes dans les différents environnements.

Afin d'optimiser la sélection sur un grand nombre d'environnements on peut rechercher des génotypes ayant une bonne plasticité phénotypique, c'est-à-dire peu sensible aux variations des conditions environnementales, plutôt que de rechercher une population ou un génotype particulièrement bien adapté à un ou à quelques environnements particuliers (**Bell, 2008**).

## **5. Méthodes statistiques pour mesurer l'interaction G x E**

Selon **Krieg (1989)** L'expression des caractères résulte généralement d'interactions complexes entre de nombreux facteurs de l'environnement et le programme génétique de l'individu, lui-même constitué d'un grand nombre de gènes s'exprimant successivement ou simultanément. L'observation d'un caractère donné chez un individu une population (le phénotype) ne permet pas d'en déduire simplement la "valeur génétique" (le génotype) de cet individu. Cependant, à la suite des travaux de Fisher (1918), des modèles d'analyse se sont développés pour répondre à ce problème. Ils permettent, sans connaître précisément les gènes en cause et leurs effets individuels, de cerner les sources majeures de variation d'un caractère quantitatif.

L'étude de la stabilité du rendement et de l'interaction génotype-milieu intervient à tous les niveaux de l'amélioration des plantes : le sélectionneur recherche des génotypes présentant une bonne stabilité, tandis que le généticien est souvent confronté de façon involontaire à des problèmes d'analyse de l'interaction. Ceci explique le développement d'un nombre important de modèles pour l'analyse de la stabilité et de l'interaction (**Brancourt-Hulmel et al., 1997**).

### **a. Les méthodes d'analyse de la variation quantitative**

#### *i. La description de la variabilité phénotypique*

A partir de la mesure d'un nombre élevé d'individus, on peut décrire la variation phénotypique au sein d'une population par une distribution. Pour pouvoir conduire une analyse statistique satisfaisante, cette distribution doit être relativement voisine d'une distribution théorique normale. Dans le cas contraire, une transformation mathématique normalisante doit être appliquée (**Krieg, 1989**).

## *ii. Effets génétiques et environnementaux*

Le phénotype d'un individu résulte de la combinaison de facteurs génétiques et environnementaux. Pour une analyse génétique du caractère, il est nécessaire, au moins dans un premier temps, de supposer l'additivité de ces facteurs ; autrement dit, un milieu donné agit de la même façon sur des génotypes variés. Cependant l'utilisation de ces résultats dans des milieux différents implique nécessairement de valider ces mêmes résultats dans chaque milieu (**Krieg, 1989**).

## *iii. Effets additifs et non additifs*

Pour la plupart des caractères complexes, plusieurs zones en divers points du génome interviennent. Pour cet ensemble, on décompose la valeur génotypique en effets d'additivité et en interactions de dominance avec en plus d'autres types d'interactions inter-locus (entre effets additifs, entre effets de dominance ou mixtes) dont la somme constitue les effets d'épistasie.

## *iv. L'héritabilité*

C'est à partir de la variance génétique additive que l'on estime l'héritabilité (**Krieg, 1989**) :

$$h^2 = V_A/V_P$$

Ce paramètre mesure le degré de ressemblance entre apparentés et surtout un rôle prévisionnel. C'est en effet principalement à partir de cette valeur que l'expérimentateur établit son schéma d'amélioration génétique.

L'héritabilité peut être estimée à partir (**Krieg, 1989**) :

- Soit de l'étude de la transmission du caractère établissant une régression entre les parents et les valeurs moyennes de leurs descendants ;
- Soit de l'analyse de la ressemblance entre familles de pleins-frères ou de demi-frères.

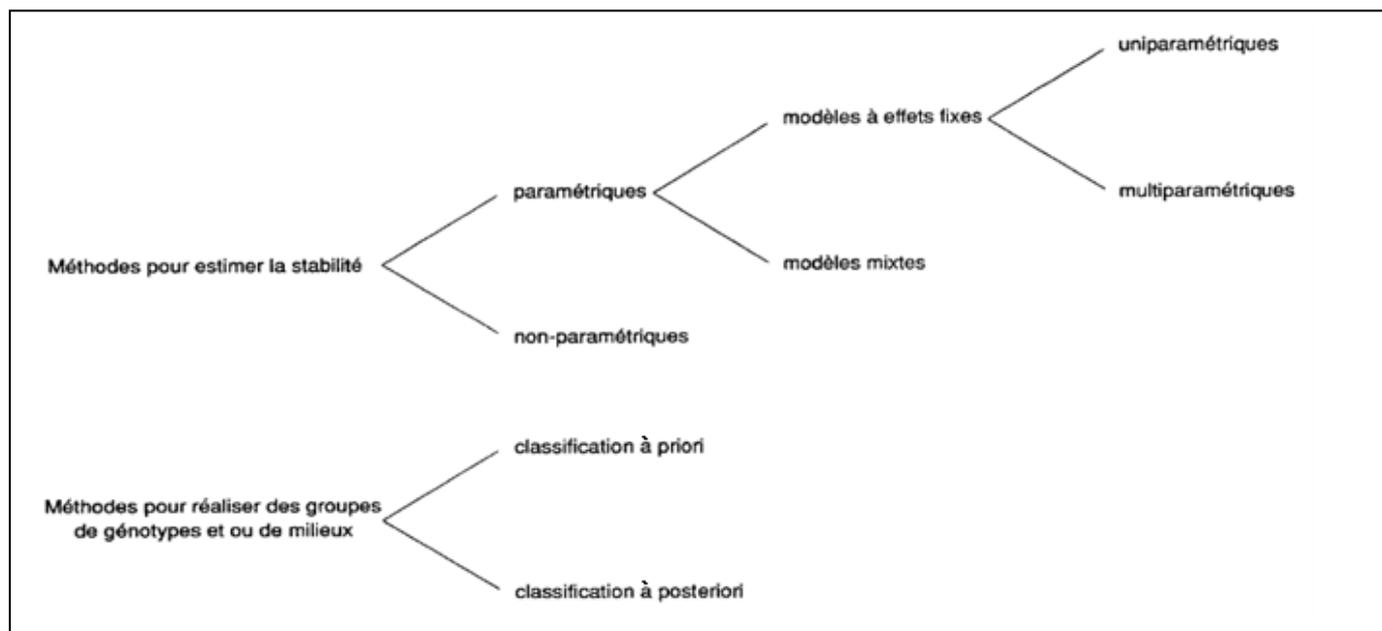
## **b. Méthode d'analyse de l'interaction génotype x environnement**

Différents modèles ont été proposés pour analyser les interactions génotype x milieu. Ils reposent tous sur un suivi du comportement d'un même groupe de variétés, dans une large gamme de situations différentes (**Monneveux et Depigny-This, 1995**).

Il existe diverses possibilités pour classer les méthodes permettant l'analyse de la stabilité et de l'interaction (**figure 1, p 13**). Plusieurs types seront distingués : les méthodes paramétriques, incluant des modèles à effets fixes et des modèles mixtes (à effets fixes et aléatoires), et les méthodes non-paramétriques (**Brancourt-Hulmel et al., 1997**).

Parmi les méthodes paramétriques à effets fixes, on distingue plusieurs catégories selon le nombre de paramètres associés à chaque génotype. Les méthodes uniparamétriques font intervenir

un seul paramètre dédié à la stabilité pour décrire les génotypes tandis que les méthodes multiparamétriques en font intervenir plusieurs (**Brancourt-Hulmel *et al.*, 1997 et Bell, 2008**).



Source : Brancourt-Hulmel *et al.* (1997).

**Fig.1.** Une classification possible des différentes méthodes d'analyse de la stabilité et de l'interaction génotype x environnement.

### *i. Méthodes uniparamétriques*

Selon **Brancourt-Hulmel *et al.* (1997)** et **Gonzalez Garcia (2001)**, ces méthodes comprennent le calcul de paramètres reposant soit sur un modèle prenant en compte uniquement l'effet génotype soit sur un modèle prenant en compte les effets d'interaction génotype x milieu et permettant d'explicitier ces derniers (**tableau 2 p** ).

#### *1. Modèle prenant en compte uniquement l'effet génotype*

D'après **Gonzalez Garcia (2001)** et **Albert (2004)**, à partir d'un modèle qui prend en compte uniquement l'effet génotype, il est possible de définir des paramètres permettant d'apprécier la stabilité d'un génotype tels que la variance environnementale ou le coefficient de variation environnementale. Selon ces auteurs, ces deux paramètres de stabilité relèvent du concept statique défini par Becker et Léon (1988) ou encore du concept biologique développé par Becker (1981), et rejoignent la notion d'homéostasie. Ils ont été classés dans le type I de stabilité par Lin *et al.*, (1986) cités par **Albert (2004)**.

#### *2. Modèle prenant en compte les effets d'interaction génotype-milieu*

Différentes approches reposant sur des modèles dérivés du modèle interactif complet, qui s'attachent à expliciter le terme d'interaction génotype x milieu permettent également de calculer des paramètres de stabilité caractérisant les génotypes. Parmi ces méthodes, on trouve l'écovalence,

la variance de Shukla, la régression conjointe et ses dérivés. Ainsi, Eberhart et Russell (1966) ont suggéré d'utiliser le carré moyen de déviation à la droite de régression  $S^2_{di}$ . Pour Pinthus (1973) et Bilbro et Ray (1976), la stabilité peut être mesurée par le coefficient de détermination  $R^2$  c'est-à-dire le rapport entre la variation expliquée par le modèle et la variation totale, incluant les effets principaux (Brancourt-Hulmel *et al.*, 1997, Gonzalez Garcia, 2001 et Albert, 2004).

**Tableau 2** : Résumé des méthodes uniparamétriques permettant l'analyse de l'interaction génotype x environnement (Brancourt-Hulmel *et al.*, 1997).

Méthode	Auteur	Type selon Lin <i>et al.</i> , 1986	Concept selon Becker et Léon, 1988	Autre définition de la stabilité
<b>Modélisation de l'effet génotype</b>				
▪ Variance environnementale ( $S^2_g$ )	Romer 1917, cité par Becker et Léon, 1988	1	Statique	Homéostatique
▪ Coefficient de variation environnemental ( $CV_g$ )	Francis et Kannenberg, 1978.	1	-	-
<b>Modélisation des effets de l'interaction GxE</b>	Wricke, 1962	2	Dynamique	-
	Parisot-Baril, 1992	-	-	-
▪ Ecovalence variétale ( $W^2_g$ )	Shukla, 1972	2	-	-
▪ Ecovalence environnementale ( $W^2_r$ )	Yate et Cochran, 1938	-	-	-
▪ Variance de Shukla ( $\sigma^2_g$ )	Finlay et Wilkinson, 1963	2	Statique/ Dynamique	Adaptation/ Adaptabilité
▪ Régression conjointe				
○ Coefficient de régression ( $b_g$ )	Eberhart et Russell, 1966	2	Statique/ Dynamique	-
○ Coefficient de régression ( $\rho_g$ )	Perkins et Jinks, 1968	2		
○ Carré de déviation à la droite de régression ( $S^2_{dg}$ )	Eberhart et Russell, 1966	3	Dynamique	-
○ Coefficient de détermination ( $r^2_g$ )	Perkins et Jinks, 1968	3	Dynamique	-
	Pinthus, 1973	-	Dynamique	-
	Bilbro et Ray, 1976			
▪ Carré moyen de l'effet année hiérarchisé à l'effet lieu ( $CM_{Ve}$ )	Lin et Binns, 1988	4	-	-

Pour l'ensemble de ces méthodes, la principale critique réside dans le fait qu'elles ne rendent pas bien compte d'un caractère aussi complexe que la stabilité sur lequel agissent de très nombreux facteurs. Pour lever cet inconvénient, il est nécessaire soit d'en combiner plusieurs, soit d'avoir recours à des analyses multiparamétriques (Brancourt-Hulmel *et al.*, 1997).

## ii. Méthodes multiparamétriques

Les approches présentées précédemment donnent seulement des caractéristiques individuelles de la stabilité mais ne fournissent pas une image globale de la réponse. De plus, un génotype stable selon un des critères ne l'est pas forcément selon les autres (**Lincy, 2003 et Duby et Robin, 2006**).

Les méthodes multiparamétriques (**tableau 3, p 15**) permettent soit une modélisation de l'interaction seule soit une modélisation simultanée des effets d'interaction et des effets principaux génotype et milieu (**Brancourt-Hulmel et al., 1997, Gonzalez Garcia, 2001 et Albert, 2004**).

**Tableau 3** : Résumé des méthodes multiparamétrique permettant l'analyse de l'interaction génotype x environnement (**Brancourt-Hulmel et al., 1997**).

Méthode	Auteur
<b>Modélisation de l'interaction seule</b>	
▪ Modèle multiplicatif / modèle AMMI	Mandel, 1969, 1971 ; Denis et Gower, 1992, 1996 ; Gollob, 1968 ; Gauch et Zobel, 1988, 1990, 1992
▪ Régression multiple	Hardwick et Wood, 1972; Perkins, 1972; Wood, 1976; Saeed et Francis, 1984; Gorman <i>et al.</i> , 1989; Feyerherm <i>et al.</i> , 1992
▪ Régression factorielle	Denis, 1980, 1988
<b>Modélisation de l'interaction des effets principaux</b>	
▪ Modèle SHMM	Seyedsadr et Cornelius, 1992; Cornelius <i>et al.</i> , 1992 ; Cornelius <i>et al.</i> , 1996 ; Crossa <i>et al.</i> , 1996
▪ Analyse des coordonnées principales	Westcott, 1987
▪ Analyse des coefficients de piste	Tai, 1975, 1990

## iii. Modèles mixtes

Ce modèle permet donc de considérer au moins un des facteurs comme aléatoire. Par exemple, l'améliorateur considère les milieux dans lesquels il teste ses cultivars en cours de sélection, comme représentatifs de la population de milieux qu'il vise. Ou encore, le généticien étudie les caractéristiques de sa population de génotypes pour quelques milieux contrastés. Bien entendu, le nombre de niveaux du facteur considéré comme aléatoire doit être en rapport avec l'estimation des composantes de la variance (**Gonzalez Garcia, 2001**).

Ce modèle permet en outre d'associer une modélisation de l'interaction entre les deux facteurs (fixe et aléatoire) au moyen de régressions ou de termes multiplicatifs (**Brancourt-Hulmel et al., 1997**).

Les modèles multiparamétriques et mixtes, actuellement en plein essor grâce aux possibilités nouvelles des logiciels statistiques, paraissent attractifs par leur souplesse mais présentent l'inconvénient d'être exigeants quant à la quantité et la répartition des données nécessaires. Beaucoup de travail reste encore à faire au niveau de leur traitement statistique (**Brancourt-Hulmel et al., 1997**).

#### iv. Méthodes non-paramétriques

Toutes les approches précédentes se définissent à partir de paramètres, d'autres sont non-paramétriques et constituent une alternative aux premières (**tableau 4, p 16**). La plupart sont basées sur le rang des génotypes dans chaque environnement, ce sont alors à la fois les effets du génotype et les effets d'interaction génotype x environnement qui sont pris en compte. Il faut corriger au préalable les données en leur retranchant l'effet génotype si l'on veut que les rangs ne reflètent plus que les effets d'interaction génotype- milieu (**Hühn *et al.*, 1993 cité par Brancourt-Hulmel *et al.*, 1997**).

**Tableau 4** : Résumé des méthodes non paramétriques permettant l'analyse de l'interaction génotype x environnement (**Brancourt-Hulmel *et al.*, 1997**).

Méthode	Auteur	Concept selon Becker et Léon, 1988
Moyenne des rangs centrés ( $S_{g(1)}$ )	Hühn, 1990 a, b	Dynamique
Variance des rangs ( $S_{g(2)}$ )	Hühn, 1990 a, b	Dynamique
Somme des différences des rangs rapportées au rang moyen du génotype ( $S_{g(3)}$ )	Hühn, 1990 a, b	Dynamique
Somme des rangs (rendement + variance de stabilité de Shukla)	Kang, 1988 ; Kang et Pham, 1991	-
Indice de fiabilité	Eskridge et Mumm, 1992 Eskridge <i>et al.</i> , 1993	-
Méthode combinatoire	Guénoche <i>et al.</i> , 1994	-

Ces approches détectent uniquement les inversions de classement et confondent les interactions quantitatives avec l'absence d'interaction. De plus, même en cas d'inversion des classements, l'ordre de grandeur des différences n'est pas pris en compte, leur intérêt en est par conséquent diminué. Pour l'analyse des interactions qualitatives, elles présentent toutefois plusieurs avantages par rapport aux méthodes paramétriques : la réduction voire l'élimination de biais causé par les valeurs extrêmes ou les erreurs de mesures, l'absence d'hypothèses sur la distribution des observations, l'homogénéité des variances et l'additivité des effets ne sont pas nécessaires. De plus, elles sont facilement utilisables et interprétables (**Brancourt-Hulmel *et al.*, 1997**).

Ces mesures non-paramétriques de stabilité sont dépendantes des nombres mais aussi des ensembles de génotypes et de milieux considérés. Il nous semble cependant que la réserve doit être d'autant plus forte à leur endroit que l'information retenue est fort réduite : des rangs de performances et non plus des performances (**Brancourt-Hulmel *et al.*, 1997**).

v. *Méthodes pour réaliser des groupes de génotypes et/ou de milieux*

On distingue les classifications a priori qui font intervenir des informations extérieures et les classifications à posteriori qui s'appliquent aux données elles-mêmes, faute de mieux (**tableau 5, p 17**). La plupart des méthodes de classification reposent sur un index de dissimilarité basé sur un calcul de distance ou sur l'ajustement à un modèle ou encore sur l'utilisation de coefficients de corrélation. De plus, cet index se définit soit à partir d'un seul critère ou bien de plusieurs (**Brancourt-Hulmel *et al.*, 1997 et Gonzalez Garcia, 2001**).

**Tableau 5** : Résumé des méthodes pour réaliser des groupes de génotypes et/ou de milieux (**Brancourt-Hulmel *et al.*, 1997**).

Méthode	Auteur
<b>Classification à priori</b>	Denis, 1979 ; Imrie <i>et al.</i> , 1981 ; Brown <i>et al.</i> , 1983 ; Parisot-Baril, 1992 ; Balfourier et Charmet, 1991 ; Peterson, 1992
<b>Classification à posteriori</b>	
▪ Méthode basée sur un seul critère	
○ Index basé sur un calcul de distance	
✓ Distance euclidienne	Hanson 1970 ; Mugmomery <i>et al.</i> , 1974 ; Johnson, 1977 ; Ghaderi <i>et al.</i> , 1980
✓ Distance euclidienne réduite	Abou-El-Fittouh <i>et al.</i> , 1969 ; Byth <i>et al.</i> , 1976 ; Fox et Rosielle, 1982 ; Fox <i>et al.</i> , 1990
✓ Distance généralisée de Mahalanobis	Ghaderi <i>et al.</i> , 1982 ; Weatherup, 1994
○ Index basé sur l'ajustement à un modèle	
✓ Régression conjointe (partie linéaire)	Lin et Thompson, 1975
✓ Régression conjointe (partie non linéaire)	Perkins et Jinks, 1968
✓ Modèle SHMM	Cornelius <i>et al.</i> , 1993 ; Crossa <i>et al.</i> , 1993
○ Utilisation de coefficients de corrélation	Habgood, 1977 ; Krenzer <i>et al.</i> , 1992 ; Ghaderi <i>et al.</i> , 1982 ; Campbell et Lafever, 1977 ; Yau <i>et al.</i> , 1991
○ Utilisation du carré moyen de l'interaction	Byth <i>et al.</i> , 1976 ; Denis, 1979 ; Lin, 1982 ; Ramey et Rosielle, 1983 ; Corsten et Denis, 1990 ; Lin et Butler, 1990
▪ Méthode basée sur plusieurs critères	Lefkovitch, 1985 ; Lin et Binns, 1991 ; Lin <i>et al.</i> , 1992 ; Cooper <i>et al.</i> , 1994

### c. Avantages et limites des méthodes d'analyse de l'interaction génotype x environnement

Des méthodes très diverses existent pour analyser la stabilité et l'interaction génotype-milieu. Parmi les méthodes uniparamétriques, la régression conjointe est la plus utilisée car elle est facile à mettre en œuvre et est assez aisée à interpréter. Elle semblerait convenir à des analyses faisant intervenir un grand nombre de génotypes variés dans un nombre limité de milieux, comme dans le cas de l'étude de collections. Mais elle ne tient pas compte du caractère multidimensionnel du comportement des génotypes. Selon l'espèce, l'améliorateur peut choisir d'utiliser certaines de ces méthodes uniparamétriques en fonction des groupes de corrélation auxquels elles appartiennent d'une part, et de leur caractère répétable et héritable d'autre part (**Brancourt-Hulmel et al., 1997**).

Les méthodes multiparamétriques semblent plus adaptées pour décrire la réponse des génotypes à différentes conditions de milieux. Ces techniques statistiques, qui reposent sur des calculs complexes, n'ont pu se développer qu'avec l'apparition d'ordinateurs puissants et sont donc relativement récentes. Parmi ces dernières, le modèle multiplicatif et la régression factorielle permettent dans la plupart des cas de décomposer une part importante de l'interaction : ces deux méthodes présentent en général une efficacité et une parcimonie comparables. Cependant, la régression factorielle paraît plus complète. En effet, elle ne fournit pas seulement une description des données mais elle permet aussi d'intégrer directement des informations relatives aux milieux ou aux génotypes et de donner une signification biologique aux phénomènes d'interaction génotype-milieu (**Brancourt-Hulmel et al., 1997**).

Quant aux méthodes non-paramétriques, elles sont simples à mettre en œuvre mais ne permettent d'appréhender que les interactions qualitatives. Les différentes approches présentées comportent toutes des avantages et des inconvénients. Mais ce ne sont que des pièces d'un jeu de construction qui peuvent s'assembler les unes avec les autres. Il peut être intéressant d'en utiliser plusieurs pour avoir une information plus complète sur la stabilité des génotypes et sur les effets d'interaction génotype-milieu. De plus, parallèlement à toutes ces analyses, l'améliorateur peut être amené à établir des groupes de génotypes et ou de milieux à l'aide de méthodes de classification à priori ou à posteriori. Ces dernières dépassent largement le cadre de l'analyse de la stabilité et de l'interaction car les groupes peuvent être réalisés sur la base de la stabilité ou bien à partir de tout autre critère (**Brancourt-Hulmel et al., 1997**).

Le sélectionneur dispose d'outils intéressants et performants. Selon ses objectifs de sélection en matière de stabilité, objectifs qui dépendent de l'espèce, du type variétal, du type de milieu, du type de sélection (directe ou indirecte) mais aussi de ses moyens, il peut choisir la ou les méthodes les plus appropriées (**Brancourt-Hulmel et al., 1997**).



# MATERIEL ET METHODES DE LA PARTIE INTERACTION GENOTYPE X ENVIRONNEMENT

## I. Objectif de l'essai

L'objectif de ce travail est d'étudier l'interaction génotype x environnement à partir des résultats de quatre essais de blé dur (*Triticum durum* Desf.) réalisés par les étudiants Bouraine 2006 (essai 1), Mihoub 2007 (essai 2), Mohamed Yahiaoui 2008 (essai 3) et Lebbi 2008 (essai 4) dans le cadre de leurs mémoires d'ingénieur.

## II. Conditions de réalisation des essais

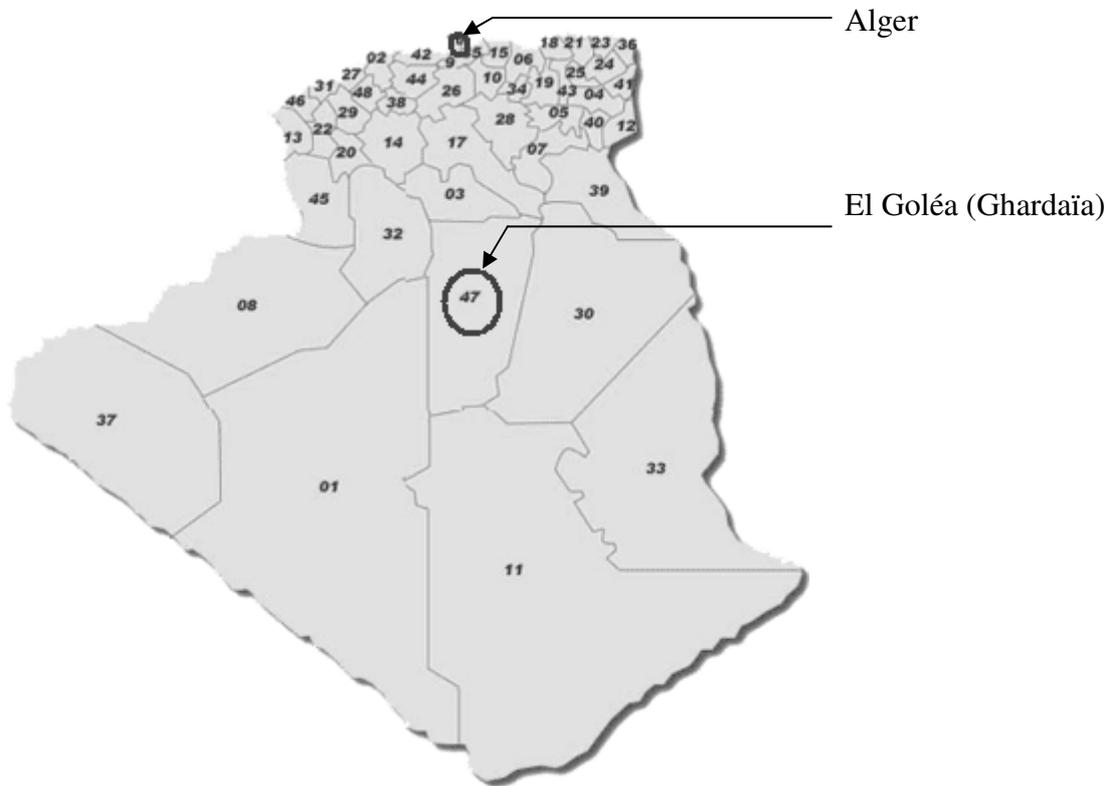
### 2.1. Localisation des zones d'étude

Les essais de Bouraine, Mihoub et Mohamed Yahiaoui ont été effectués respectivement en 2006, 2007 et 2008 à l'E.N.S.A. d'Alger, tandis que l'essai de Lebbi a été réalisé à El-Goléa en 2008.

Les figures 2 et 3 (page 20) illustrent la localisation des zones d'études.

**Tableau 6:** Localisation des quatre essais étudiés

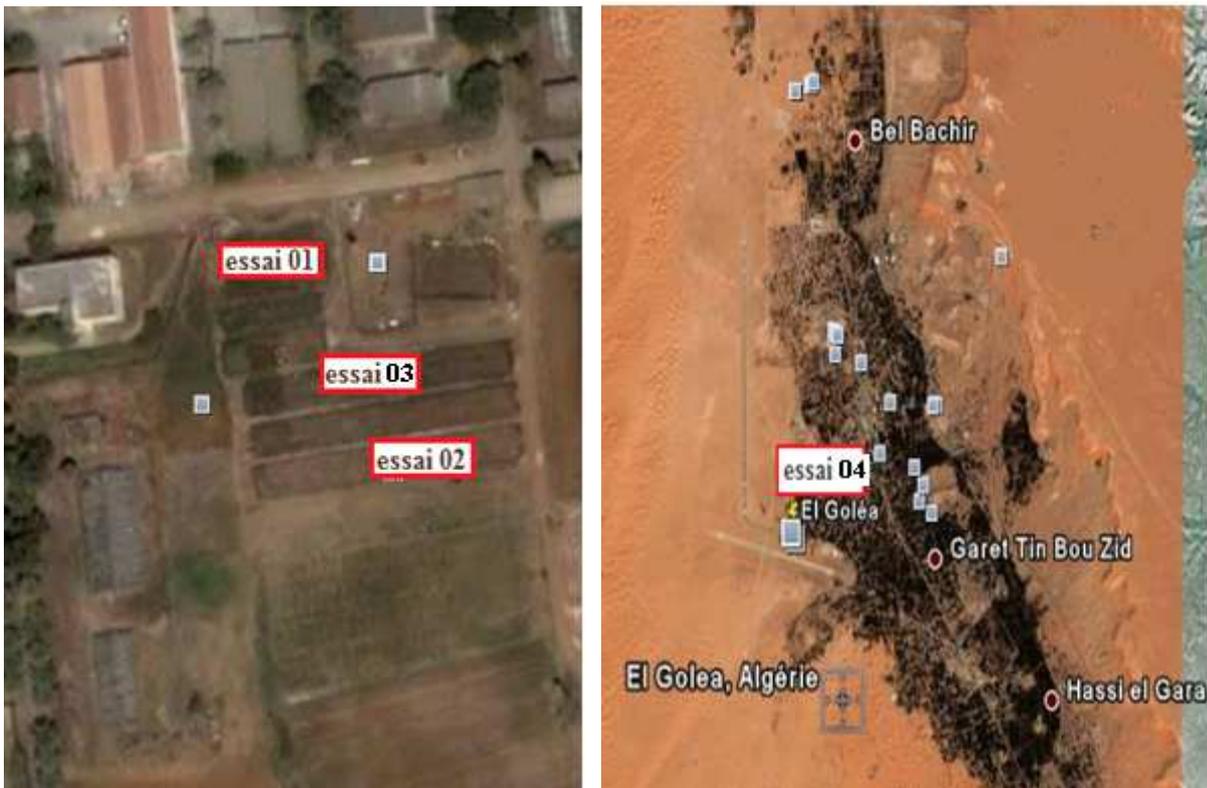
	<b>Essais 1, 2 et 3</b>	<b>Essai 4</b>
<b>Localisation</b>	Sous abri grillagé à l'E.N.S.A (Alger)	Sous pivot à la ferme de Hadjadj à El Goléa (Ghardaïa)
<b>Altitude</b>	48 m	397 m
<b>Latitude</b>	36° 43' Nord	30° 35' Nord
<b>longitude</b>	3° 08' Est	2° 52' Est



**Fig.2.** Localisation des zones d'étude.

**A**

**B**



**A :** La station expérimentale de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA) El Harrach, Alger.

**B :** La station de SAHAB EL MATNANA, Exploitation de HADJADJ, El Goléa, Ghardaia.

**Fig.3.** Images satellites montrant les zones d'étude.

## 2.2. Conditions pédologiques et climatiques des zones d'étude

Le comportement de la plante est fonction du climat et de la nature du sol dans lequel elle se développe.

### 2.2.1. Le sol

Un excès ou une carence en minéraux et en matière organique, et le type de texture du sol, modifie le comportement de la plante. L'étude des caractéristiques chimiques et physiques est nécessaire pour interpréter les résultats. Avant la mise en place des essais, des échantillons de sol ont été prélevés par les différents étudiants au niveau des zones d'étude. Les résultats des analyses physico-chimiques du sol des zones d'étude sont donnés au niveau du tableau 7 page 22.

Les résultats peuvent être interprétés comme suit :

- ✓ D'après le triangle des classes texturales de **Henin *et al.*, (1969)**, le sol présente une texture sablo-limoneuse à la zone 1 (ENSA) et limono-sableuse dans la zone 2 (El Goléa);
- ✓ Le taux de matière organique est moyen au niveau de l'ENSA d'après l'interprétation donnée par **Soltner (2005)**, alors qu'il est très faible au niveau d'El Goléa ce qui accentue le lessivage du sol du fait que la matière organique joue un rôle important dans la capacité de rétention de l'eau et des sels minéraux (**Calvet *et Viellemin*, 1986**);
- ✓ Le taux en calcaire est faible au niveau des deux zones d'étude (< 5%) ;
- ✓ Le pH est alcalin dans les deux zones d'étude ce qui favorise l'activité bactérienne du sol mais limite l'absorption de certains éléments tels que le phosphore, le fer, le zinc, le cuivre et le manganèse (**Schwartz *et al.*, 2005**);
- ✓ Le sol de la parcelle de l'ENSA est bien fourni en azote et en phosphore et pauvre en potassium d'après l'interprétation donnée par **MDLC (1993)**. Tandis que le sol d'El Goléa est pauvre en phosphore et en potassium, cela nécessite une fertilisation de fond avant la mise en place de la culture ;
- ✓ Le rapport C/N indique une activité minéralisatrice assez élevée dans la parcelle de l'ENSA permettant une bonne décomposition de la matière organique. Cependant, ce rapport est très faible à El Goléa indiquant une très faible activité microbienne.

**Tableau 7 : Résultats des analyses physico-chimiques du sol des deux zones d'étude**

Paramètres		Résultats		Méthodes utilisées pour l'étude
		ENSA	El Goléa	
Analyses granulométriques	Argile	32.94	01	Méthode internationale à la pipette de ROBINSON
	Limon	27.63	44.7	
	Sable	37.98	54.3	
Texture		Limono-argileuse	Sablo-limoneuse	Triangle de Henin
Analyses chimiques	Calcaire total (p.100)	1.25	2.27	Méthode volumétrique
	Azote total (p.100)	0.052	0.087	Méthode Kjeldhal
	Phosphore assimilable (ppm)	23.3	19.33	Méthode Olsen et dosage colorimétrique
	Potassium (%)	0.0009	19.3	Dosage au Spectrophotomètre à flamme
	pH <sub>eau</sub>	8.31	8.7	Méthode électronique (rapport terre/eau de 1.25)
	pH <sub>KCl</sub>	7.9	N.M	
Analyse biochimique	Matière organique (%)	3.34	0.105	C (p.100) x 1.72
	Carbone organique (%)	1.82	0.061	Méthode Anne
	C/N	35	0.78	/

*E : Environnement.*

*N.M : Non mentionné.*

## 2.2.2. Le climat

L'étude du climat d'une région donnée est primordiale, il est le principal facteur limitant le bon développement des cultures. En effet l'émission des feuilles et l'apparition des différents stades d'un végétal sont déterminées en grande partie par la pluviométrie et la somme des températures journalières du semis jusqu'à la fin du cycle de la plante.

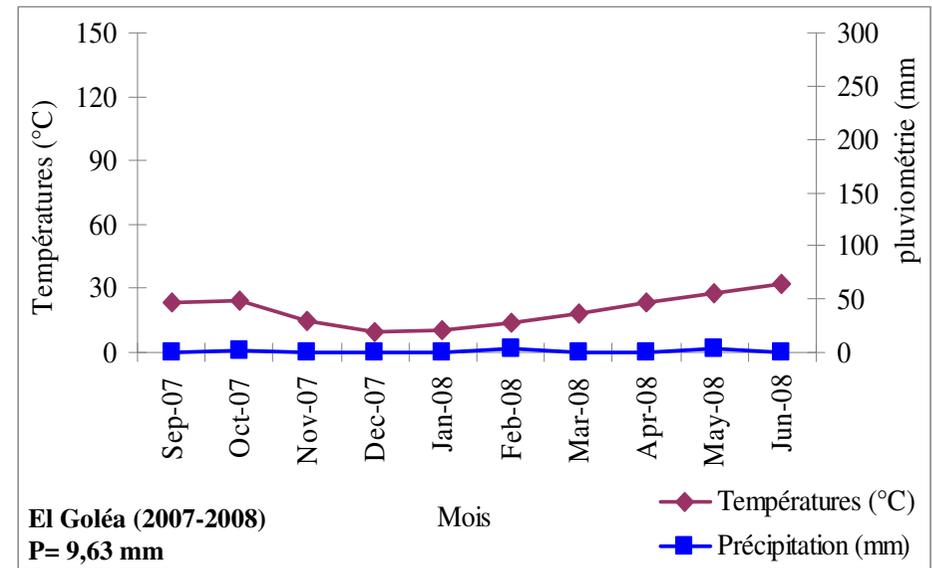
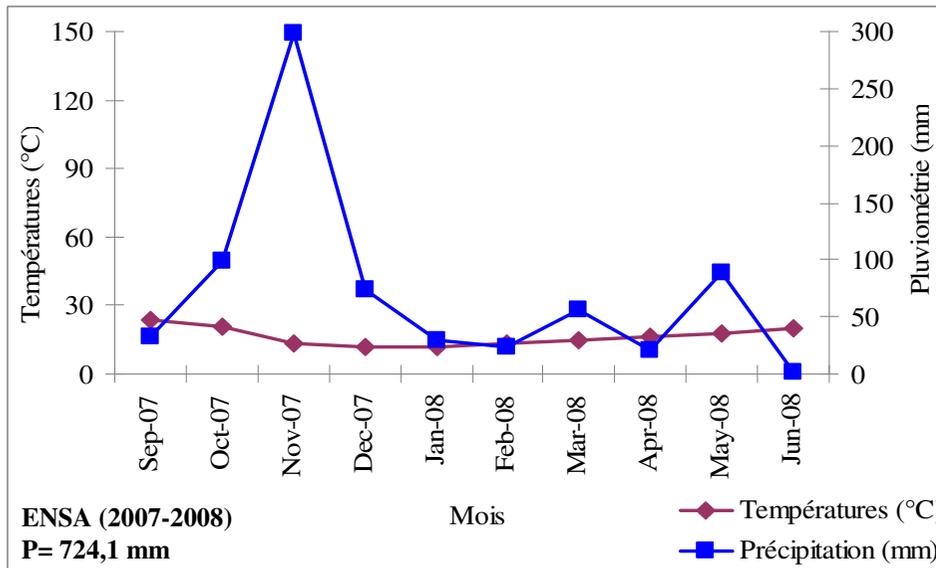
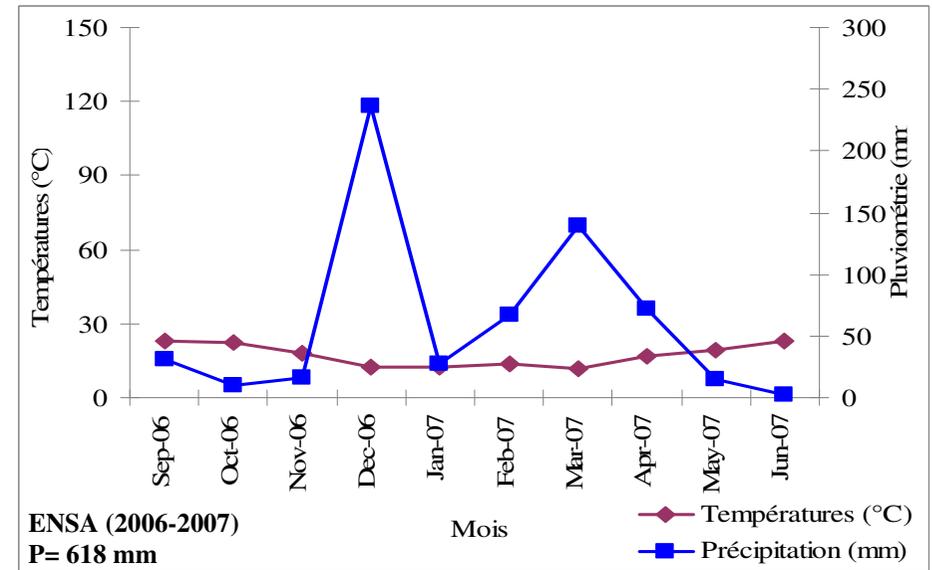
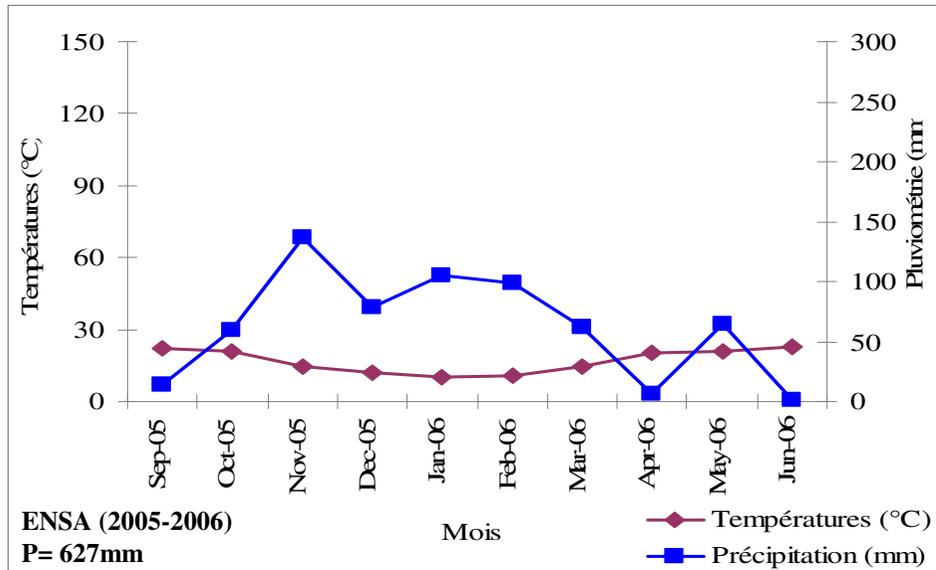
La Mitidja se caractérise par un climat méditerranéen à hiver doux et humide avec une pluviométrie moyenne de 600 mm et à été chaud et sec avec des risques de sirocco réduits. La région d'El Goléa se caractérise par des précipitations pratiquement inexistantes, des températures très élevées et de fortes amplitudes journalières, une insolation et une luminosité intenses, ainsi que par une importante évaporation.

Dans le but de déterminer les conditions climatiques qui ont caractérisés les campagnes 2005-2006, 2006-2007, 2007-2008 (en Mitidja et à El Goléa), un suivi régulier a été réalisé au niveau des stations météorologiques de l'ENSA et d'El Goléa. La synthèse des relevés climatiques est donnée dans la figure 4 (page 24).

Le climat dans les deux zones d'études est caractérisé par :

### 1. A l'ENSA

- ✓ **Essai 1 :** La somme des précipitations enregistrées durant la campagne agricole 2005-2006 est de 677,8 mm. Cette campagne a connu une faible pluviométrie durant le mois de septembre et le mois d'Avril. Les plus fortes précipitations ont été enregistrées pendant la période allant de novembre à février. Pendant le mois de mai, de fortes précipitations (116mm) ont été enregistrées en l'espace de quatre (04) jours. Le mois le plus chaud était le mois de juin avec une température moyenne de 23,1 °C et le plus froid était janvier avec une température moyenne de 10,2 °C.
- ✓ **Essai 2 :** La somme des précipitations enregistrées durant la campagne agricole 2006-2007 est de 618 mm. Les mois d'octobre et novembre étaient peu pluvieux, le mois de décembre a connu une pluviométrie abondante (237 mm) dont plus de la moitié en l'espace de cinq (05) jours. Le mois de janvier était qualifié de sec et le mois de mars était caractéristique avec environ 140 mm. Les températures de l'année se sont démarquées d'une manière beaucoup moins accentuée que la pluviométrie, avec une température moyenne un peu plus élevée que la normale pour le mois de février (14°C), et des températures moyennes en dessous de la normale pour le mois de mars (11,8°C).
- ✓ **Essai 3 :** La pluviométrie annuelle moyenne était de 663,8 mm. La campagne agricole 2007-2008 en Mitidja est caractérisée par une répartition irrégulière de la pluviométrie, les plus fortes précipitations ont été enregistrées pendant le mois de novembre 297,8 mm, ce qui a retardé la mise en place de la culture, et les plus faibles ont été enregistrées de janvier jusqu'à avril. Le mois le plus chaud était septembre avec une température moyenne de 23,93 °C et le plus froid était janvier avec une température moyenne de 12,1°C.



**Fig.4.** Températures moyennes et pluviométries des différentes campagnes agricoles.

Les températures moyennes enregistrées durant l'ensemble des campagnes agricoles en Mitidja ont été relatives à un climat méditerranéen, caractérisé par un hiver doux où les moyennes mensuelles ne vont pas en dessous de 10°C (figure 4).

## 2. El Goléa

La somme des précipitations enregistrées durant la campagne agricole 2007-2008 à El Goléa est de 9,63 mm. Les moyennes des précipitations mensuelles sont négligeables, elles varient de 0 mm (septembre, novembre, décembre, janvier, avril et juin) à 4,06 mm (février et mai). Les températures de l'année étaient plus élevées que la normale. Le mois le plus chaud est le mois de juin avec une moyenne de 31,9 °C et le plus froid est le mois de décembre avec une moyenne de 9,7 °C.

### 2.3. Le matériel végétal

Le matériel végétal utilisé comprend 17 génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) dont 5 variétés parentales et 12 populations issus de croisements entre celles-ci. Ce travail est réalisé dans le cadre du projet de recherche CNEPRU de MEKLI CHE (communication personnelle). Les caractéristiques des variétés parentales sont données dans le tableau 8 pages 26-27.

### 2.4. Dispositif expérimental

Les quatre essais étaient menés selon un dispositif bloc aléatoire complet avec trois répétitions (03 blocs). Le nombre de génotypes étudiés dans le premier et le deuxième essai était de 51 génotypes (5 variétés parentales et 46 populations issues de croisements diallèles). Le nombre de génotypes étudiés dans le troisième et le quatrième essai était de 17 génotypes (5 variétés parentales et 12 populations issues de croisements diallèles). Seuls 17 génotypes sont retenus après sélection à partir des 51 génotypes déjà étudiés dans le premier et le deuxième essai et font l'objet de notre étude.

- **Essai 1** : La distance entre les blocs était 0,5 m par contre celle entre les micro-parcelles était 0,3 m. la dimension de chaque micro parcelle était 1m de long et 0,8 m de large ;
- **Essai 2** : La distance entre les blocs était 1,2 m par contre celle entre les micro-parcelles était 0,25 m. la surface de chaque micro-parcelle était 1 m<sup>2</sup> (1 m de long et 1 m de large) ;
- **Essai 3** : La distance entre les blocs était de 1 m par contre celle entre les micro-parcelles était de 0,5 m. La surface de chaque micro-parcelle était 2,4 m<sup>2</sup> (2 m de long et 1,2 m de large).
- **Essai 4** : Chaque micro-parcelle a mesuré 3,6 m<sup>2</sup> (3 m de long et 1,2 m de large), la distance entre les micro-parcelles était de 0,5 m par contre celle entre les blocs était 0,8 m.

**Tableau 8 :** Caractéristiques du matériel végétal utilisé.

Variétés		Waha	Vitron	Siméto	Saadi	Ardente	
Dénomination locale		//	Hoggar	Serrou	//	//	
Origine		ICARDA (Syrie), sélectionnée à l'ITGC de Sétif	France, sélectionnée à l'ITGC de Tiaret	France, sélectionnée à l'ITGC de Tiaret	Maroc	Introduite de France	
Caractéristiques morphologiques	Epi	Demi-lâche à compact	Compact, blanc	Demi-lâche, blanc		Gros, blanc et compact	
	Paille	Courte 80-90 cm	Moyenne 90-100 cm	Moyenne 90-100 cm	Courte 70-80 cm	Moyenne	
	Grain	Moyen, clair ombré à roux	Moyen roux	Demi allongé		Allongé	
Caractéristiques culturales	Cycle végétatif		précoce	Semi-précoce	Semi-précoce	Précoce	Précoce à très précoce
	Tallage		Moyen à fort	Moyen	Fort	Moyen	Moyen
	Résistance	Froid	Tolérante	Résistante	Tolérante		Sensible
		Verse	Résistante	Tolérante	Tolérante		Sensible
		Sécheresse	Sensible	Sensible	Sensible		Tolérante
		Egrenage	Résistante	Résistante	Résistante		---
		Gelées printanières	Sensible	sensible	---		---
Conditions techniques	Date de semis		Novembre à décembre	Mi novembre à la fin décembre	Mi novembre à mi-décembre	---	
	Dose de semis (kg/ha)		100 à 120	120 à 150	130	---	
Productivité (q/ha)		45	60	50		---	
Résistance aux maladies	Rouille jaune		Tolérante	Moyennement résistante	Tolérante	Moyennement tolérante	
	Rouille brune		Tolérante	Moyennement résistante	Moyennement tolérante	Moyennement tolérante	
	Rouille noire		Tolérante	Moyennement	---	---	

			résistante		
	<b>Piétin verse</b>	Résistante	Résistante	---	---
	<b>Piétin échaudage</b>	Sensible	Peu sensible	---	---
	<b>Oïdium</b>	Résistante	Résistante	Résistante	---
	<b>Septoriose</b>	Moyennement résistante	Peu résistante	Peu résistante	Peu sensible
	<b>Fusariose</b>	Moyennement résistante	Modérément résistante	Résistante	Moyennement résistante
<b>Caractéristiques qualitatives</b>	<b>Résistance au mitadinage</b>	Résistante	Résistante	Résistante	Tolérante
	<b>Résistance à la moucheture</b>	Résistante	Résistante	Résistante	Résistante
	<b>Taux d'extraction</b>	Moyen	Moyen	---	---
	<b>Indice de jaune</b>	Faible	Faible	Moyen	---
	<b>PMG</b>	Elevé	Elevé	Moyen	---
<b>Zones d'adaptation</b>	-Hauts plateaux -Plaines intérieures	-Hauts plateaux -Plaines intérieures -zone saharienne (sous pivot)	-Littoral et sublittoral -plaines intérieures		-Bonne performances en zones sèches.
<b>Pedigree</b>	Waha'S' PLC'S'/Ruff//Gta ''S''/3/ Rolette CM17904-3M- 1Y-1M-0Y	JO''S/AA''S''//fg''S ''-CM 9799	capeitixVal-vona		---

--- : Aucune information disponible

Source : Bernicot (1995), Boufenar-Zaghouane et Zaghouane (2006)\*

\*NB. Les caractéristiques de la variété Saadi proviennent des résultats des travaux de Boukecha (2001), Bouraine (2006), Mihoub (2007), Lebbi (2008), Malek (2008) et Mohamed Yahiaoui (2008).

## 2.5. Itinéraire technique

### 2.5.1. Travail du sol

Les techniques de travail du sol et les dates de semis sont mentionnées dans le tableau suivant :

**Tableau 9:** Techniques de travail du sol et dates de semis au niveau des quatre essais

Itinéraire technique		Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4
Précédent cultural		Soja	Soja	Soja	Blé dur
Travail du sol	Labour	Le 24/12/2005 à l'aide d'un cultivateur ;	Charrue à soc le 26/11/2006	Charrue à soc le 10/12/2007	Labour croisé à l'aide d'un cultivateur à dents le 01/12/2008
	Façons superficielles	Le 25/12/2005 à l'aide d'une herse	Cultivateur à dents rotatif le 27/11/2006	Cultivateur à dents rotatif, puis rouleau le 24/12/2008	
Semis		Le 26/12/2005 70 graines/ML. 3 à 5 cm de profondeur	Le 12/12/2006 70 graines/ML. 3 à 5 cm de profondeur	Le 08/01/2008 70 graines/ML. 3 à 4 cm de profondeur	Le 08/12/2008 70 graines/ML/ 3 à 4 cm de profondeur

ML : mètre linéaire.

### 2.5.2. Semis

**Tableau 10 :** Date de semis, pluviométrie totale, irrigation, dose d'azote et observations des différents essais

Années	Date de semis	Total pluie (mm)	Irrigation	Mois les plus secs ou les plus humides	observations
2005-2006 Bouraine	26/12/05	627	195 mm	Avril : 6,2	pluviométrie bien répartie à partir du début novembre sauf avril
2006-2007 Mihoub	12/12/06	618	8 mm	Janvier : 27,4	pluviométrie bien répartie à partir du début décembre sauf janvier
2007-2008 Mohamed yahiaoui	08/01/08	724,1	90 mm	Novembre : 297,8 Janvier : 29,7 Février : 23,8 Avril : 29,5	Très mauvaise répartition
2007-2008 El Goléa Lebbi	08/12/08	9,63 (négligeable)	Irrigation continue jusqu'à la fin du cycle	Tous les mois sont secs	Culture sous pivot (entièrement irrigué)

### 2.5.3. Fertilisation

La fertilisation apportée durant le cycle de blé dans les quatre essais est résumée dans le tableau suivant :

**Tableau 11 : Dates et doses de fertilisants apportées dans chaque essai.**

Engrais	Essai 1			Essai 2			Essai 3			Essai 4		
	Dates	Qtés	Doses	Dates	Qtés	Doses	Dates	Qtés	Doses	Dates	Qtés	Doses
TSP	---	---	---	24-11-06	2 q/ha	90 U P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	11-11-07	2 q/ha	90 U P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	---	---	---
15-15-15	---	---	---	25-11-06	3 q/ha	45 U N 45 U P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 45 U K <sub>2</sub> O	---	---	---	---	---	---
0-25-0	24-12-05	2 q/ha	50 U P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Urée	08-02-06 21-02-06	1q/ha 1q/ha	92 U N	08-01-07 21-01-07 13-03-07	43.47 kg/ha 130.43 kg/ha 86.95 kg/ha	120 U N	03-02-08 24-02-08	102,55kg/ha 102,55kg/ha	94,34 U N	30-01-08		46 kg/ha
Agriphos	18-02-06 20-03-06 26-03-06	2.5 l/ha 2.5 l/ha 2.5 l/ha	3,22 U P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	08-01-07 22-01-07	2.5 l/ha 2.5 l/ha	2,16 U P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	04-02-08 24-02-08 10-03-08	2,32 l/ha 2,32 l/ha 2,32 l/ha	3 U P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10-01-08	2.5 l/ha	1,08 U P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Agripotash	19-04-06	2.5 l/ha	0,83 U K <sub>2</sub> O	04-04-07	3,81 l/ha	1,26 U K <sub>2</sub> O	14-04-08	3,45 l/ha	1,14 U K <sub>2</sub> O	23-02-08 06-03-08	2.5 l/ha 2.5 l/ha	1,66 U K <sub>2</sub> O
Phosamco	20-03-06	2.5 kg/ha	0,5 U N 0,2 U P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 0,35 U K <sub>2</sub> O	22-01-07	2.5 kg/ha	0,5 U N 0,2 U P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 0,35 U K <sub>2</sub> O	24-02-08	2,24 kg/ha	0,44 U N 0,17 U P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 0,3 U K <sub>2</sub> O	---	---	---
Safe N	26-03-06 19-04-06	2.5 l/ha 2.5 l/ha	1,75 U N	13-02-07 01-03-07	2.5 l/ha 2.5 l/ha	1,75 U N	10-03-08 30-03-08	2,29 l/ha 2,29 l/ha	1,6 U N	---	---	---
UAN	---	---	---	---	---	---	---	---	---	01-01-08 17-01-08 12-02-08 21-02-08 04-03-08 13-03-08 20-03-08 26-03-08 07-04-08		32 U N 21 U N 21 U N 32 U N 21 U N 26 U N 21 U N 15 U N 21 U N
Compound pholate	---	---	---	---	---	---	---	---	---	10-01-08 21-01-08	2.5 l/ha 2.5 l/ha	
Bioactyl	---	---	---	---	---	---	---	---	---	25-11-07	3 q/ha	
Total	N P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O	94,25 U 53,42 U 1,18 U	N P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O	167,25 U 137,36 U 46,61 U	N P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O	96,38 U 93,17 U 1,44 U	N P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O	302 U 1,08 U 1,66 U				

### 2.5.4. Désherbage

Les traitements de désherbage chimique effectués durant le cycle du blé dans les quatre essais sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau 12 :** Dates et doses de désherbants apportées dans chaque essai.

Désherbants (matière active)	Essai 1		Essai 2		Essai 3		Essai 4	
	Date	Dose	Dates	Doses	Dates	Doses	Dates	Doses
Finoxaprop_P_Ethyl	11-02-06	0.5 l/ha	13-02-07	0.5 l/ha	03-02-08	0.43 l/ha	---	---
Idosulfaron methyl sodium	---	---	13-02-07	0.5 l/ha	03-02-08	0.43 l/ha	---	---
Mefenpyr Diethyl	---	---	---	---	03-02-08	0.43 l/ha	---	---
Glyphosate	---	---	---	---	---	---	04-12-07	1.5 l/ha
Sulphosulfuron 750 g / kg	---	---	---	---	---	---	13-01-08 08-02-08	1.5 l/ha 1.5 l/ha
Acide 2,4-D 36g/l Metosulam 5g/l	---	---	---	---	---	---	29-02-08	1 l/ha

### 2.5.5. Traitements phytosanitaires

Les traitements phytosanitaires effectués durant le cycle du blé dans les quatre essais sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau 13 :** Dates et doses des traitements phytosanitaires apportées dans chaque essai.

Traitement phytosanitaire (matière active)	Essai 1		Essai 2		Essai 3		Essai 4	
	Date	Dose	Date	Dose	Date	Dose	Date	Dose
Chloropyriphos Ethyle (Pychlorex 48EC)	21-12-05	1.75 ml/l	16-12-06 04-04-07	1.8 l/ha 1.8 l/ha	18-02-08 11-03-08 07-05-08	1.22 l/ha 1.22 l/ha 1.22 l/ha	---	---
Chlorpyriphos Ethyle + 20g/l Cyperméthrine (Chlorcyrine 220 E)	14-03-06 09-04-06	0.15 ml/l 0.15 ml/l	---	---	---	---	---	---
Propiconazol (Tilt)	15-03-08 22-03-06 11-04-06	0.15 ml/l 0.15 ml/l 0.15 ml/l	14-02-07 26-02-07	3.15 l/ha 3.15 l/ha	---	---	---	---
Métaldéhyde	15-04-06	15 kg/ha	26-02-07	15 kg/ha	24-02-08	15 kg/ha	---	---
Fluifazole et Carbendazine (Punch'S)	---	---	15-03-07 01-04-07	0.25 l/ha 0.25 l/ha	25-02-08 11-03-08 08-04-08	0.9 l/ha 0.9 l/ha 0.9 l/ha	---	---
Amitraze (Bye Bye 200)	---	---	---	---	04-05-08	0.9 l/ha	---	---
Brodifacoum (Klérate)	07-05-06	5 kg/ha	---	---	---	---	---	---
Lambda aphalothrine 50g/l (Karaté)							20-03-08	300 ml/ha

### 3. Analyse statistiques

L'analyse de la variance a été réalisé selon le modèle 4 où les effets génotypes et lieux sont fixés (**Annicchiarico 2002**). Il s'agit d'un modèle à trois facteurs qui sont : le génotype (G), le lieu (L) et le bloc (B). Dans ce cas, la réponse d'un caractère comme le rendement en grain  $R_{ijr}$  d'un génotype  $i$  dans un milieu  $j$  et le bloc  $r$  est :

$$R_{ijr} = \mu + G_i + L_j + B_r(L_j) + GL_{ij} + e_{ijr}$$

Où :

- $\mu$  est la moyenne général ;
- $e_{ijr}$  la valeur de l'erreur résiduelle.

Le calcul des composantes de la variance a été réalisé selon le modèle 1 et l'analyse de la variance **Hardwick et Wood (1972)** pour l'étude de l'adaptation de **Finlay et Wilkinson (1963)** a été réalisée en utilisant le programme « GEST » du **Dr. Yasuo (2000)**, basé sur le modèle **d'Eberhart et Russel (1966)** :

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i l_j + \sigma_{ij}$$

Où :

- $Y_{ij}$  = la moyenne du  $i^{\text{ème}}$  génotype au  $j^{\text{ème}}$  environnement ;
- $\mu_i$  = la moyenne du  $i^{\text{ème}}$  génotype à travers l'ensemble des milieux ;
- $\beta_i$  = coefficient de régression mesurant la réponse du  $i^{\text{ème}}$  génotype au changement de milieu ;
- $l_j$  = index environnemental (moyenne de tous les génotypes dans l'environnement  $j$  – la moyenne générale) ;
- $\sigma_{ij}$  = déviation à partir de la régression.

$$\beta_i = ((\sum Y_{ij} l_j) / (l_j^2)) ; S^2_{di} = (\sum \sigma^2_{ij} / (l - 2)) - \frac{s^2_e}{r}$$

Où:  $r$  = répétition et  $s^2_e$  = carré moyen estimé de l'erreur groupée.

La stabilité des génotypes peut être jugée à partir de l'étude des composantes de l'interaction génotypes x environnement (**Eberhart et Russel, 1966**). Le principe de cette méthode est l'utilisation de la régression linéaire jointe où le caractère étudié par exemple le rendement en grain est régressé sur le rendement moyen environnemental. Selon **Mekliche et al., (non daté)**, la performance d'un génotype est généralement décomposée en environnement (linéaire), génotype x environnement (linéaire) et déviation du modèle de régression. La moyenne, le coefficient de régression ( $\beta_i$ ) et la déviation ( $S^2_{di}$ ) à partir de la régression sont les éléments qui caractérisent chaque génotype. **Eberhart et Russel (1966)** et **Wachira et al., (2002)** cités par **Akçura et al., (2005)** ajoutent que :

→ Une valeur de régression égale à 1 et une  $S^2_{di}$  de zéro indiquent une stabilité satisfaisante ;

- Des valeurs de régression supérieures à 1 et une  $S^2_{di}$  de zéro indiquent que les génotypes ont une sensibilité plus élevée au changement de milieu et une plus grande adaptation spécifique aux milieux à hauts rendements ;
- Un coefficient de régression inférieur à 1 et une  $S^2_{di}$  de zéro indiquent que les génotypes ont une adaptation spécifique aux environnements à faibles rendements.

La régression linéaire entre l'index du milieu moyen (moyenne de l'ensemble des génotypes au niveau de chacun des milieux = x) et la valeur moyenne de chacun des génotypes pour les différents caractères a été réalisée lorsque l'interaction génotype x environnement est significative. La signification du coefficient de régression a été vérifiée à l'aide du test de Student. Les limites de confiance ont été calculées pour déterminer l'égalité ou non du coefficient de régression avec l'unité. Le calcul de l'écovalence a été également réalisé.

L'héritabilité au sens large a été calculée selon la formule suivante (**Annicchiarico, 2002**):

$$H^2 = \frac{\sigma^2_g}{\sigma^2_{ph}} = \frac{\sigma^2_g}{\sigma^2_g + \left(\frac{\sigma^2_{gl}}{l}\right) + \left(\frac{\sigma^2_e}{ri}\right)}$$

Où:

- $\sigma^2_g$  = variance génotypique;
- $\sigma^2_{gl}$  = variance de l'interaction génotype x environnement;
- $\sigma^2_e$  = variance environnementale;
- $g$ ,  $ph$ ,  $l$  et  $r$  sont respectivement génotype, phénotype, lieu et nombre total de blocs ou répétitions.

Les caractères étudiés ont été le nombre d'épis par mètre carré (Népi/m<sup>2</sup>), la hauteur de la tige (HT), la longueur du col de l'épi (LCE), la longueur de l'épi (LE), la longueur des barbes (LB), le nombre total d'épillets par épi (ET), le nombre d'épillets fertiles (EF), le nombre d'épillets stériles (ES), le nombre de grains par épi (NGE), la précocité à l'épiaison (PE), la précocité à la floraison (PF), l'indice de récolte (IR), le poids de la biomasse aérienne (BA), le poids de mille grains (PMG), le rendement en grain estimé (RDTe) et le rendement en grain parcellaire (RDTg).

L'ensemble des mesures ont été réalisées sur toutes les plantes d'un échantillon d'un mètre carré pour la mesure des composantes de rendement et des caractères morphologiques à l'exception du nombre de jours nécessaires à l'épiaison et à la floraison, qui ont été notés lorsque 50% des épis de la parcelle sont sorties pour la précocité à l'épiaison et sont arrivées au stade floraison pour le second caractère. La hauteur de la tige a été mesurée de la surface du sol jusqu'à la base de l'épi, tandis que la longueur de l'épi a été mesurée de la base de l'épi jusqu'au sommet de l'épi (barbes non comprises).

### **Etude de l'hétérogénéité des variances (Muir, 1992)**

Selon **Emebiri et al., (2005)**, la somme des carré des écarts de l'interaction génotype x milieu peut être divisée en deux composantes : une due à l'hétérogénéité des variances à travers les environnements et une due aux corrélations incomplètes d'un même essai mené dans deux environnements. Dans la plupart des études où l'interaction GE est divisée en ces deux

composantes, seule la somme des carrés des écarts de l'interaction génotype x milieu est divisée (cas des résultats des travaux de **Burdon 1977; Chapman et al., 2000; Krenzer et al., 1992; Moll et al., 1978 et Wu et Stettler 1997** cités par **Emebiri et al., 2005**).

Une interaction GE significative peut avoir lieu à cause de l'une ou l'autre composante. Les hétérogénéités des variances causent un changement de l'équilibre, mais ne changent pas le classement des variétés cultivées. D'autre part, la présence de corrélations incomplètes (**Muir et al., 1992**) aboutirait au reclassement de variétés cultivées. C'est la composante qui peut compliquer la sélection parce qu'elle mesure le degré auquel la performance dans un environnement échoue dans la précision de la performance dans l'autre (**Emebiri et al., 2005**).

## Le concept du biplot

Selon **Yan (2001)**, le concept de biplot a été proposé en premier lieu par **Gabriel (1971)**. Tout tableau à double entrée ou matrice X qui contient  $n$  lignes et  $m$  colonnes peut être considéré comme le produit de deux matrices: A à  $n$  lignes et  $r$  colonnes et B avec  $r$  lignes et  $m$  colonnes. Donc la matrice X peut toujours être décomposée en ses deux composantes de matrices, A et B. Si  $r$  arrive à 2, la matrice X est appelée une matrice à deux rangs. Chaque ligne dans la matrice A possède deux valeurs qui définissent un point dans un espace à deux dimensions. De même, chaque colonne dans la matrice B a deux valeurs, qui définissent également un point à un espace en deux dimensions. Lorsque les  $n$  rangées de la matrice A et  $m$  colonnes de la matrice B sont affichés dans une seule parcelle, cette parcelle est appelée biplot. Par conséquent, le biplot d'une matrice à deux rangs contient  $n + m$  points, par rapport à  $n * m$  valeurs dans la matrice d'origine, et contient encore tous les renseignements matrice. Une propriété intéressante d'un biplot est que chacun des les valeurs de  $n * m$  peut être justement récupéré en affichant les  $n + m$  points sur le biplot.

Supposons que nous ayons les données de rendement de trois génotypes matrice à trois environnements qui est une matrice à deux rangs. Après la décomposition des matrices X en ses deux composantes (matrices A et matrice B), les trois génotypes et trois environnements peuvent être présentés dans un biplot comme dans la figure 5. Le rendement du génotype  $i$  dans l'environnement  $j$ ,  $Y_{ij}$  peut être décomposé comme suit:

$$Y_{ij} = (OE_j) * (\cos\alpha_{ij}) * (OG_i) = OE_j * OP_{ij}$$

D'où :

- $OG_i$  : est la distance entre le point d'origine du biplot et le point qui marque le génotype  $i$  ;
- $OE_j$  : est la distance entre le point d'origine du biplot et le point qui marque l'environnement  $j$
- $\alpha_{ij}$  : est l'angle entre les deux droites  $OG_i$  et  $OE_j$
- $OP_{ij}$  ( $= \cos\alpha_{ij} * OG_i$ ) est la projection du point qui marque le génotype  $i$  sur la droite de l'environnement  $j$ . pour comparer les rendements des dix sept génotypes dans l'environnement E1 (figure 5, page 37), nous avons :

$$Y_{11} = (OE_1) * (\cos\alpha_{11}) * (OG_1) = OE_1 * OP_{11}$$

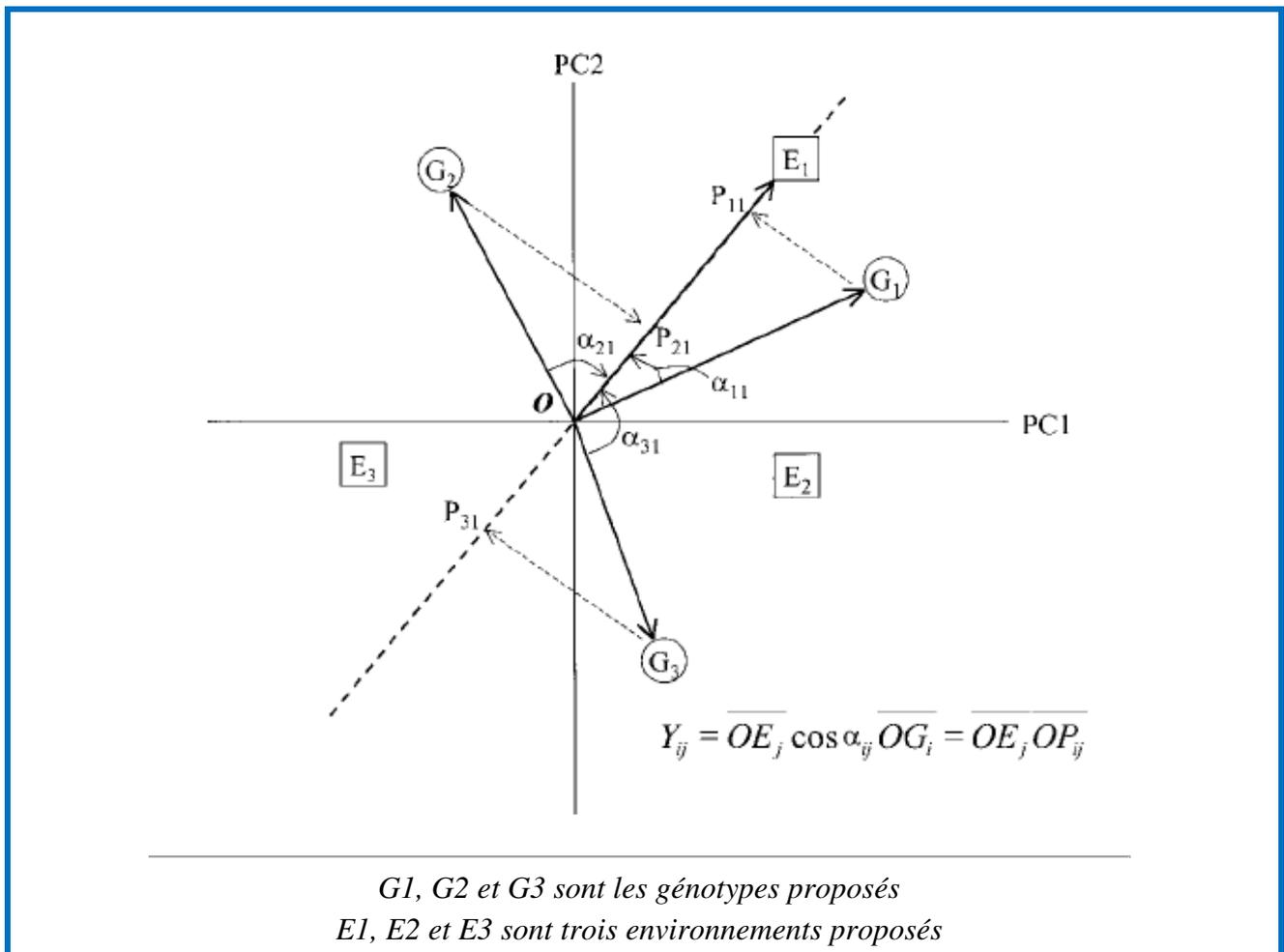
$$Y_{21} = (OE_1) * (\cos\alpha_{21}) * (OG_2) = OE_1 * OP_{21}$$

$$Y_{31} = (OE_1) * (\cos\alpha_{31}) * (OG_3) = OE_1 * OP_{31}$$

D'où

- $Y_{11}$  ;  $Y_{21}$  et  $Y_{31}$  sont les rendements des génotypes 1 ; 2 et 3 dans l'environnement 1 ;
- $OP_{11}$  ;  $OP_{21}$  ; ... et  $OP_{31}$  sont les projections des points qui marquent les génotypes sur la droite ou sont extension de l'environnement 1 ;

Parce que E1 est commun pour tous les génotypes, la comparaison entre  $Y_{11}$  ;  $Y_{21}$  et  $Y_{31}$  peut se faire par une simple visualisation de  $OP_{11}$  ;  $OP_{21}$  et  $OP_{31}$ . Dans cet exemple (figure 5), il est évident  $OP_{11} > OP_{21} > OP_{31}$ , donc  $Y_{11} > Y_{21} > Y_{31}$ . On note que  $OP_{11}$  et  $OP_{21}$  se situent au dessus de la moyenne alors que  $OP_{31}$  se trouve en dessous de la moyenne parce que  $\cos\alpha_{31}$  est négative.



Source : Yan (2001)

Fig.5. La géométrie du biplot

Le tableau 14 comporte les numéros attribués aux génotypes dans les histogrammes et les tableaux des moyennes.

**Tableau 14 :** Liste des numéros attribués aux génotypes dans les histogrammes et les tableaux des moyennes.

<b>Numéros attribués aux génotypes dans les histogrammes et aux tableaux des moyennes</b>	<b>Numéros attribués aux génotypes durant les essais</b>	<b>Génotypes</b>
1	1	Ardente
2	4	Ardente*Saadi L3
3	7	Ardente*Siméto L1
4	9	Ardente*Siméto L4
5	10	Ardente*Vitron L1
6	13	Ardente*Waha L1
7	14	Ardente*Waha L2
8	17	Saadi
9	19	Saadi*Siméto L3
10	29	Saadi*Waha L3
11	31	Saadi*Waha L6
12	32	Saadi*Waha L7
13	34	Siméto
14	39	Siméto*Vitron L5
15	40	Siméto*Vitron L6
16	49	Vitron
17	51	Waha



# RESULTATS ET DISCUSSIONS DE LA PARTIE INTERACTION GENOTYPE X ENVIRONNEMENT

## 1. Etude comparative des géotypes par la méthode conventionnelle

### 1.1. Analyse des différents effets pour les différents caractères

Les analyses de la variance des différents caractères sont données dans le tableau 15. Ce tableau montre un effet géotype significatif ( $P < 0,05$ ) pour le rendement en grain estimé et un effet très hautement significatif ( $P < 0,001$ ) pour tous les autres caractères étudiés. Les effets environnement et interaction géotypes\*environnement sont très hautement significatifs ( $P < 0,001$ ) pour l'ensemble de caractères étudiés. La présence d'interaction géotype\*environnement indique que les géotypes se classent différemment selon les variations du milieu. (Le détail de l'analyse de la variance est présenté par les tableaux 1-16, annexe I, pp : 1-6).

**Tableau 15:** Carrés moyens et degrés de liberté des différentes sources de variation pour les différents caractères étudiés.

Traitements	Géotypes (ddl = 16)	Environnement (ddl = 3)	Interaction GxE (ddl = 48)	Erreur (ddl = 96)
HT	184,34***	1075,86***	33,29***	10,05
LCE	24,64***	451,24***	5,35***	1,52
LE	2,38***	3,37***	0,33***	0,109
LB	8,01***	40,84***	3,09***	0,426
ET	23,07***	42,32***	3,79***	0,823
EF	20,17***	43,49***	3,11***	0,918
ES	1,57***	0,96***	0,44***	0,167
NG/E	257,53***	434,72***	70,61***	22,422
PE	183,86***	2245,15***	43,33***	3,86
PF	116,09***	3359,11***	44,45***	3,86
IR	0,028***	0,37***	0,011***	0,003
BA	5206,23***	561866,95***	6107,62***	1660,783
PMG	64,71***	1128,53***	37,76***	13,49
RDTe	761,72*	25916,55***	1342,59***	399,64
RDTg	391,49***	14820,26***	389,75***	93,116

\*, \*\*, \*\*\* = différences significatives à  $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$  et  $p < 0,001$  respectivement.

### 1.2. Coefficients de variation et héritabilité

Les coefficients de variation de l'erreur (tableau 16, p 37) sont moyens pour le poids de mille grains (11,13%), le nombre de jours nécessaire à la floraison (7,97%), le nombre de jours nécessaire à l'épiaison (7,81%), le nombre de grains par épi (16,55%), le nombre d'épillets fertiles par épi (11,31%), le nombre total d'épillets par épi (11,01%), la longueur des barbes (13,29%), la longueur de l'épi (9,05%) et la hauteur de la tige (9,33%) et très élevés pour le rendement en grain parcellaire (27,59%), le rendement en grain estimé (28,86%), le poids de la biomasse aérienne

(46,20%), l'indice de récolte (28,98%), le nombre d'épillets stériles par épi (51,10%) et la longueur du col de l'épi (19,79%). Pour ces derniers caractères il y a une forte hétérogénéité.

Les coefficients de variation génétiques (tableau 16) mettent en évidence une faible diversité génétique pour le rendement en grain parcellaire (CV génétique = 0,74%) et une forte diversité génétique chez les génotypes étudiés pour tous les autres caractères étudiés, ils varient de 3,30% pour le nombre de jours nécessaire à la floraison à 77,48% pour le nombre d'épillets stériles par épi.

L'étude de l'héritabilité au sens large (tableau 16) révèle des héritabilités très élevées pour le nombre de grains par épi (0,88), le nombre d'épillets stériles par épi (0,89), le nombre d'épillets fertiles par épi (0,82), le nombre total d'épillets par épi (0,83%). La hauteur de la tige (0,65), la longueur du col de l'épi (0,38), la longueur des barbes (0,65), le nombre de jours nécessaire à l'épiaison (0,48), l'indice de récolte (0,46) et le poids de mille grains (0,39) ont une héritabilité beaucoup plus élevées que le rendement en grain. Le rendement en grain parcellaire et estimé et le nombre de jours nécessaire à la floraison ont des héritabilités très proches (0,23 ; 0,23 et 0,28 respectivement). L'héritabilité la plus faible a été enregistrée pour le poids de la biomasse aérienne (0,09%).

### 1.3. Moyennes des différents caractères et corrélations phénotypiques

Les valeurs moyennes des dix sept génotypes (tableau 16) varient de 63,1 cm à 93,97 cm pour la hauteur de la tige, de 14,9 cm à 23,25 cm pour la longueur de col de l'épi, de 6 cm à 8,28 cm pour la longueur de l'épi et de 6,93 cm à 14,09 cm pour la longueur des barbes.

Pour les caractères phénologiques (tableau 16), les valeurs moyennes varient de 92 jours à 127,33 jours pour le nombre de jours nécessaire à l'épiaison et de 103,33 jours à 131,66 jours pour le nombre de jours nécessaire à la floraison.

**Tableau 16 :** Coefficients de variation (erreur et génétique), héritabilités au sens large, valeurs moyennes extrêmes et générales des caractères présentant une différence génotypique significative.

Traitements	CV erreur (%)	CV génétique	Héritabilité au sens large	Valeurs moyennes extrêmes	Moyennes générale
HT	9,33	6,06	0,65	66,70 – 83,08 cm	72,6 cm
LCE	19,79	9,60	0,38	14,12 – 19,47 cm	16,69 cm
LE	9,05	7,26	0,86	5,95 – 7,70cm	6,92 cm
LB	13,29	8,19	0,65	9,99– 12,93 cm	11,21 cm
ET	11,01	8,68	0,38	15,975 – 22,33	18,11
EF	11,31	8,65	0,82	15,39 – 21,01	16,92
ES	51,10	77,48	0,89	0,59 – 1,80	1,21
NG/E	16,55	11,08	0,88	38,58 – 54,30	46,12
PE	7,81	4,47	0,48	92,25 – 112,50jours	99,88 jours
PF	7,97	3,31	0,28	101,16 – 115,75 jours	106,37 jours
IR	28,98	13,48	0,46	0,30 – 0,47	0,39
BA	46,20	8,54	0,09	209,76 – 294,86 q/ha	232,19q/ha
PMG	11,13	4,33	0,39	48,45 – 58,25 g	56,06 g
RDTe	28,86	5,67	0,23	99,91 – 123,97q/ha	111,83 q/ha
RDTg	27,59	0,74	0,23	66,12 – 84,60 q/ha	74,38 q/ha

Pour les caractères agronomiques (tableau 16, p 37), les valeurs moyennes varient de 16 à 24,55 épillets pour le nombre total d'épillets par épi, de 15,4 à 23,64 pour le nombre d'épillets fertiles par épi, de 0,3 à 2,66 pour le nombre d'épillets stériles par épi, de 31,9 à 65,96 pour le nombre de grains par épi, de 0,30 à 0,47, de 100,96 à 448 q/ha pour le poids de la biomasse aérienne, de 49,33 à 68 g pour le poids de mille grains, de 84,66 à 202,95 q/ha pour le rendement en grain estimé et de 49,27 à 118,53 q/ha pour le rendement en grain parcellaire.

Le génotype Ardente\*Waha L2 a enregistré les meilleures moyennes (tableau 17, p 39) pour le poids de la biomasse aérienne (294,86 q/ha), la précocité à la floraison (101,16 jours), la précocité à l'épiaison (95,25 jours), le nombre d'épillets fertiles par épi (21,019 épillets), le nombre total d'épillets par épi (22,33 épillets) et la hauteur de la tige (83,08 cm). Le génotype Ardente\*Waha L1 a enregistré les meilleures moyennes pour la longueur du col de l'épi (19,47 cm), le rendement en grain estimé (123,97 q/ha) et le rendement en grain parcellaire (84,34 q/ha). La variété Ardente a donné le rendement en grain parcellaire le plus élevé avec 84,60 q/ha. Le génotype Ardente\*Saadi L3 a donné aussi un rendement en grain élevé (123,29 q/ha) et un fort poids de mille grains (58,25 g). Le génotype Siméto\*Vitron L6 avait le nombre d'épillets stériles le plus petit (0,59 épillet) et a présenté la longueur des barbes la plus élevée (12,93 cm). La longueur de l'épi la plus élevée a été représentée par le génotype Ardente\*Siméto L1. Le nombre de grains par épi le plus élevé a été donné par le génotype Siméto\*Vitron L5. Le génotype Saadi\*Waha L7 a donné l'indice de récolte le plus fort (0,47).

Le génotype Saadi\*Waha L7 a présenté les moyennes les plus faibles (tableau 17, p 42) pour la hauteur de la tige (66,70 cm), la longueur de l'épi (5,95 cm), la longueur des barbes (9,92 cm) et le nombre de grains par épi (38,58 grains). Les moyennes les plus faibles pour le poids de mille grains (48,45 g), la précocité à la floraison (115,75 jours) et la précocité à l'épiaison (112,5 jours). Le nombre total d'épillets par épi (15,97 épillets) et le nombre d'épillets fertiles par épi (15,39 épillets) les plus faibles ont été enregistrés par le génotype Siméto\*Vitron L6. La variété Vitron a enregistré également un nombre d'épillets fertiles par épi faible (15,39 épillets). Le nombre d'épillets stériles le plus élevé (1,80 épillets) et le rendement en grain estimé le plus faible (99,91 q/ha) ont été donnés par le génotype Ardente\*Siméto L4. Le génotype Ardente\*Saadi L3 a donné la longueur du col de l'épi la plus courte (14,12 cm). L'indice de récolte le plus faible a été présenté par le génotype Ardente\*Waha L2 (0,307). Le poids de la biomasse aérienne le plus faible a été donné par le génotype Saadi\*Waha L7 et le rendement en grain parcellaire le plus faible a été donné par le génotype Saadi\*Waha L3 (66,12 q/ha).

Les génotypes ayant les rendements en grain parcellaires et estimés les plus élevés sont ceux qui présentent un nombre d'épis par m<sup>2</sup>, une longueur de l'épi, un nombre d'épillets total par épi, un nombre d'épillets fertiles par épi et une biomasse aérienne élevés et des hauteurs de la tige et des longueurs de barbes faibles (tableau 18, p 40 et tableau 17, annexe II, p 7).

**Selon Benbelkacem et Kellou (2000)**, le rendement en grain estimé ne peut pas nous renseigner sur les mécanismes mis en œuvre pour son obtention. Il faut pour cela analyser le comportement des différentes composantes qui le forment et les relations possibles pouvant exister entre ces composantes et le rendement grain.

**Tableau 17:** Moyennes des géotypes (Moy) et coefficients de détermination ( $R^2_{ij}$ ) (entre l'index du milieu et la moyenne) des différents caractères étudiés.

Géotypes		HT	LCE	LE	LB	ET	EF	ES	NGE	PE	PF	IR	BA	PMG	RDT <sub>e</sub>	RDT <sub>g</sub>
Ard	Moy	69.646	17.181	6.623	11.734	17.650	17.008	0.675	50.308	98.667	105.000	0.435	232.240	54.722	121.668	84.609
	$R^2_{ij}$	0,63	0,86	0,22	0,41	0,63	0,60	0,11	0,01	0,82	0,85	0,48	0,80	0,26	0,78	0,50
Ard*Saa L3	Moy	70.276	14.122	6.733	10.467	17.917	16.617	1.325	42.542	103.333	110.250	0.352	227.054	60.844	123.299	69.975
	$R^2_{ij}$	0,68	0,80	0,52	0,53	0,34	0,16	0,69	0,0001	0,94	0,95	0,60	0,70	0,67	0,13	0,55
Ard*Sim L1	Moy	71.203	16.558	7.700	11.175	19.867	18.242	1.608	51.483	102.083	107.417	0.375	240.301	57.967	113.346	71.645
	$R^2_{ij}$	0,69	0,84	0,76	0,70	0,91	0,95	0,34	0,65	0,89	0,97	0,71	0,85	0,54	0,70	0,33
Ard*Sim L4	Moy	71.439	16.875	6.562	11.964	17.700	15.883	1.808	43.600	96.500	104.583	0.426	215.649	59.711	99.911	74.036
	$R^2_{ij}$	0,41	0,83	0,01	0,24	0,24	0,12	0,45	0,16	0,67	0,88	0,68	0,81	0,80	0,12	0,63
Ard*Vit L1	Moy	72.793	17.810	7.006	11.139	18.317	17.083	1.250	46.617	100.083	105.250	0.376	245.128	54.733	118.821	79.241
	$R^2_{ij}$	0,15	0,73	0,67	0,62	0,62	0,47	0,13	0,24	0,65	0,86	0,55	0,78	0,003	0,38	0,72
Ard*Wah L1	Moy	78.037	19.476	6.774	11.068	18.017	16.983	1.025	47.050	99.833	106.917	0.400	259.387	58.422	123.976	84.346
	$R^2_{ij}$	0,68	0,71	0,43	0,49	0,67	0,73	0,08	0,07	0,89	0,86	0,36	0,85	0,58	0,59	0,78
Ard*Wah L2	Moy	83.082	16.836	7.602	11.480	22.331	21.019	1.319	54.286	112.500	115.750	0.307	294.866	54.400	118.442	76.373
	$R^2_{ij}$	0,65	0,85	0,15	0,59	0,21	0,43	0,08	0,08	0,84	0,84	0,38	0,44	0,83	0,32	0,35
Saa	Moy	71.330	15.316	6.917	10.533	18.392	16.800	1.567	41.358	95.250	101.167	0.328	240.407	49.889	104.952	67.404
	$R^2_{ij}$	0,54	0,84	0,30	0,57	0,13	0,36	0,09	0,76	0,21	0,78	0,40	0,64	0,06	0,73	0,54
Saa*Sim L3	Moy	73.563	19.361	6.611	11.902	17.408	16.250	1.358	40.983	101.250	108.000	0.365	221.677	57.933	101.803	67.439
	$R^2_{ij}$	0,17	0,73	0,80	0,63	0,59	0,46	0,19	0,68	0,69	0,80	0,62	0,74	0,39	0,50	0,70
Saa*Wah L3	Moy	72.268	16.588	6.764	10.483	17.575	16.175	1.400	42.033	100.417	105.917	0.372	228.881	53.778	103.024	66.122
	$R^2_{ij}$	0,78	0,83	0,46	0,54	0,06	0,04	0,47	0,23	0,92	0,86	0,62	0,89	0,60	0,52	0,47
Saa*Wah L6	Moy	66.708	15.398	5.953	9.992	17.658	16.592	1.075	38.583	99.167	105.917	0.365	223.287	55.244	106.130	69.703
	$R^2_{ij}$	0,63	0,75	0,41	0,67	0,25	0,28	0,51	0,63	0,75	0,75	0,46	0,44	0,23	0,60	0,57
Saa*Wah L7	Moy	71.697	16.897	7.555	11.405	18.667	17.817	0.825	46.585	96.250	105.667	0.473	209.765	56.356	109.053	75.670
	$R^2_{ij}$	0,73	0,79	0,38	0,15	0,07	0,29	0,26	0,84	0,62	0,49	0,68	0,86	0,74	0,24	0,81
Sim	Moy	69.965	15.701	7.112	10.342	18.867	17.375	1.517	48.717	98.333	104.500	0.401	238.627	56.533	118.392	79.261
	$R^2_{ij}$	0,20	0,61	0,13	0,44	0,36	0,35	0,10	0,61	0,95	0,97	0,49	0,69	0,84	0,70	0,51
Sim*Vit L5	Moy	76.097	17.379	7.047	12.599	17.350	16.750	0.592	54.308	100.833	106.583	0.451	222.661	56.789	114.821	80.778
	$R^2_{ij}$	0,79	0,74	0,04	0,89	0,46	0,42	0,02	0,002	0,81	0,79	0,76	0,85	0,45	0,11	0,87
Sim*Vit L6	Moy	74.738	17.677	6.479	12.935	15.975	15.392	0.592	47.592	99.167	107.083	0.457	214.115	58.100	110.453	73.300
	$R^2_{ij}$	0,72	0,85	0,001	0,48	0,37	0,30	0,18	0,02	0,79	0,90	0,66	0,89	0,67	0,31	0,72
Vitron	Moy	73.813	15.089	7.158	10.708	16.683	15.433	1.300	42.875	97.583	104.167	0.403	220.148	54.411	110.183	72.839
	$R^2_{ij}$	0,70	0,90	0,41	0,12	0,43	0,41	0,16	0,58	0,79	0,91	0,88	0,80	0,69	0,67	0,82
Waha	Moy	67.551	15.597	7.175	10.670	17.575	16.242	1.350	45.192	96.750	104.250	0.460	213.073	53.211	102.853	71.821
	$R^2_{ij}$	0,70	0,85	0,65	0,05	0,22	0,59	0,01	0,14	0,81	0,81	0,71	0,90	0,53	0,36	0,65

En conditions méditerranéennes, les deux composantes les plus déterminantes dans la formation du rendement chez cette espèce sont le nombre de grains par épi et le poids de mille grains (**Grignac, 1981**). Le nombre d'épis par mètre carré est la composante du rendement la plus étroitement liée au rendement (**Bouzerzour et al., 2000**). Selon **Bouzerzour et Monneveux (1993)**, le nombre d'épis par m<sup>2</sup> varie plus en fonction des années et des lieux qu'en fonction des variétés pour une même année.

**Bouzerzour et al. (1998)**, notent que l'inefficacité de certains caractères étudiés (biomasse, indice de récolte et précocité) à être corrélatif du rendement en grain indique que la sélection mono caractère semble peu efficace.

**Tableau 18** : Coefficients de corrélations entre le rendement en grain et les différents caractères.

Caractères	RDTg	RDTe	Caractères	RDTg	RDTe
NE/m <sup>2</sup>	/	0.377***	NG/E	0.588***	0.416***
LE	0.277***	0.295***	IR	0.241**	/
LB	-0.282***	-0.444***	BA	/	0.275***
ET	0.335***	0.327***	PMG	/	0.449***
EF	0.398***	0.560***	RDTe	0.728***	/
ES	-0.247**	/			

Selon **Benbelkacem et Kellou (2000)**, l'apparition d'un déficit hydrique au début de la montaison peut réduire de 15 à 25% environ le nombre d'épis, ce qui peut être compensé par des composantes ultérieures. Cette compensation dépend du parcours d'élaboration du rendement et des processus physiologiques liés au génotype.

Selon **Kermiche (2000)**, la biomasse aérienne explique le plus le rendement, suivie de l'indice de récolte, du nombre d'épis/m<sup>2</sup> et de la hauteur de la plante.

**Mekhlouf (1998)** trouve qu'en zone semi-aride d'altitude, le rendement en grain est fortement corrélé avec la biomasse aérienne, le nombre d'épis et le nombre de grains par épi.

La variation du rendement sous l'effet du milieu peut s'expliquer en grande partie par le fait que la compensation entre différentes composantes n'est pas totale (**Triboi, 1987**).

Selon **Dakheel et al., (1993)** cité par **Rahal (2009)**, l'indice de récolte est positivement corrélé avec le rendement en grain sous une large gamme d'environnements. Cet indice prend des valeurs supérieures à 50% sous conditions de croissance non limitantes (**Austin et al., 1980**). Il chute à des valeurs inférieures à 40% sous conditions semi-arides. Les possibilités d'amélioration de cet indice engendrent des augmentations du rendement, sous stress. Cette voie semble être conditionnée par la réalisation d'une biomasse aérienne élevée, au stade épiaison, dont il faut extraire le maximum sous forme de grains.

Lorsque les conditions de croissance et la capacité génotypique conduisent à la réalisation d'un nombre de grains par m<sup>2</sup> à partir du nombre d'épis par m<sup>2</sup> ou du nombre de grains par épi, elles aboutissent à l'extériorisation d'une vitesse de remplissage des grains par m<sup>2</sup> et d'un indice de récolte élevés dont la résultante est l'expression d'un haut rendement en grain (**Bahlouli et al., 2008**).

L'amélioration du nombre de grains par épi, du nombre d'épillets fertiles et de la longueur de l'épi est liée à l'amélioration de la hauteur de la tige ( $r = 0,360^{***}$ ,  $r = 0,508^{***}$  et  $r = 0,363^{***}$  respectivement) et la tardiveté à l'épiaison ( $r = 0,386^{***}$ ,  $r = 0,617^{***}$  et  $r = 0,326^{***}$  respectivement). Cependant, l'augmentation de la tardiveté dans les zones présentant des gelées tardives et une sécheresse précoce est néfaste à l'amélioration du rendement en grain. Par conséquent, ce caractère doit être amélioré en prenant en compte la zone dans laquelle la ou les variétés vont être cultivées. Le nombre de grains/épi et le nombre d'épillets fertiles sont eux-mêmes liés à la longueur de l'épi ( $r = 0,630^{***}$  et  $r = 0,686^{***}$  respectivement).

Nos résultats montrent que l'augmentation du nombre d'épis/m<sup>2</sup> entraîne une diminution de l'indice de récolte ( $r = -0,557^{***}$ ), du nombre de grains/épi ( $r = -0,549^{***}$ ), du poids de 1000 grains ( $r = 0,463^{***}$ ), du nombre total d'épillets ( $r = -0,341^{***}$ ), du nombre d'épillets fertiles ( $r = -0,372^{***}$ ) et de la longueur de l'épi ( $r = -0,257^{**}$ ). Ces diminutions sont dues à la compétition qui s'exerce entre d'une part les épis formés et d'autre part la formation et le remplissage des grains, la plante n'arrive pas à satisfaire les besoins de tous les épis formés. Il y a donc un choix à faire entre l'augmentation du nombre d'épis par m<sup>2</sup> et l'augmentation du nombre de grains par épi et du poids de mille grains.

Selon **Couvreur (1981)**, le poids de mille grains n'est pas indépendant du nombre de grains formés, et quel que soit le type de variété, plus les grains sont nombreux, plus ils sont petits.

D'après **Jonard (1951) in Bendjama (1977)**, le poids de 1000 grains est peu influencé par les densités de semis.

Le nombre de grains par épi est plus élevé lorsque la tige est haute ( $r = 0,360^{***}$ ), l'épi est long ( $r = 0,630^{***}$ ), le nombre d'épillets total par épi est élevé ( $r = 0,673^{***}$ ), le nombre d'épillets fertiles est élevé ( $r = 0,781^{***}$ ), la tardiveté à l'épiaison et à la floraison sont élevées ( $r = 0,386^{***}$  et  $r = 0,265^{**}$  respectivement), un indice de récolte élevé ( $r = 0,272^{**}$ ) et le nombre d'épillets stériles ( $r = -0,354^{***}$ ) est faible.

En conditions de stress hydrique, une paille haute est plus apte à stocker plus de réserves glucidiques, qui sont susceptibles d'être transférées vers le grain, au cours de la phase de remplissage (**Siddique et al., 1989 et Blum et al., 1989**).

Le nombre de grains par épi est sensible aux conditions climatiques de la période de fin tallage à la montaison car toute déficience en assimilats se traduit par l'augmentation du taux d'avortement des épillets (**Benbelkacem et Kellou, 2000**).

Selon **Mosseddaq et Moughli (1999)**, le nombre de grains par épi est déterminé par le nombre d'épillets potentiels et la fertilité de l'épi. Selon **Grignac (1981)**, le déficit hydrique s'oppose à l'élaboration du nombre de grains par épi car il affecte la fertilité de l'épi.

L'association positive entre d'une part le nombre de grains par épi et d'autre part la hauteur de la tige et la longueur de l'épi suggère une sélection indirecte du rendement en grain via le nombre de grains par épi et ce dernier via la hauteur de la tige et la longueur de l'épi. Ces deux derniers caractères interviennent dans le transfert des assimilats vers l'épi en formation et le remplissage des grains (**Bouzerzour et Monneveux, 1993, Abbassène et al., 1998 et Bahlouli et al., 2001**). Selon **Gate et al., (1992 et 1993), Ben Abdallah et Bensalem (1993), Mekliche et al., (1993) et Djebrani (2000)**, la paille haute confère à la plante une meilleure tolérance à la sécheresse grâce aux constituants glucidiques qu'elle contient et qui favorisent le remplissage des grains en cas de déficit hydrique terminal.

La biomasse aérienne est plus élevée lorsque le nombre d'épis par m<sup>2</sup> ( $r = 0,418^{***}$ ), la hauteur de la tige ( $r = 0,603^{***}$ ), la longueur du col de l'épi ( $r = 0,313^{***}$ ), la longueur de l'épi ( $r = 0,239^*$ ), le nombre d'épillets total et fertiles ( $r = 0,425^{***}$  et  $r = 0,384^{***}$  respectivement), la tardivité à l'épiaison et à la floraison ( $r = 0,577^{***}$  et  $r = 0,583^{***}$  respectivement) augmentent et l'indice de récolte ( $r = -0,771^{***}$ ) diminue. Selon **Houassine (2004)**, l'accroissement de la biomasse aérienne est dû principalement à l'augmentation du nombre de grains, autrement dit un nombre de grains élevé est déterminé par un nombre d'épis et un nombre de grains par épi élevé.

Certains auteurs tels que **Bouzerzour et Oudina (1989), Bouzerzour et al. (1996), Bouzerzour et al., (2000) et Mekhlouf et Bouzerzour (2000)** affirment qu'il faut assurer une production de biomasse aérienne suffisante pour garantir un rendement en grain considérable grâce à une redistribution optimale des ressources vers les différents puits.

**Scharma et Smith (1986)**, notent que la biomasse aérienne et l'indice de récolte sont tous deux sous un contrôle génétique du type additif.

Un indice de récolte faible s'explique par le fait que les génotypes ont produit plus de paille que de grains. En effet, un indice de récolte élevé contribue favorablement à l'accroissement du rendement (**Monneveux, 1991**). Selon **Bouzerzour et Djekoune (1996)**, l'indice de récolte indique le degré de reconversion d'une partie de la biomasse aérienne produite en grain.

La hauteur de la tige et la longueur de l'épi élevées diminuent la stérilité de l'épi ( $r = -0,248^{**}$  et  $r = -0,256^{***}$  respectivement). Le nombre de grains par épi et l'indice de récolte sont pénalisés par la stérilité de l'épi ( $r = -0,354^{***}$  et  $r = -0,346^{***}$  respectivement) mais cette dernière permet d'augmenter le poids de mille grains ( $r = 0,253^{**}$ ).

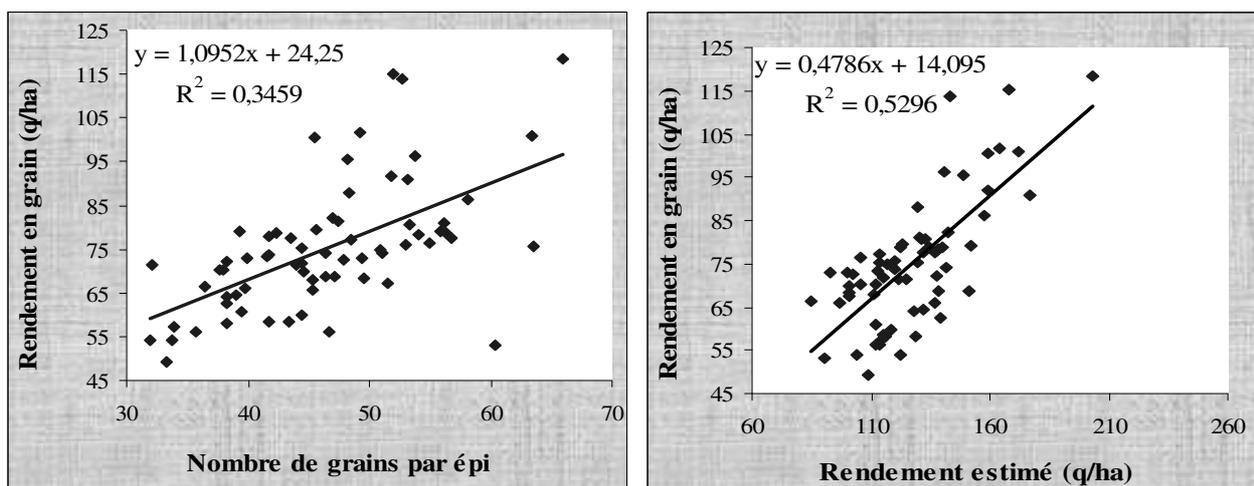
Selon **Gate (1995)**, le nombre potentiel d'épillets totaux est déterminé essentiellement par des facteurs climatiques (température et durée de jour), un stress thermique supérieur à 30°C induit surtout la stérilité femelle. **Couvreur (1985)** confirme que le taux de la fertilité est sensiblement influencé par les conditions climatiques (alimentation en eau, température), ainsi que par la fertilisation, car une carence proche de la floraison provoque des stérilités par l'absence des fécondations. **Baldy (1973)** précise qu'un déficit hydrique apparaissant dix jours avant la floraison

présente un effet sur le rendement maximal qui se traduit surtout par une réduction de la fertilité des épillets.

Selon **Bagga et al., (1970)**, un génotype à paille haute possède par ailleurs un système racinaire profond qui lui confère une capacité d'extraction d'eau importante. L'effet néfaste de la tardiveté sur le poids de mille grains et le rendement en grain est dû à un déficit hydrique pendant le remplissage du grain, qui concerne plus particulièrement les génotypes tardifs. Des effets de déficit hydrique ont été surtout observés sur le poids du grain par **Guttieri et al., (2001)** chez le blé de printemps. Dans des conditions de stress hydrique, il est important de choisir des génotypes précoces qui puissent finir leur cycle avant l'arrivée du déficit hydrique.

Pour notre étude et suite aux tests de corrélations effectués sur le rendement, ses composantes et les caractères liés au rendement, des droites de régression ont été tracées entre certains caractères et le rendement en grain réel et estimé.

D'après les coefficients de détermination, la présence d'une variabilité génétique du rendement est due principalement au nombre de grains par épi (34,59%) (figure 6).



**Fig.6.** Relation entre d'une part le rendement en grain et d'autre part le nombre de grain par épi et le rendement en grain estimé.

## 2. Etude de l'interaction génotype x environnement

### 2.1. Adaptation des génotypes

La comparaison des génotypes dans les différents environnements nous permettra non seulement de déterminer les lignées qui ont une large adaptation, et celles qui ont une adaptation étroite, mais aussi de déterminer le degré de stabilité des caractères pour les différentes lignées.

Le but attendu de notre travail est la création d'une variété de blé dur s'adaptant aux conditions de notre pays et présentant les meilleurs rendements en grain avec une régularité dans la production.

D'après **Barbottin (2004)**, Certaines variétés sont bien adaptées à de nombreux environnements alors que d'autres sont particulièrement adaptées à des environnements spécifiques. L'adaptation regroupe en fait deux notions distinctes : l'adaptation générale, qui représente la capacité que possède un génotype à valoriser des conditions de milieux variées, et l'adaptation spécifique, qui représente la capacité d'un génotype à valoriser des conditions particulières.

L'adaptation générale et l'adaptation spécifique peuvent être déduites du classement de la performance des lignées dans différents milieux (tableau 19), dans notre cas on peut considérer les essais étudiés comme quatre milieux différents, car le climat n'est pas tout à fait le même entre les différentes campagnes de plus l'essai 2007/08 réalisé par **Lebbi 2008** a été mené dans les conditions du sud avec irrigation, et l'essai 2005/06 réalisé par **Bouraine (2006)** a reçu une irrigation de complément contrairement aux deux autres essais qui ont été menés en pluvial (**Mihoub, 2007 et Mohamed Yahiaoui, 2008**).

**Tableau 19:** Classement des génotypes pour le rendement en grain parcellaire

Classement	Milieux favorables				Milieux défavorables			
	E 1 (2006)		E 4 (El Goléa, 2008)		E 3 (2008)		E 2 (2007)	
	Génotypes	Moy	Génotypes	Moy	Génotypes	Moy	Génotypes	Moy
1	Ard*Wah L2	118,53	Ard*Vit L1	100,74	Siméto	64,000	Ard*Wah L1	88,060
2	Ard	115,16	Sim*Vit L5	100,74	Ard*Vit L1	62,417	Ard	78,910
3	Ard*Wah L1	101,58	Saa*Wah L7	99,074	Saa*Sim L3	61,278	Waha	78,593
4	Siméto	90,78	Siméto	98,148	Sim*Vit L5	61,083	Sim*Vit L5	77,523
5	Ard*Sim L1	86,16	Saa*Wah L6	95,370	Ard*Wah L1	60,111	Saa*Wah L7	73,573
6	Saadi	82,16	Saa*Sim L3	93,889	Ard*Sim L4	59,444	Saa*Wah L3	71,560
7	Ard*Vit L1	80,54	Ard*Sim L4	93,889	Ard*Saa L3	59,333	Ard*Sim L4	70,137
8	Vitron	79,44	Sim*Vit L6	91,111	Saa*Wah L7	58,500	Ard*Vit L1	68,707
9	Ard*Saa L3	79,16	Ard	91,111	Sim*Vit L6	55,306	Sim*Vit L6	68,693
10	Sim*Vit L5	76,37	Vitron	90,185	Saadi	52,139	Ard*Sim L1	68,187
11	Saa*Wah L6	73,51	Ard*Saa L3	89,630	Vitron	51,389	Siméto	68,097
12	Sim*Vit L6	73,06	Saa*Wah L3	89,630	Saa*Wah L6	51,250	Vitron	64,423
13	Ard*Sim L4	69,79	Waha	88,704	Waha	49,972	Ard*Wah L2	64,047
14	Saa*Wah L7	67,33	Ard*Wah L1	88,519	Ard*Sim L1	49,819	Saadi	56,163
15	Waha	65,79	Ard*Wah L2	83,333	Ard	47,639	Saa*Wah L6	54,083
16	Saa*Wah L3	59,84	Ard*Sim L1	79,444	Ard*Wah L2	45,667	Saa*Sim L3	54,020
17	Saa*Sim L3	56,25	Saadi	75,556	Saa*Wah L3	45,111	Ard*Saa L3	49,270

Les génotypes adaptés à une large gamme de milieux sont particulièrement intéressants, mais ils présentent généralement des performances plus faibles que celles des génotypes adaptés à des environnements plus spécifiques. L'essai de **Bouraine (2006)** qui a reçu une irrigation d'appoint et l'essai de **Lebbi (2008)** qui a été mené sous pivot ont procuré des milieux respectivement favorables contrairement aux essais de **Mihoub (2007)** et **Mohamed Yahiaoui (2008)** où les essais ont connu une sécheresse au début de cycle et en fin de cycle, on peut diviser le groupe de lignées à adaptation spécifique en deux groupes, lignées performantes en milieu favorable, on rejoint la notion de variétés à haut potentiel citée par **Monneveux et Depigny-This**

(1995) et lignées performantes en milieu défavorable (lignées qualifiées de rustiques). Le tableau 20 (page 45) illustre le classement des génotypes selon leurs types d'adaptation.

A ce niveau on se confronte également à la difficulté du choix dans la sélection, doit on sélectionner les lignées à adaptation large ou spécifique ?

En raison des variations et des fluctuations qui caractérisent le climat méditerranéen de notre pays, il serait intéressant de choisir des variétés ou de sélectionner des génotypes dotés d'une large gamme d'adaptation. Cela peut constituer l'une des solutions pour palier aux contraintes climatiques entravant le développement de la production de blé dur.

**Tableau 20** : Classement des génotypes selon leurs types d'adaptation

Génotypes à adaptation générale	Génotypes à adaptation spécifique	
	Lignées à haut potentiel	Lignées rustiques
Ardente*Waha L1	Ardente*Waha L2	Saadi*Siméto L3
Siméto	Ardente*Siméto L1	Saadi
Siméto*Vitron L5	Saadi*Waha L6	
Ardente*Waha L1		
Ardente		
Saadi*Waha L7		

Toutefois les lignées possédant un haut potentiel peuvent être mises en valeur en agriculture intensive là où l'eau n'est pas un facteur limitant (par exemple là où l'apport d'eau par irrigation est possible) et / ou l'agriculteur peut apporter les intrants nécessaires à la culture. Dans le cas d'une agriculture extensive là où l'agriculteur à faible revenu ne peut pas se permettre d'utiliser des intrants pour permettre aux variétés à haut potentiel d'exprimer leurs rendements, on préconise d'utiliser des variétés rustiques pouvant valoriser les milieux les plus défavorables.

## 2.2. Analyse générale des effets par la méthode de Finlay-Wilkinson

D'après **Barbotin (2004)**, la stabilité d'un caractère est définie comme l'importance des fluctuations d'un caractère observé pour un même génotype cultivé dans différents milieux.

L'analyse combinée de la stabilité a révélé des différences très hautement significatives ( $p < 0,001$ ) entre les environnements pour l'ensemble des caractères.

En ce qui concerne les génotypes, les effets sont significatifs ( $p < 0,05$ ) à très hautement significatifs ( $p < 0,001$ ) pour l'ensemble des caractères. Ceci indique qu'il existe une large variabilité parmi les génotypes étudiés. L'interaction génotypes\*milieu est très hautement significative pour l'ensemble des caractères.

Dans la suite du document, l'étude de la stabilité des génotypes va porter sur les caractères présentant les caractéristiques suivantes :

- Un effet génotype significatif ;

- Une interaction génotype x environnement significative ;
- Un effet de l'interaction génotype x environnement supérieur par rapport à l'effet des génotypes ;
- Ce caractère est lié positivement au rendement et ses composantes.

Donc l'étude va porter sur le rendement en grain, le nombre de jours nécessaire à l'épiaison et à la floraison.

### 2.3. Rendement en grain (parcellaire)

#### 2.3.1. Décomposition de la variance d'interaction

Les rendements en grain parcellaire des génotypes dans les différents environnements sont illustrés dans la figure 7, p 47. La décomposition de l'interaction pour ce caractère montre une interaction génotype x environnement (linéaire) non significative indiquant qu'il n'y a pas de différences entre les coefficients de régression (tableau 22, p 48). Le carré moyen dû à la déviation groupée à partir de la régression pour ce caractère est significatif montrant ainsi l'instabilité de la performance de certains génotypes à travers les environnements. Une grande partie de la somme des carrés des écarts de l'interaction génotype x environnement (89,69%) est due à la déviation à partir de la régression. 10,30% seulement de cette interaction est due à la régression linéaire des moyennes des génotypes sur les moyennes des différents environnements.

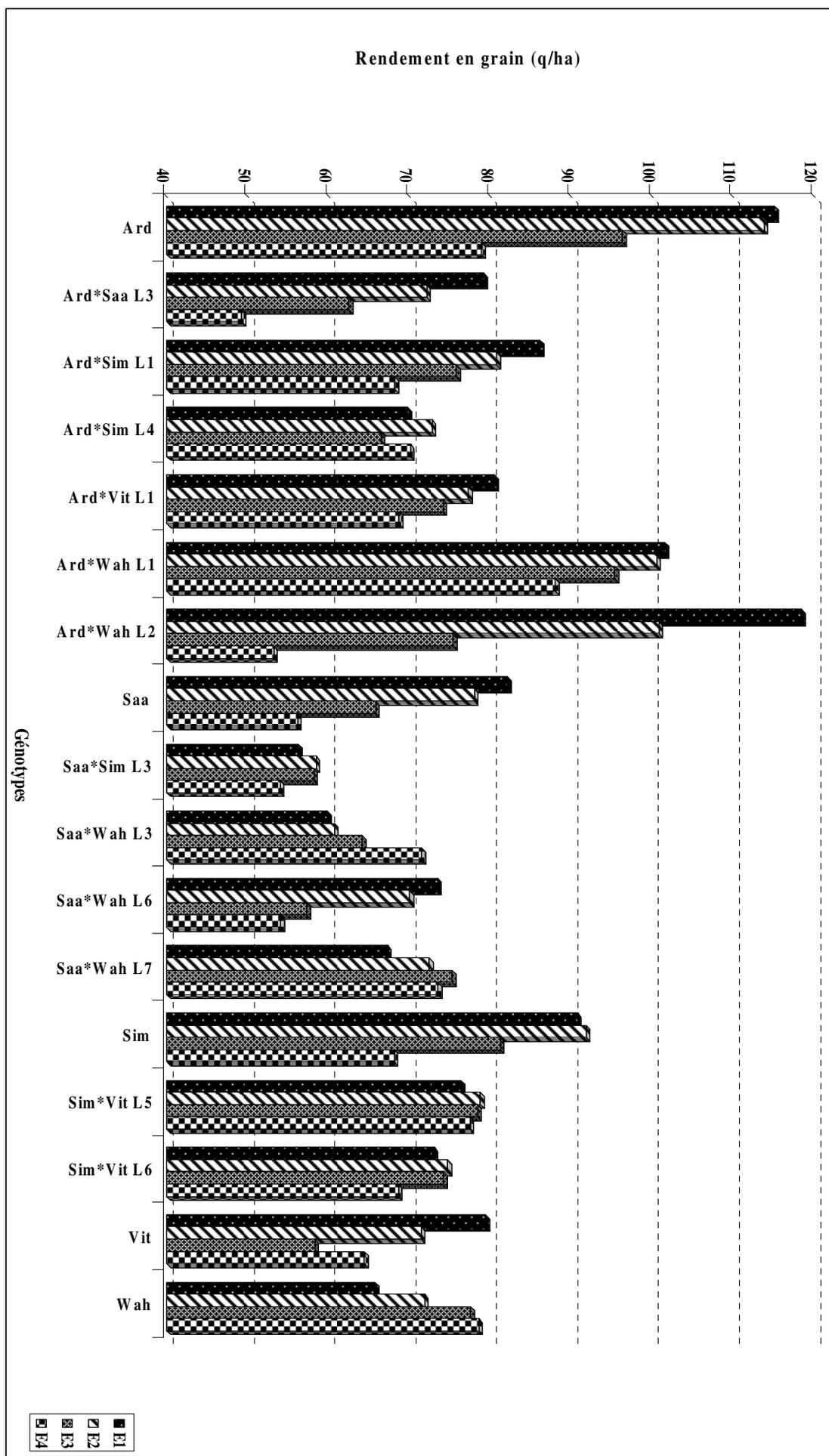
**Tableau 21** : Analyse de la variance de Finlay-Wilkinson pour le rendement en grain parcellaire

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F	Signification
Génotypes	16	5066,707	316,669	3,262	S
Environnements	3	16261,33	5420,443	55,845	THS
Interaction GXE	48	9992,565	208,178	2,174	S
Hétérogénéité (linéarité)	16	1029,52	64,345	0,662	NS
Résiduelle (non linéarité)	32	8963,136	280,098	2,885	HS
Total	67	41313,258	CMe = 97,062		

Les génotypes Ardente (84,41 q/ha), Ardente\*Waha L1 (84,03 q/ha) et Siméto\*Vitron L5 ont donné les rendements en grain les plus élevés. Le rendement en grain des génotypes Saadi\*Siméto L3, Saadi et Saadi\*Waha L3 est beaucoup plus faible avec respectivement 67,43 q/ha, 67,40 q/h et 66,12 q/ha, soit une différence respective de 17,04 q/ha, 17,07 q/ha et 18,35 q/ha (tableau 44, Annexe III, p 21).

Les valeurs de la pente varient de 0,71 à 1,48 ce qui fait que les droites de régression des génotypes sont proches et sont dans la même direction (tableau 22, p 48). Les coefficients de détermination (tableau 22, p 48) entre la moyenne des génotypes et l'index environnemental varient de 0,33 à 0,87. Ces coefficients confirment l'effet de l'environnement sur le comportement des différents génotypes.

FIG.7. Rendement en grain parcellaire des différents géotypes dans les différents environnements



**Tableau 22:** moyennes, S<sup>2</sup>di, bi, limites de confiance et coefficients de détermination R<sup>2</sup>ij du rendement en grain parcellaire

Génotypes	Moyenne	Limites de confiance		bi	bi	S <sup>2</sup> di	R <sup>2</sup> ij
Ardente	84,41	0,48	2,17	= 1	1,40	-1,07 ns	0,50
Ardente*Saadi L3	69,59	0,001	1,30	= 1	0,98	-0,68 ns	0,55
Ardente*Siméto L1	71,20	0,42	1,39	= 1	0,87	-0,26 ns	0,33
Ardente*Siméto L4	73,78	0,49	1,23	= 1	0,84	-2,48 ns	0,63
Ardente*Vitron L1	78,85	0,66	1,43	= 1	1,07	-1,61 ns	0,72
Ardente*Waha L1	84,03	0,02	1,28	= 1	0,71	-1,55 ns	0,78
Ardente*Waha L2	76,00	0,53	2,45	= 1	1,48	-0,29 ns	0,35
Saadi	67,12	0,46	1,25	= 1	0,82	3,68 ns	0,54
Saadi*Siméto L3	67,24	0,25	1,66	= 1	0,88	-2,04 ns	0,70
<b>Saadi*Waha L3</b>	<b>65,78</b>	<b>0,32</b>	<b>1,34</b>	<b>= 1</b>	<b>0,88</b>	<b>5,25 +</b>	<b>0,47</b>
Saadi*Waha L6	69,31	0,83	1,69	= 1	1,28	-2,44 ns	0,57
<b>Saadi*Waha L7</b>	<b>75,29</b>	<b>0,25</b>	<b>1,31</b>	<b>= 1</b>	<b>0,97</b>	<b>-4,67 +</b>	<b>0,81</b>
Siméto	79,00	0,87	1,52	= 1	0,87	-0,78 ns	0,51
Siméto*Vitron L5	80,44	0,61	1,57	= 1	1,06	-2,70 ns	0,87
Siméto*Vitron L6	72,91	0,64	1,27	= 1	0,95	-3,13 ns	0,72
Vitron	72,51	0,51	1,61	= 1	1,14	-3,4 ns	0,82
Waha	70,80	0,23	1,27	= 1	0,73	-2,12 ns	0,65

### 2.3.2. Etude de l'écovalence Wi (Wricke, 1962)

L'étude de l'écovalence (tableau 23, page 49) montre que les génotypes Ardente\*Waha L2, Ardente, Saadi\*Siméto L3, Ardente\*Waha L1, Waha, Saadi\*Waha L3, Saadi\*Waha L7, Ardente\*Saadi L3, Saadi\*Waha L6, Siméto\*Vitron L5, Saadi Ardente\*Siméto L1, Ardente\*Siméto L4 sont ceux qui contribuent le plus à la somme des carrés des écarts de l'interaction génotype x environnement. Tandis que les génotypes Vitron (m = 72,51 et W = 19,17), Siméto\*Vitron L6 (m = 72,91 et W = 63,20), Siméto (m = 79,00 et W = 83,56) et Ardente\*Vitron L1 (m = 78,85 et W = 86,34) sont ceux qui contribuent le moins à la somme des carrés des écarts de l'interaction génotype x environnement et sont donc les plus stables.

### 2.3.3. Etude de la stabilité de la variance ( $\sigma^2_i$ ) de Shukla

L'étude de la variance de la stabilité de Shukla (1972) (tableau 23) montre que les génotypes Ardente\*Waha L2, Ardente, Saadi\*Siméto L3, Ardente\*Waha L1, Waha, Saadi\*Waha L3, Saadi\*Waha L7, Ardente\*Saadi L3, Saadi\*Waha L6, Siméto\*Vitron L5, Saadi Ardente\*Siméto L1, Ardente\*Siméto L4 sont ceux qui présentent les variances les plus élevées, leur stabilité est alors faible. Tandis que les génotypes Vitron ( $m = 72,51$  et  $\sigma^2_i = -1,47$ ), Siméto\*Vitron L6 ( $m = 72,91$  et  $\sigma^2_i = 15,16$ ), Siméto ( $m = 79,00$  et  $\sigma^2_i = 22,86$ ) et Ardente\*Vitron L1 ( $m = 78,85$  et  $\sigma^2_i = 23,91$ ) sont ceux qui présentent les variances les moins faibles, ils ont donc une bonne stabilité.

Le choix des génotypes doit tenir compte des performances de rendement en grain et de leur stabilité. Un compromis doit être trouvé entre ces deux paramètres. Par conséquent, les génotypes Siméto x Vitron L5 (80 q/ha classé 3<sup>ème</sup>,  $W_i = 193,77$  et  $\sigma_i^2 = 64,49$ ), Siméto (79 q/ha classé 4<sup>ème</sup>;  $W_i = 83,56$  et  $\sigma_i^2 = 22,86$ ) et Ardente x Vitron L1 (78,85 q/ha classé 5<sup>ème</sup>;  $W_i = 86,34$  et  $\sigma_i^2 = 23,91$ ) ont un rendement en grain élevé et une bonne stabilité.

**Tableau 23 :** Etude de l'écovalence de Wricke ( $W_i$ ) et la stabilité de Shukla ( $\sigma^2_i$ ) pour le rendement en grain parcellaire

Génotypes	$W_i$	$\sigma^2_i$
Vitron	19,17	-1,47
Siméto*Vitron L6	63,20	15,16
Siméto	83,56	22,86
Ardente*Vitron L1	86,34	23,91
Ardente*Siméto L4	163,51	53,06
Ardente*Siméto L1	163,96	53,23
Saadi	168,15	54,82
Siméto*Vitron L5	193,77	64,49
Saadi*Waha L6	203,36	68,12
Ardente*Saadi L3	268,13	92,59
Saadi*Waha L7	310,39	108,55
Saadi*Waha L3	330,70	116,22
Waha	370,27	131,17
Ardente*Waha L1	531,30	192
Saadi*Siméto L3	653,85	238,30
Ardente	953,16	351,37
Ardente*Waha L2	1707,66	636,41

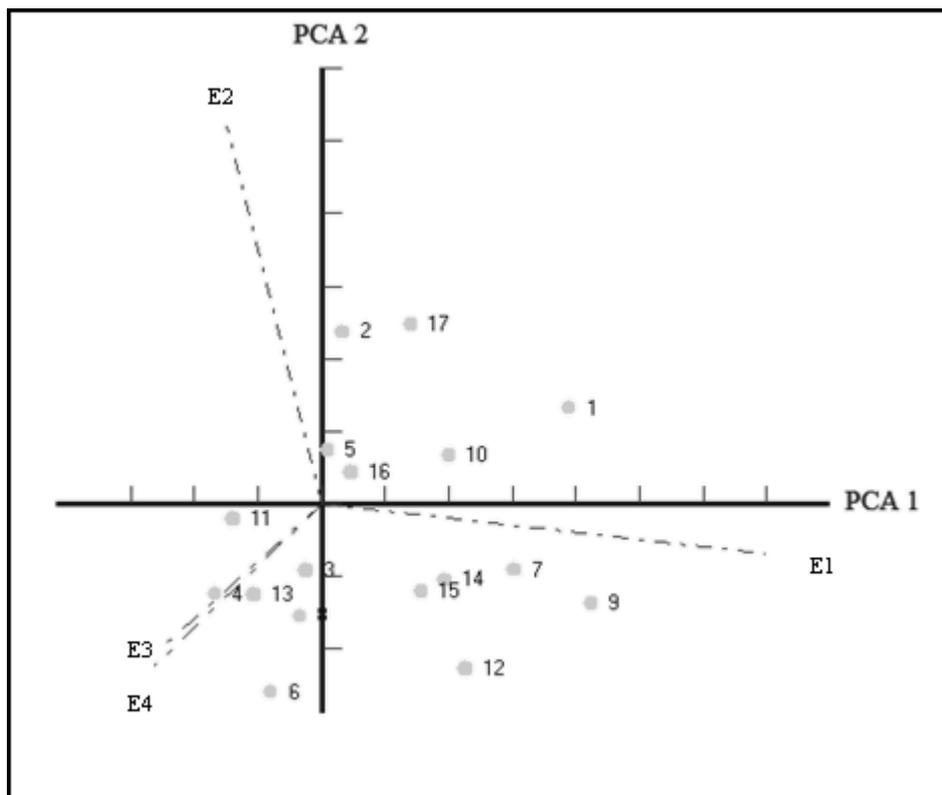
### 2.3.4. Etude de l'hétérogénéité des variances (Muir, 1992)

La part de l'hétérogénéité des variances est de 18,10% et celle due aux corrélations incomplètes est de 81,90% (tableau 24). Le génotype Ardente\*Waha L2 présente le pourcentage d'hétérogénéité de variance le plus élevé (28,80%) et le pourcentage de corrélations incomplètes le plus élevé (13,85%) ce qui explique la variation de l'expression des potentialités de ce génotype à travers les différents environnements (génotypes avec stabilité faible) et cela rejoint les résultats obtenues par les analyses de l'écovalence  $W_i = 1707,66$  et de stabilité  $\sigma^2_i = 636,41$  (tableau 23, page 49). La variété Vitron qui présente une bonne stabilité en fonction des analyses de l'écovalence  $W_i = 19,17$  (Wricke, 1962) et de stabilité  $\sigma^2_i = -1,47$  (tableau 23, page 49) présente un pourcentage d'hétérogénéité de variance très faible (2,96%) et le pourcentage de corrélations incomplète le plus faible (3,12%) ce qui explique une stabilité de l'expression des potentialités de ce génotype à travers les différents environnements (Tableau 24).

**Tableau 24 :** Somme de carrés des écarts de l'hétérogénéité de la variance, de la corrélation incomplète et de l'interaction génotype x milieu de chaque génotype étudié pour le rendement en grain parcellaire.

Génotypes	SCE (HV)	%	SCE (IC)	%	SCE (GE)	%
Ardente	159.15	14.02	501.86	9.77	661.00	10.54
Ardente*Saadi L3	33.75	2.97	284.75	5.54	318.49	5.08
Ardente*Siméto L1	49.62	4.37	216.79	4.22	266.41	4.25
Ardente*Siméto L4	54.01	4.76	212.17	4.13	266.18	4.24
Ardente*Vitron L1	34.06	3.03	193.23	3.76	227.60	3.63
Ardente*Waha L1	40.93	3.61	409.14	7.97	450.07	7.18
<b>Ardente*Waha L2</b>	<b>326.91</b>	<b>28.80</b>	<b>711.34</b>	<b>13.85</b>	<b>1038.26</b>	<b>16.56</b>
Saadi	58.77	5.18	209.73	4.08	268.50	4.28
Saadi*Siméto L3	35.74	3.15	475.60	9.26	511.35	8.15
Saadi*Waha L3	36.64	3.23	313.14	6.10	349.78	5.58
Saadi*Waha L6	46.73	4.12	239.38	4.66	286.11	4.56
Saadi*Waha L7	33.53	2.95	306.09	5.96	339.62	5.42
Siméto	59.53	5.24	166.68	3.25	226.21	3.61
Siméto*Vitron L5	33.39	2.94	247.92	4.83	281.31	4.49
Siméto*Vitron L6	45.41	4.00	170.62	3.32	216.02	3.45
<b>Vitron</b>	<b>33.60</b>	<b>2.96</b>	<b>160.41</b>	<b>3.12</b>	<b>194.01</b>	<b>3.09</b>
Waha	53.10	4.68	316.45	6.16	369.56	5.89
<b>Total</b>	<b>1135.18</b>	<b>18.10</b>	<b>5135.29</b>	<b>81.90</b>	<b>6270.47</b>	<b>100.00</b>

### 2.3.5. Étude G.GE biplot (bidirectionnelle)



**Fig.8.** La géométrie du biplot pour le caractère rendement en grain

Après la décomposition de la matrice en ses deux composantes (matrices A et matrice B), les génotypes et les environnements peuvent être présentés dans un biplot comme le montre la figure 8. Le rendement du génotype  $i$  dans l'environnement  $j$ ,  $Y_{ij}$  peut être décomposé selon la formule suivante:

$$Y_{ij} = (OE_j) * (\cos\alpha_{ij}) * (OG_i) = OE_j * OP_{ij}$$

Le classement des génotypes en fonction de leurs potentialités à travers les différents environnements comme présenté dans le tableau 50 annexe IV, p 24. Pour l'environnement 1, ce sont les génotypes Ardente\* Siméto L4, Saadi, Saadi\*Waha L7 et Waha qui sont les plus performants. Pour l'environnement 2, les génotypes les plus performants sont : Ardente\*Waha L2, Siméto, Siméto\*Vitron L5 et Vitron. Pour l'environnement 3, Ardente\*Saadi L3, Ardente\*Vitron L1, Saadi\*Siméto L3 et Saadi\*Waha L6 sont les génotypes les plus performants. Et Ardente, Ardente\*Siméto L1, Ardente\*Waha L1, Saadi\*Waha L3 et Siméto\*Vitron L6 sont les génotypes les plus performants dans l'environnement 4.

## 2.4. Le nombre de jours nécessaires à l'épiaison

### 2.4.1. Décomposition de la variance d'interaction

Le nombre de jours nécessaire à l'épiaison des génotypes dans les différents environnements est illustré dans la figure 9, p 53. La décomposition de l'interaction pour ce caractère montre une interaction génotype x environnement (linéaire) hautement significative indiquant qu'il y a des différences entre les coefficients de régression (tableau 26, p 54). Le carré moyen dû à la déviation groupée à partir de la régression pour ce caractère est très hautement significatif montrant ainsi l'instabilité de la performance de certains génotypes à travers les environnements. 71,49% de la somme de carré des écarts de l'interaction génotype x environnement est due à la déviation à partir de la régression et 28,51% de cette interaction est due à la régression linéaire des moyennes de génotypes sur les moyennes des différents environnements.

**Tableau 25:** Analyse de la variance de Finlay-Wilkinson pour le nombre de jours nécessaire à l'épiaison

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F	Signification
Génotypes	16	981,14	61,32	15,886	THS
Environnements	3	2254,15	751,38	194,658	THS
Interaction GXE	48	675,19	14,07	3,645	THS
Hétérogénéité (linéarité)	16	192,47	12,03	3,116	HS
Résiduelle (non linéarité)	32	482,72	15,08	3,906	THS
Total	67	3910,47	CMe = 3,860		

### 2.4.2. Etudes des pentes

Les génotypes Ardente\*Saadi L3, Ardente\*Waha L1, Siméto, Siméto\*Vitron L5, Vitron et Waha présentent une pente égale à l'unité ( $b_i = 1$ ) et un carré moyen de la déviation non significatifs ( $S^2_{di} = 0$ ) (tableau 26, p 54). Ce sont des génotypes où la stabilité est moyenne. Les génotypes : Ardente, Ardente\*Siméto L4, Ardente\*Vitron L1, Ardente\*Waha L2, Saadi, Saadi\*Siméto L3, Saadi\*Waha L3, Saadi\*Waha L6, Saadi\*Waha L7 et Siméto\*Vitron L6 présentent un carré moyen de la déviation significatif ( $S^2_{di} \neq 0$ ) ce qui nous a conduit à rejeter l'hypothèse de la linéarité. Le génotype Ardente\*Waha L2 est le plus tardif (112,50 jours) et les génotypes Saadi est Saadi\*Waha L7 sont les plus précoces avec respectivement 95,25 et 96,25 jours, soit un écart de 17,25 et 16,25 jours respectivement (tableau 36, annexe III, page 17).

Précocité à l'épiaison (jours)

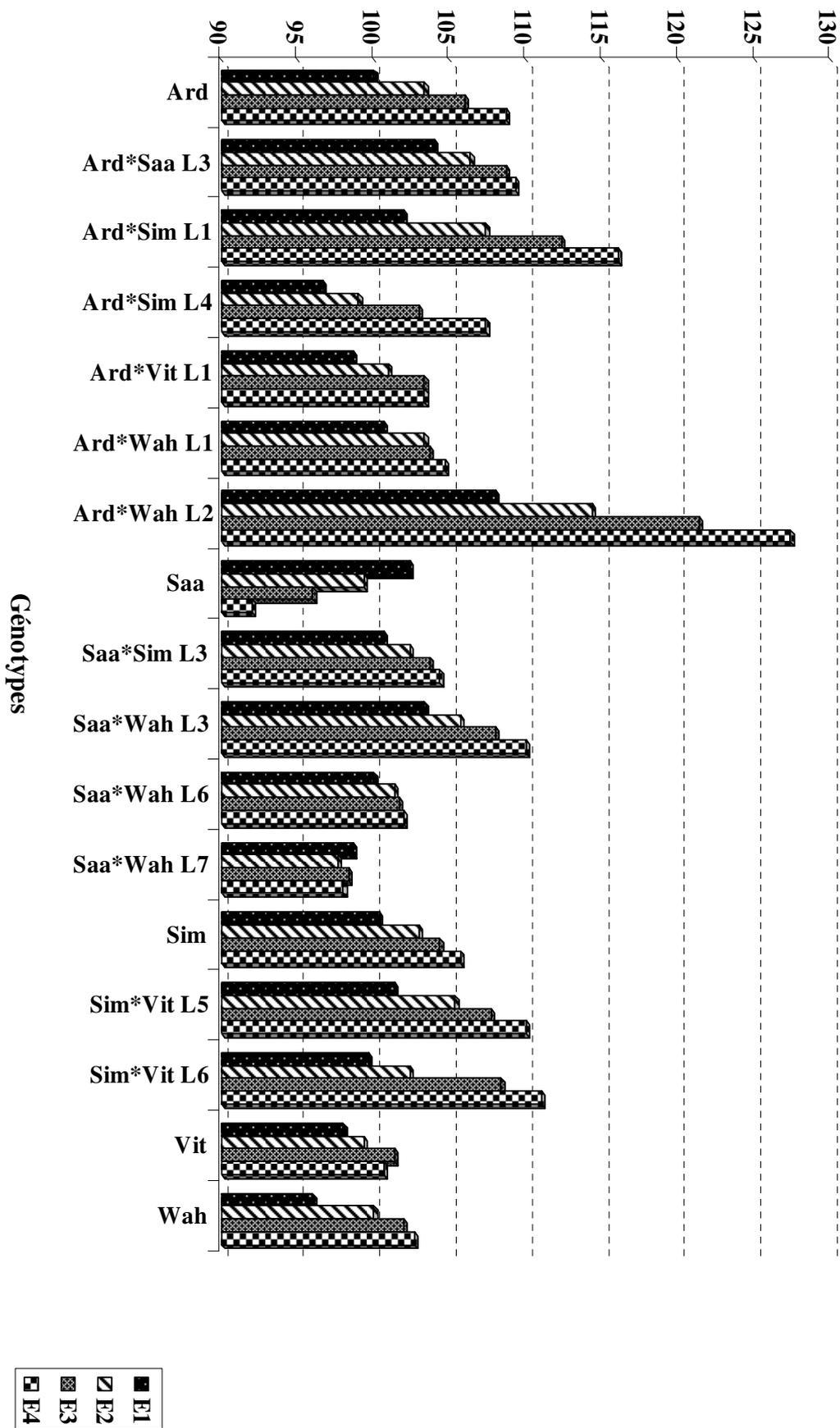


Fig.9. Précocité à l'épiaison des génotypes dans les différents environnements

Les valeurs de la pente varient de 0,50 à 1,64 ce qui fait que les droites de régression des génotypes sont dans la même direction (Tableau 26). Les coefficients de détermination (Tableau 26) entre la moyenne des génotypes et l'index environnemental varient de 0,41 à 0,96. Ces coefficients confirment l'effet de l'environnement sur le comportement des différents génotypes.

**Tableau 26:** moyennes, S<sup>2</sup>di, bi, limites de confiance et coefficient de détermination R<sup>2</sup>ij du nombre de jours nécessaire à l'épiaison

Génotypes	Moyenne	Limites de confiance		bi	bi	S <sup>2</sup> di	R <sup>2</sup> ij
Ardente	98,67	0,72	1,42	= 1	1,078	<b>33,39 +++</b>	0,76
Ardente*Saadi L3	103,33	0,84	1,19	= 1	1,015	-0,41 ns	<b>0,92</b>
Ardente*Siméto L1	102,08	1,17	1,92	> 1	1,544	<b>10,39 ++</b>	0,57
Ardente*Siméto L4	96,50	0,50	1,45	= 1	0,995	<b>28,76 +++</b>	0,69
Ardente*Vitron L1	100,08	0,42	1,30	= 1	0,853	<b>8,76 ++</b>	0,75
Ardente*Waha L1	99,83	0,63	1,03	= 1	0,846	1,29 ns	0,89
Ardente*Waha L2	112,50	1,14	2,15	>1	<b>1,648</b>	<b>7,57 +</b>	0,51
Saadi	95,25	-0,17	1,22	= 1	<b>0,500</b>	<b>19,25 +++</b>	<b>0,41</b>
Saadi*Siméto L3	101,25	0,49	1,34	= 1	0,908	<b>14,11 ++</b>	0,75
Saadi*Waha L3	100,42	1,01	1,51	> 1	1,275	<b>59,36 +++</b>	0,73
Saadi*Waha L6	99,17	0,50	1,18	= 1	,0853	<b>21,98 +++</b>	0,88
Saadi*Waha L7	96,17	0,28	0,95	= 0	0,638	<b>6,41 +</b>	0,62
Siméto	98,83	0,88	1,21	= 1	1,081	1,98 ns	0,90
Siméto*Vitron L5	101,00	0,66	1,32	= 1	0,993	3,99 ns	0,81
Siméto*Vitron L6	99,42	0,81	1,70	= 1	1,262	<b>4,54 +</b>	0,63
Vitron	97,42	0,48	1,01	= 1	0,727	2,94 ns	0,79
Waha	96,75	0,52	1,06	= 1	0,783	-0,19 ns	0,81

#### 2.4.3. Etude de l'écovalence Wi (Wricke, 1962)

L'étude de l'écovalence (tableau 27, page 55) montre que les génotypes Ardente\*Waha L2 (m = 99,83 et W = 106,75) et Saadi (m = 112,50 et W = 148,39) sont ceux qui contribuent le plus à la somme des carrés des écarts de l'interaction génotype x environnement. Ils ont donc une faible stabilité. Tandis que les génotypes Siméto (m = 98,83 et W = 1,70), Ardente\*Saadi L3 (m = 103,33 et W = 2,36), Ardente\*Waha L1 (m = 99,83 et W = 5,15) et Waha (m = 96,75 et W = 8,54) sont ceux qui contribuent le moins à la somme des carrés des écarts de l'interaction génotype x environnement et sont donc les plus stables. Le reste des génotypes sont dotés d'une stabilité moyenne.

#### 2.4.4. Etude de la stabilité des variances ( $\sigma^2_i$ ) de Shukla

L'étude de la variance de la stabilité de Shukla (1972) (tableau 27) montre que les génotypes Ardente\*Waha L2 ( $m = 99,83$  et  $\sigma^2_i = 39,38$ ) et Saadi ( $m = 112,50$  et  $\sigma^2_i = 55,12$ ) sont ceux qui présentent les variances les plus élevées, leur stabilité est alors faible. Tandis que les génotypes Siméto ( $m = 98,83$  et  $\sigma^2_i = -0,30$ ), Ardente\*Saadi L3 ( $m = 103,33$  et  $\sigma^2_i = -0,05$ ), Ardente\*Waha L1 ( $m = 99,83$  et  $\sigma^2_i = 1,01$ ) et Waha ( $m = 96,75$  et  $\sigma^2_i = 2,29$ ) sont ceux qui présentent les variances les plus faibles, ils ont donc une bonne stabilité. Le reste des génotypes ont une stabilité moyenne.

Le génotype Ardente\*Waha L2 le plus tardif est le moins stable parmi tous les génotypes, le génotype Ardente\*Saadi L3 qui aussi tardif (classé deuxième après le génotype Ardente\*Waha L2) est parmi les génotypes les plus stables. Le génotype Saadi qui est le plus précoce est le moins stable et le génotype Siméto qui est moyennement précoce est le génotype le plus stable parmi tous les génotypes (tableau 27)

**Tableau 27 :** Etude de l'écovalence de Wricke ( $W_i$ ) et la stabilité de Shukla ( $\sigma^2_i$ ) pour le nombre de jours nécessaire à l'épiaison

Génotypes	$W_i$	$\sigma^2_i$
Siméto	<b>1,70</b>	<b>-0,30</b>
Ardente*Saadi L3	<b>2,36</b>	<b>-0,05</b>
Ardente*Waha L1	<b>5,15</b>	<b>1,01</b>
Waha	<b>8,54</b>	<b>2,29</b>
Siméto*Vitron L5	16,11	5,15
Vitron	18,50	6,05
Saadi*Waha L3	26,25	8,98
Saadi*Waha L6	29,27	10,12
Ardente	30,85	10,71
Saadi*Waha L7	32,37	11,23
Siméto*Vitron L6	36,86	12,99
Ardente*Vitron L1	43,41	15,46
Saadi*Siméto L3	43,56	15,52
Ardente*Siméto L4	52,22	18,79
Ardente*Siméto L1	72,93	26,61
Ardente*Waha L2	106,72	39,38
Saadi	148,39	55,12

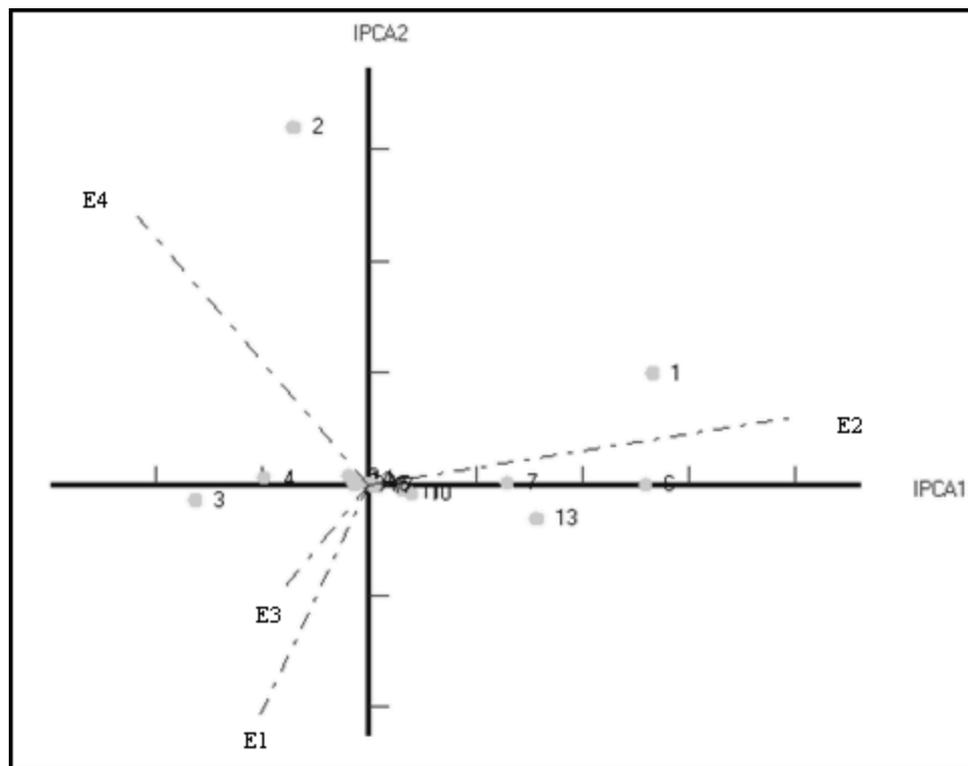
#### 2.4.5. Etude de l'hétérogénéité des variances (Muir, 1992)

La part de l'hétérogénéité des variances est de 25,01% et celle due aux corrélations incomplètes est de 74,99% (tableau 28). Le génotype Ardente\*Waha L2 et Ardente\*Siméto L1 présentent les pourcentages d'hétérogénéité de variance les plus élevés (19,76% et 13,47% respectivement), le pourcentage de corrélations incomplètes le plus élevé (17,56%) est enregistré par le génotype Saadi, ce qui explique la variation de l'expression des potentialités de ce génotype à travers les différents environnements (génotypes avec stabilité faible) et cela rejoint les résultats obtenues par les analyses de l'écovalence  $W_i = 1707,66$  et de stabilité  $\sigma_i^2 = 636,41$  (tableau 27, page 55). les génotypes Ardente\*Saadi L3 et Siméto qui présentent une bonne stabilité en fonction des analyses de l'écovalence (Wricke, 1962) et de stabilité (tableau 27, page 55) présentent des pourcentages d'hétérogénéité de variance très faible (3,21% et 2,96% respectivement) et des pourcentages de corrélations incomplète le plus faible (3,08% et 3,10%) ce qui explique une stabilité de l'expression des potentialités de ces génotypes à travers les différents environnements (Tableau 28).

**Tableau 28 :** Somme de carrés des écarts de l'hétérogénéité de la variance, de la corrélation incomplète et de l'interaction génotype x milieu de chaque génotype étudié pour le nombre de jours nécessaire à l'épiaison.

Génotypes	SCE (HV)	%	SCE (IC)	%	SCE (GE)	%
Ardente	5.30	3.14	29.89	5.92	35.28	5.23
Ardente*Saadi L3	5.42	<b>3.21</b>	<b>15.61</b>	<b>3.08</b>	21.04	3.12
Ardente*Siméto L1	22.74	<b>13.47</b>	<b>33.59</b>	<b>6.63</b>	56.32	8.34
Ardente*Siméto L4	5.29	3.13	40.68	8.03	45.97	6.81
Ardente*Vitron L1	5.51	3.26	36.06	7.12	41.56	6.16
Ardente*Waha L1	9.15	5.42	13.28	2.62	22.43	3.32
Ardente*Waha L2	33.36	<b>19.76</b>	<b>39.86</b>	<b>7.87</b>	73.22	10.84
Saadi	5.13	3.04	88.93	<b>17.56</b>	94.05	13.93
Saadi*Siméto L3	5.05	2.99	36.58	7.22	41.64	6.17
Saadi*Waha L3	8.05	4.77	24.93	4.92	32.98	4.88
Saadi*Waha L6	6.33	3.75	28.16	5.56	34.49	5.11
Saadi*Waha L7	14.81	8.77	21.24	4.19	36.09	5.35
Siméto	5.00	<b>2.96</b>	<b>15.71</b>	<b>3.10</b>	20.71	3.07
Siméto*Vitron L5	5.16	3.06	22.76	4.49	27.92	4.13
Siméto*Vitron L6	8.65	5.13	29.64	5.85	38.29	5.67
Vitron	12.45	7.37	16.66	3.29	29.11	4.31
Waha	11.44	6.77	12.69	2.51	24.13	2.57
Total	168.84	25.01	506.35	74.99	675.19	100.00

#### 2.4.6. Étude G.GE biplot (bidirectionnelle)



**Fig.10.** La géométrie du biplot pour le caractère précocité à l'épiaison

Le classement des génotypes en fonction de leurs performances à travers les différents environnements est présenté dans le tableau 51, annexe IV, p 24. Pour l'environnement 1, ce sont les génotypes Ardente, Ardente\*Saadi L3, Ardente\* Siméto L4 et Ardente\*Vitron L1 qui sont les plus tardifs. Pour l'environnement 2, les génotypes les plus tardifs sont : Ardente\*Waha L1 et Ardente\*Waha L2. Ardente\*Siméto L1 est le génotype le plus tardifs dans l'environnement 4. Les génotypes restants ont été plus tardifs dans l'environnement 3.

## 2.5. Le nombre de jours nécessaires à la floraison

### 2.5.1. Décomposition de la variance d'interaction

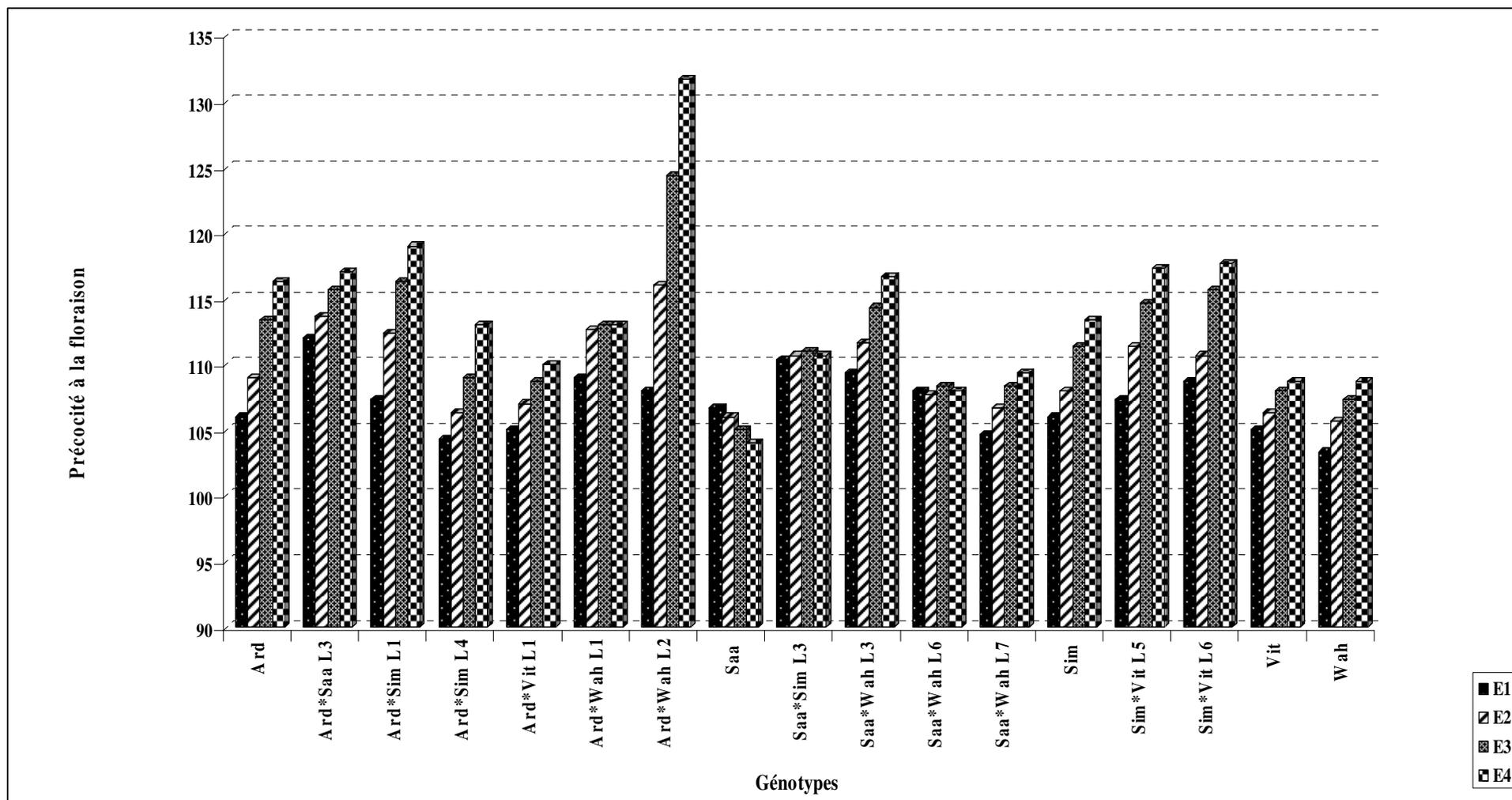
Les variations entre les génotypes dans les différents environnements sont illustrées dans la figure 11 p 59. La décomposition de l'interaction pour ce caractère montre une interaction génotype x environnement (linéaire) très hautement significative indiquant qu'il y a de différences entre les coefficients de régression (tableau 30, p 60). Le carré moyen dû à la déviation groupée à partir de la régression pour ce caractère est hautement significatif montrant ainsi l'instabilité de la performance de certains génotypes à travers les environnements. 57,22% de la somme de carré des écarts de l'interaction génotype x environnement est due à la déviation à partir de la régression et 42,78 % de cette interaction est due à la régression linéaire des moyennes de génotypes sur les moyennes des différents environnements.

**Tableau 29:** Analyse de la variance de Finlay-Wilkinson pour le nombre de jours nécessaire à la floraison

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F	Signification
Génotypes	16	619,17	38,70	10,002	THS
Environnements	3	3359,12	1119,71	289,404	THS
Interaction GXE	48	711,25	14,82	3,830	THS
Hétérogénéité (linéarité)	16	304,25	19,02	4,915	THS
Résiduelle (non linéarité)	32	407,00	12,72	3,287	HS
Total	67	4689,54	CMe = 3,869		

### 2.5.2. Etudes des pentes

Les génotypes Ardente\*Siméto L1 et Siméto présentent une pente supérieure à 1 ( $b_i > 1$ ) et un carré moyen de la déviation non significatif ( $S^2_{di} = 0$ ). Ces génotypes ont une très grande sensibilité aux changements du milieu (inférieure à la stabilité moyenne) et une plus grande adaptation spécifique pour les milieux favorables (tableau 30 p 60). Les génotypes Ardente\*Siméto L4, Ardente\*Waha L1, Siméto\*Vitron L6 et Vitron ont une pente égale à l'unité ( $b_i = 1$ ) et un carré moyen de la déviation non significatifs ( $S^2_{di} = 0$ ). Ce sont des génotypes où la stabilité est moyenne. Les génotypes Saadi\*Waha L7 et Waha ont une pente inférieure à 1 ( $b_i < 1$ ) et un carré moyen de la déviation non significatif ( $S^2_{di} = 0$ ). Ces génotypes ont une grande résistance aux changements du milieu et une augmentation de l'adaptation aux milieux défavorables. Les huit génotypes restants présentent un carré moyen de la déviation significatif ( $S^2_{di} \neq 0$ ) ce qui nous a conduit à rejeter l'hypothèse de la linéarité. Parmi ceux-ci Saadi est le génotype le plus précoce (101,16 jours). Ardente\*Waha L2 et Ardente\*Saadi L3 sont les génotypes les plus tardifs avec respectivement 115,75 et 110,25 jours (tableau 38, Annexe III, p 18).



**Fig.11.** Nombre de jours nécessaire à la floraison des différents génotypes dans les différents environnements

Les valeurs de la pente varient de 0,36 à 1,78 ce qui fait que les droites de régression des génotypes sont proches et sont dans la même direction (Tableau 30). Les coefficients de détermination (Tableau 30) entre la moyenne des génotypes et l'index environnemental varient de 0,47 à 0,95. Ces coefficients confirment l'effet de l'environnement sur le comportement des différents génotypes.

**Tableau 30 :** moyennes, S<sup>2</sup>di, bi, limites de confiance et coefficient de détermination R<sup>2</sup>ij du nombre de jours nécessaire à la floraison

Génotypes	Moyenne	Limites de confiance		bi	bi	S <sup>2</sup> di	R <sup>2</sup> ij
Ardente	105,00	0,75	1,37	= 1	1,069	<b>26,63 +++</b>	0,80
Ardente*Saadi L3	<b>110,25</b>	0,89	1,23	= 1	1,082	<b>8,6 +</b>	0,89
Ardente*Siméto L1	107,42	1,25	1,59	> 1	1,418	-1,12 ns	0,68
Ardente*Siméto L4	<b>104,58</b>	0,66	1,10	= 1	0,894	2,95 ns	0,88
Ardente*Vitron L1	105,25	0,66	1,17	= 1	0,917	<b>4,97 +</b>	0,49
Ardente*Waha L1	<b>106,92</b>	0,65	1,61	= 1	0,915	0,85 ns	0,95
Ardente*Waha L2	115,75	1,23	2,30	> 1	1,782	<b>227,18+++</b>	0,47
Saadi	101,17	0,56	1,22	= 1	0,896	<b>193,03+++</b>	0,78
Saadi*Siméto L3	108,00	0,60	1,23	= 1	0,922	<b>84,84 +++</b>	0,88
Saadi*Waha L3	105,92	0,82	1,46	= 1	1,144	<b>22,96 +++</b>	0,75
Saadi*Waha L6	105,92	0,54	1,27	= 1	0,907	<b>22,09 +++</b>	0,75
Saadi*Waha L7	105,67	0,11	0,64	= 0	0,363	0,02 ns	0,49
Siméto	<b>104,50</b>	1,008	1,28	>1	1,148	0,47 ns	0,84
Siméto*Vitron L5	106,58	0,62	1,30	= 1	0,954	<b>8,73 ++</b>	0,82
Siméto*Vitron L6	107,08	0,91	1,44	= 1	1,177	2,56 ns	0,77
Vitron	<b>104,17</b>	0,66	1,03	= 1	0,842	1,10 ns	0,91
Waha	104,25	0,38	0,77	= 0	0,571	-0,01 ns	0,81

### 2.5.3. Etude de l'écovalence Wi (Wricke, 1962)

L'étude de l'écovalence (Tableau 31, p 61) montre que les génotypes Ardente, Ardente\*Siméto L1, Ardente\*Vitron L1, Ardente\*Waha L2, Saadi, Saadi\*Siméto L3, Saadi\*Waha L3, Saadi\*Waha L6, Saadi\*Waha L7, Siméto\*Vitron L5, Siméto\*Vitron L6 et Waha sont ceux qui contribuent le plus à la somme des carrés des écarts de l'interaction génotype x environnement. Tandis que les génotypes Ardente\*Waha L1 (m = 106,92 et W = 4,16), Ardente\*Saadi L3 (m = 110,25 et W = 4,81), Siméto (m = 104,50 et W = 5,76), Ardente\*Siméto L4 (m = 104,58 et W = 9,09) et Vitron (m = 104,17 et W = 12,44) sont ceux qui contribuent le moins à la somme des carrés des écarts de l'interaction génotype x environnement et sont donc les plus stables.

#### 2.5.4. Etude de la stabilité des variances ( $\sigma^2_i$ ) de Shukla

L'étude de la variance de la stabilité de Shukla (1972) (tableau 31) montre que les génotypes Ardente, Ardente\*Siméto L1, Ardente\*Vitron L1, Ardente\*Waha L2, Saadi, Saadi\*Siméto L3, Saadi\*Waha L3, Saadi\*Waha L6, Saadi\*Waha L7, Siméto\*Vitron L5, Siméto\*Vitron L6 et Waha sont ceux qui présentent les variances les plus élevées, leur stabilité est alors faible. Tandis que les génotypes Ardente\*Waha L1 ( $m = 106,92$  et  $\sigma^2_i = 0,58$ ), Ardente\*Saadi L3 ( $m = 110,25$  et  $\sigma^2_i = 0,83$ ), Siméto ( $m = 104,50$  et  $\sigma^2_i = 1,19$ ), Ardente\*Siméto L4 ( $m = 104,58$  et  $\sigma^2_i = 2,45$ ) et Vitron ( $m = 104,17$  et  $\sigma^2_i = 3,71$ ) sont ceux qui présentent les variances les plus faibles, ils ont donc une bonne stabilité.

Le génotype Ardente\*Waha L2 qui est le plus tardif et le génotype Saadi qui est le plus précoce présentent une stabilité faible en fonction des résultats de l'écovalence (Wricke, 1962) et des tests de la variance de stabilité de Shukla (1972) et le génotype Ardente\*Waha L1 qui présente une bonne stabilité est moyennement précoce.

**Tableau 31 :** Etude de l'écovalence de Wricke ( $W_i$ ) et la stabilité de Shukla ( $\sigma^2_i$ ) pour le nombre de jours nécessaire à la floraison

Génotypes	$W_i$	$\sigma^2_i$
Ardente*Waha L1	<b>4,16</b>	<b>0,58</b>
Ardente*Saadi L3	<b>4,81</b>	<b>0,83</b>
Siméto	<b>5,76</b>	<b>1,19</b>
Ardente*Siméto L4	<b>9,09</b>	<b>2,45</b>
Vitron	<b>12,44</b>	<b>3,71</b>
Ardente*Vitron L1	17,99	5,18
Siméto*Vitron L6	19,17	6,25
Ardente	34,07	11,88
Ardente*Siméto L1	37,45	13,16
Siméto*Vitron L5	37,48	13,17
Saadi*Siméto L3	38,93	13,72
Waha	39,10	13,78
Saadi*Waha L3	41,26	14,06
Saadi	44,35	15,77
Saadi*Waha L6	50,08	17,93
Saadi*Waha L7	83,02	30,38
Ardente*Waha L2	232,09	86,69

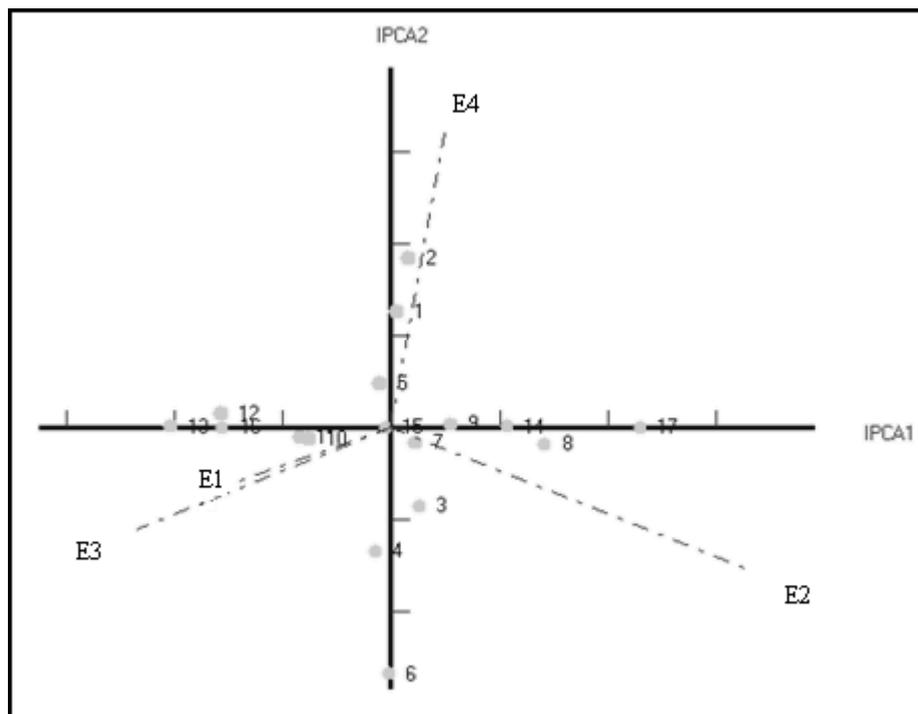
### 2.5.5. Etude de l'hétérogénéité des variances (Muir, 1992)

La part de l'hétérogénéité des variances est de 48,31% et celle due aux corrélations incomplètes est de 51,69% (tableau 32). Le génotype Ardente\*Waha L2 présente le pourcentage d'hétérogénéité de variance le plus élevé (25,22%) et le pourcentage de corrélations incomplètes le plus élevé (13,68%) ce qui explique la variation de l'expression des potentialités de ce génotype à travers les différents environnements (génotypes avec stabilité faible) et cela rejoint les résultats obtenues par les analyses de l'écovalence  $W_i = 232,09$  et de stabilité  $\sigma^2_i = 86,68$  (Tableau 31, p 61). Le génotype Ardente\*Saadi L3 qui présente une bonne stabilité en fonction des analyses de l'écovalence  $W_i = 4,81$  (Wricke, 1962) et de stabilité  $\sigma^2_i = 0,83$  (Tableau 31, p 61) présente un pourcentage d'hétérogénéité de variance très faible (2,98%) et le pourcentage de corrélations incomplète le plus faible (3,56%) ce qui explique une stabilité de l'expression des potentialités de ce génotypes à travers les différents environnements (Tableau 32).

**Tableau 32 :** Somme de carrés des écarts de d'hétérogénéité de variance, de corrélation incoplette et de l'interaction génotype x milieu pour chaque génotype étudié.

Génotypes	SCE (HV)	%	SCE (IC)	%	SCE (GE)	%
Ardente	10.93	3.18	27.02	7.35	37.95	5.34
<b>Ardente*Saadi L3</b>	<b>10.24</b>	<b>2.98</b>	<b>13.08</b>	<b>3.56</b>	<b>23.33</b>	<b>3.28</b>
Ardente*Siméto L1	23.64	6.88	16.01	4.35	39.64	5.57
Ardente*Siméto L4	12.05	3.51	13.41	3.65	25.46	3.58
Ardente*Vitron L1	10.93	3.18	18.99	5.17	29.91	4.21
Ardente*Waha L1	11.80	3.43	11.20	3.05	23.00	3.23
<b>Ardente*Waha L2</b>	<b>86.66</b>	<b>25.22</b>	<b>50.30</b>	<b>13.68</b>	<b>136.96</b>	<b>19.26</b>
Saadi	10.30	3.00	32.79	8.92	43.10	6.06
<b>Saadi*Siméto L3</b>	10.22	2.97	30.17	8.21	40.38	<b>5.68</b>
Saadi*Waha L3	12.96	3.77	28.59	7.78	41.55	5.84
<b>Saadi*Waha L6</b>	10.15	2.95	35.81	9.94	45.96	<b>6.46</b>
Saadi*Waha L7	54.58	15.88	7.85	2.13	62.43	8.78
Siméto	11.05	3.21	12.76	3.47	23.80	3.35
<b>Siméto*Vitron L5</b>	10.11	2.94	29.55	8.04	39.66	<b>5.58</b>
Siméto*Vitron L6	12.36	3.60	18.15	4.94	30.51	4.29
Vitron	13.63	3.97	13.51	3.68	27.14	3.82
Waha	32.03	9.32	8.43	2.29	40.47	5.69
<b>Total</b>	<b>343.64</b>	<b>48.31</b>	<b>367.61</b>	<b>51.69</b>	<b>711.25</b>	<b>100.00</b>

### 2.5.6. Étude G.GE biplot (bidirectionnelle)



**Fig.12.** La géométrie du biplot pour le caractère précocité à la floraison

Le classement des géotypes en fonction de leurs potentialités à travers les différents environnements est donné dans le tableau 52, annexe IV, p 25. Pour l'environnement 1, ce sont les géotypes Ardente\*Waha L2, Saadi, Saadi\*Siméto L3, Siméto\*Vitron L5 et Waha qui sont les plus performants. Pour l'environnement 2, les géotypes les plus performants sont : Ardente\*Waha L1, Siméto et Saadi\*Waha L7. Pour l'environnement 3, Saadi\*Waha L3 et Saadi\*Waha L6 sont les géotypes les plus performants. Ardente, Ardente\*Saadi L3, Ardente\*Siméto L1, Ardente\*Siméto L4, Ardente\*Vitron L1, Saadi\*Waha L3, Siméto, Siméto\*Vitron L5, Siméto\*Vitron L6 et Vitron sont les géotypes les plus performants dans l'environnement 4.



## DEUXIEME PARTIE : ETUDE DE COMPORTEMENT DE 30 POPULATIONS F<sub>2</sub> ET LEURS VARIETES PARENTALES

### Introduction

L'amélioration des plantes peut être définie comme la modification volontaire des plantes par l'homme pour mieux les adapter à ses besoins. En ce sens, elle se distingue fortement de la domestication, qui peut se définir comme une adaptation des plantes à leur culture par l'homme, mais par une sélection inconsciente. D'un point de vue génétique, elle correspond à l'ensemble des opérations qui permettent de passer d'un groupe d'individus n'ayant pas certaines caractéristiques au niveau recherché à un nouveau groupe, plus reproductible, apportant un progrès (**Gallais, 1990**). Il s'agit de réunir dans un même individu le maximum de gènes favorables.

Depuis des millénaires, avant le début de l'agriculture formelle, les sociétés, partout dans le monde, ont été engagés dans des programmes, relativement sophistiqués, de gestion de leur plantes favorites.

Pour les céréales, parmi la grande diversité des variétés sauvages, l'agriculteur a repéré et choisi un certain nombres de caractères favorables à la culture et à la récolte (celles qui germaient rapidement et de façon homogène, celles qui arrivaient le plus précocement à la maturité et avec le maximum d'homogénéité et, également, celles qui détenaient les épis les plus gros et dont les épillets non caduques ne se dispersaient pas à terre) (**Lafon et al., 1998**).

Confrontée à plusieurs contraintes (aléas climatiques, faible maîtrise de l'itinéraire technique etc.) entravant sa production et l'accroissement de son rendement, la culture des céréales d'hivers en général et celle du blé dur en particulier demeure encore difficile à maîtriser (**Benbelkacem et Kellou, 2000**).

Bien que les techniques culturales soient en partie responsables de l'amélioration du rendement, elles ne peuvent pas, cependant, palier à toutes les contraintes d'une façon optimale. De plus, il s'avère que certaines techniques culturales ne peuvent plus être pratiquées comme avant car le contexte économique récent du marché du blé est caractérisé par une dégradation des rapports de prix entre blé et intrants, et par une pression importante de la société contre l'usage intensif des produits phytosanitaires et des engrais et cet état de fait accroît la fréquence d'apparition de facteurs limitant la production (**Barbottin, 2004**).

Cette situation augmente l'intérêt à l'adoption d'un itinéraire technique adéquat faisant intervenir le minimum d'intrants et la recherche de variétés bien adaptées aux conditions de production et répondant aux besoins spécifiques des agriculteurs (**Vespa, 1984**).

La sélection de génotypes plus productifs grâce à la régularité et l'accroissement des rendements, la diminution des coûts de production et l'amélioration qualitative donne un nouvel essor à la production du blé dur et représente un défi de taille pour les sélectionneurs.

L'amélioration de la résistance des plantes aux parasites constitue un objectif majeur de la plupart des programmes de sélection génétique (**Rapilly et al., 1971**) et qui se présente en la recherche de variétés nouvelles, cultivables, d'une meilleure adaptation et avec des niveaux de résistances élevés aux facteurs dépressifs abiotiques et biotiques (**Vilain, 1989**).

En Algérie, de nombreux travaux ont été initiés au niveau de l'ITGC (institut technique de grandes cultures) et de l'INRA (Institut national de la recherche agronomique). Ces travaux font parfois l'objet de coopération et de collaboration avec des organismes internationaux d'amélioration des plantes tels que le CIMMYT et l'ICARDA qui génère une importante variabilité génétique, pour encourager peu à peu la mise en place d'importants programmes de sélection (**Bozerzour et al., 1996**).

L'INRA avec l'ITGC ont entamé des travaux de sélection et d'amélioration, avec l'introduction de quelques cultivars étrangers, à travers ses stations expérimentales. La recherche et le développement d'espèces ou de cultivars résistants sont devenus une préoccupation majeure, chez les sélectionneurs et les chercheurs travaillant dans le domaine de l'amélioration génétique des plantes. Même si la grande partie, initialement, a été réservée à l'amélioration du potentiel productif, ces dernières années, un intérêt particulier est porté à l'amélioration des niveaux de résistance aux contraintes abiotiques et biotiques.

## 1. Historique

Depuis que la vie est apparue, elle n'a pas cessé d'être exposée à des risques. Les organismes vivants affrontent des dangers à chaque étape de leur existence. Dans la lutte pour la vie, certains survivent et d'autres périssent. La sélection naturelle assure la survie des plus adaptées (**Veldhuyzen van Zenta, 1993**).

La domestication des plantes, commencée, il y a 9000 ans est l'une des grandes réalisations de l'homme. Cette domestication qui n'a touché qu'une petite fraction des espèces végétales (moins de 0,01%), était le résultat d'une sélection qui a pris la forme d'un choix de plantes et ensuite un choix de fruits et de géniteurs (**Zahour, 1992**).

Les méthodes de sélection pratiquées par l'homme aux débuts de la domestication des plantes semblent être primitives par rapport à celles utilisées de nos jours par les sélectionneurs (**Zahour, 1992**).

Les formes modernes de l'amélioration des plantes sont apparues au 19<sup>ème</sup> siècle comme l'aboutissement d'un long processus d'élaboration d'une méthode de sélection, dont la première étape commença avec la domestication faite par Camerarius de l'existence d'un sexe chez les plantes. Selon **De Vries, John Le Couteur et Patrick Shirreff** (cités par Zahour, 1992), furent apparemment les premiers à utiliser, au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, la descendance d'une plante individuelle pour établir une nouvelle variété chez les céréales. Le même procédé devait être utilisé par le sélectionneur français, **Louis De Vilmorin** qui a publié en 1856 les résultats de ses travaux sur la betterave à sucre. Les travaux de **Louis De Vilmorin** ont été poursuivis par son fils **Henry De Vilmorin**. Le principe de la sélection individuelle pour la création de nouvelles variétés chez

certaines espèces végétales, telles que le blé et l'orge, ont été développés au 19<sup>ème</sup> siècle par l'association suédoise de production de semences à Svalöf. Ces principes en été enrichis par **Frederic Hallatt**, sélectionneur anglais, qui a essayé de développer de nouvelles variétés de blé en prenant la meilleure graine de l'épi de la meilleure plante. La théorie de la sélection dans la descendance d'une plante individuelle a été confirmée par le botaniste danois **Johannsen** qui a publié les résultats de ses essais sur le haricot en 1903, développant ainsi la théorie de la lignée pure (**Zahour, 1992**).

**Zahour (1992)**, ajoute que la redécouverte en 1900 des travaux de **George Mendel**, dont les résultats avaient été publiés en 1866, a contribué à l'établissement des bases scientifiques de l'amélioration des plantes. Les travaux de **Mendel** ont conduit à l'initiation d'autres études sur l'hérédité des plantes. En 1908 aux Etats-Unis, **Shull** et **East** ont proposé le croisement de deux souches de maïs pour produire ce qu'on appelle un hybride simple. Les hybrides étaient très vigoureux et productifs, mais les semences étaient très chères à cause de la faible productivité des souches parentales. Dix ans plus tard, aux Etats-Unis également, **Jones** a proposé le croisement de deux hybrides simples pour produire un hybride double, ce qui a permis la production à grande échelle de quantités de semences à des prix raisonnables.

## 2. Objectifs de la sélection et de l'amélioration des plantes

Avant tout programme d'amélioration, il est nécessaire de préparer un plan d'amélioration et définir les objectifs. Selon **Brown et Caligari (2008)**, l'améliorateur doit répondre aux questions suivantes et prendre des décisions :

- ✓ Quel type de cultivar doit être développé ?
- ✓ Quel critère va être utilisé pour désigner le rendement désiré d'un cultivar ?
- ✓ Quel et combien de parents doivent être inclus dans les schémas d'amélioration ?
- ✓ Quels caractères doivent être choisis et à quel stade se fait la sélection ?

Selon **Berversdorf (1993)**, les améliorations de la biologie des plantes cultivées ont été réalisées par une modification génétique des espèces végétales obtenues grâce à une sélection systématique. La sélection végétale inclut une série d'activités :

- Acquisition ou création de populations végétales génétiquement variables ;
- Sélection des caractères désirables afin d'accroître leur fréquence dans les populations soumises à la sélection ;
- Utilisation de techniques propres à stabiliser la composition génétique améliorée de génération en génération ou d'année en année ;

Les objectifs majeurs de l'amélioration des plantes sont l'amélioration du rendement et de la qualité des récoltes. Certains objectifs sont spécifiques et reflètent les besoins des producteurs, des transformateurs et des consommateurs de ces espèces. Voici quelques objectifs (**Berversdorf, 1993**) :

- ✓ Améliorer la tolérance ou la résistance à des organismes qui consomment ou contaminent les plantes cultivées ;
- ✓ Améliorer la résistance aux stress abiotiques (sécheresse, chaleur/froid, polluants atmosphériques, et autre stress physiques rencontrés dans les écosystèmes végétaux) ;
- ✓ Améliorer la productivité (conversion du dioxyde de carbone et des éléments nutritifs du sol au produits biologiques utiles) ;
- ✓ Améliorer les caractéristiques concernant la transformation et la valeur nutritive (amélioration de la composition en éléments nutritifs pour l'homme et pour les animaux, réduction de la teneur en toxines naturelles, amélioration des caractéristiques de stockage, etc.) ;
- ✓ Améliorer l'adaptation (afin d'étendre la zone géographiques ou les niches environnementales où une plante peut être cultivée).
- ✓ Améliorer les performances de la plante qui se manifestent par différentes voies. Améliorer le rendement et la qualité sont souvent le but majeur de l'amélioration des plantes.

### 5.3. Accroissement du rendement et sa régularité

Selon **Li et Gill (2004)**, Le rendement en grain est le caractère agronomique le plus important et le plus complexe. Il est déterminé, physiologiquement, par la source (les organes photosynthétiques, surtout les feuilles supérieures) et la capacité de translocation des assimilats. Mathématiquement, il est le produit d'une série de composantes, nombre de plantes/unité de surface, nombre d'épis par plante, nombre de grains par épi et poids du grain. Génétiquement, il est contrôlé par de nombreux gènes, à action additive, de dominance, d'épistasie et de l'interaction génotype  $\times$  environnement (G $\times$ E).

L'amélioration de la production de blé par la sélection des individus présentant les rendements les plus élevés est l'une des méthodes les plus utilisées. D'autre part, l'amélioration directe des rendements à travers une augmentation de la productivité est liée à l'existence de conditions environnementales (milieu naturel, techniques) favorables permettant l'expression des différents facteurs du rendement (**Monneveux, 1991**). C'est pour cela que le sélectionneur prend en compte également des caractères permettant de diminuer l'impact des aléas de la production agricole. En ce qui concerne le blé dur, la sélection ouvre des perspectives importantes pour ce qui est de la résistance variétale contre les contraintes biotiques et abiotiques.

### 5.4. Adaptation et résistance aux contraintes abiotiques et biotiques

#### 5.4.1. Sélection pour la résistance aux contraintes abiotiques

L'adaptation est recommandée car, la plante ne peut pas échapper aux conditions climatiques défavorables et irrégulières. Ceci implique, d'après **Koornneef et Peeters (1999)**, que les plantes sont génétiquement différentes par leur adaptation et leur résistance aux stress abiotique.

Le stress abiotique est responsable des pertes significatives de rendement de l'orge dans le monde (**Stanca et al., 2003**). Les cultivars des céréales ont été sélectionnés selon leurs réponses au stress imposé par des combinaisons spécifiques des facteurs climatiques et édaphiques. L'estimation de l'héritabilité et la combinaison des aptitudes ont démontré que les réponses aux stress ont des

bases génétiques et peuvent être mesurées à différents stades du développement de la plante (**Lundqvist et Franckowiak, 2003**).

- **Résistance à la sécheresse**

La sécheresse est un stress multidimensionnel, difficile à caractériser (**Belhassen, 1996**). Elle est fonction du génotype, des précipitations, de la température et de la capacité de rétention du sol.

En conditions méditerranéennes, la sécheresse est l'une des causes de pertes importantes en rendement des plantes cultivées. Pour palier à cette contrainte, différentes stratégies ont été proposées par la sélection. La première dite esquivée, elle consiste à la sélection de céréales précoces de façon à éviter la coïncidence des phases critiques du cycle avec certains accidents climatiques (déficit hydrique et hautes températures) (**Monneveux, 1991**). Elle est définie comme étant le moyen le plus utilisé pour éviter les effets de la sécheresse sur le poids du grain (**Doussinault et al., 1992**).

La stratégie de l'évitement est également proposée pour palier à la sécheresse, elle a pour objectif le maintien d'un potentiel hydrique élevé (**Boukecha, 2001**), cela est obtenu par une réduction de la transpiration. Cette dernière peut être régit par plusieurs paramètres.

Selon **St-pierre et al. (1991)**, la recherche d'une tolérance à la sécheresse par la sélection des meilleurs rendements en condition de déficit hydrique constitue la seule façon de pouvoir réaliser des progrès. Elle est basée sur des caractères morpho-physiologiques liés au rendement, une évaluation agronomique du matériel sélectionné est une voie de validation du rôle effectif de ces caractères dans les mécanismes de tolérances.

Mais la stratégie la plus prometteuse actuellement consiste au contraire à essayer de maintenir de façon raisonnée la croissance pendant les périodes de sécheresse, en prévéligant les organes essentielles pour la production (**Amigues et al., 2006**). Et pour cela, le sélectionneur se base sur des caractères morpho-physiologiques, à titre indicatif pour le blé dur au moyen orient on se base sur un indice de récolte élevé, un tallage épis, une fertilité de l'épi élevée, et un col de l'épi long (**Monneveux et al., 1995**).

- **Résistance aux basses températures**

La tolérance au froid est au nombre des objectifs de la sélection. L'amélioration de la résistance au froid des cultures d'hiver contribue à limiter les conséquences des fluctuations inévitables du climat (**Hervé, 1991a**). Elle est fonction du stade de l'enracinement et de la profondeur de semis.

Les efforts fournis par les sélectionneurs ont essentiellement porté sur l'amélioration de la résistance potentielle au froid des génotypes qui est effectivement le premier critère de différenciation du comportement des variétés (**Doussinault et al., 1992**).

Les variétés tolérantes au froid sont recherchées dans les zones des hauts plateaux, où les gels printaniers peuvent être importants certaines années. Il faut savoir que ce critère est difficile à améliorer, cependant des sources de résistance issues des variétés de pays de l'Est peuvent être utilisées (**Hardouin et al., 2002**).

- **Resistance à la verse**

La verse est sous la dépendance des conditions du milieu, tels que la richesse du sol en fumure, la densité de semis et les accidents climatiques (**Belaid, 1986**). Cependant, d'après **Essad (1982)**, la réduction de la taille de la paille peut corriger la sensibilité à la verse.

L'amélioration de la tolérance à la verse a été très importante car elle a permis aux variétés de supporter des rendements croissants. Les variétés hautes sont généralement les plus sensibles à la verse. Chez le blé dur, les génotypes issus de croisements entre blé tendre et blé dur sont à l'origine de développement de la culture des premiers blés durs courts, ces croisements ont permis d'obtenir une meilleure résistance (**Hardouin et al., 2002**).

- **La précocité**

C'est le moyen le plus utilisé pour éviter le déficit sur le poids du grain (**Doussinault et al., 1992**). Pour maximiser les rendements, il est essentiel de concevoir des génotypes qui exploitent mieux l'agro-environnement qu'ils occupent. Pour cela, le contrôle de la floraison est fondamental et a un impact majeur sur le rendement en grain des cultures. La transition entre la phase végétative et la phase reproductrice présente une étape critique dans le développement de la plante et un trait clé d'adaptation de la culture ce qui assure une pollinisation et un développement optimal des grains (**Cockram et al., 2007**).

#### 5.4.2. *Sélection pour les contraintes biotiques*

La production du blé dur est sévèrement affectée par un certain nombre de maladies, insectes et ravageurs. La résistance au stress biotique peut être, selon **Hayes et al. (2003)**, la cause déterminante du rendement, si la résistance au stress en question est endémique à une zone de production. Pour cela, il existe diverses méthodes de lutte contre les maladies et parasites. Ce sont les méthodes mécaniques, chimiques et génétiques. Cette dernière reste la préférée, dans la mesure du possible, pour des raisons économiques et environnementales (**Simmonds, 1986 ; Jahoor et al., 2004 ; Hayes et al., 2006 ; Horsley et al., 2009**).

- **Résistance aux maladies cryptogamiques**

Selon **Hardouin et al., (2002)**, la sensibilité élevée du blé aux maladies cryptogamiques notamment la fusariose et la rouille brune, accroît l'intérêt de la sélection pour la résistance aux maladies cryptogamiques.

Il existe des parasites qui présentent une forte interaction avec l'hôte, c'est le cas des parasites obligatoires fongiques telles que la rouille et l'oïdium, La première préoccupation des

sélectionneurs a été d'essayer d'augmenter le niveau de résistance en recherchant des transgressions du caractère chez le blé (**Doussinault et al., 1992**). D'après **Trotter (1986)**, il est donc important pour le sélectionneur de connaître les sources de résistance qu'il utilise non seulement pour leurs stabilités mais aussi du point de vue de la diversité de leur déterminisme génétique. Une variété résistante une année dans un lieu peut, en effet, s'avérer sensible si la race du parasite est différente. Malgré cela, il est parfois possible d'identifier des gènes de résistance, comme c'est le cas des gènes introduits à partir de l'espèce voisine du blé l'aegilops (**Hardouin et al., 2002**).

La fusariose et la septoriose sont prises en compte par les sélectionneurs au même titre que les autres maladies. Mais pour la fusariose, outre les risques de pertes de rendement, les fusariums produisent des mycotoxines nocives. La septoriose également est devenue une maladie grave notamment celle causée par *Septoria tritici*, mais il existe de la variabilité génétique vis-à-vis de cette maladie (**Hardouin et al., 2002**).

- **Résistance au virus de la jaunisse nanisante de l'orge**

Le virus de la jaunisse nanisante de l'orge (VJNO) est parmi les virus qui causent le plus de dommage sur les céréales. Il est transmis au blé par les pucerons des céréales (**INA-PG, 2003**). Les lignées sensibles ne peuvent former de grains et celles modérément tolérantes subissent des dégâts variant de minimales à importants. La lutte chimique contre le VJNO est actuellement impossible en raison de l'absence de viricides, cependant une lutte biologique a donné des résultats intéressants par l'introduction de prédateurs et de parasites des pucerons mais sans régler entièrement le problème d'où l'intérêt d'une tolérance génétique au VJNO incorporé dans le génotype des cultivars tolérants ou résistants (**St-pierre et al., 1991**). D'après **Hardouin et al. (2002)**, des sources de résistance ont été trouvées dans le chiendent et sont en cours de transfert dans le blé.

- **Résistance aux ravageurs**

L'usage de variétés résistantes aux différents ravageurs de blé permettant de minimiser les pertes des ravageurs est possible (**Lahlaoui et al., 2000**). Les programmes de sélection des céréales à paille résistantes au développement des nématodes ont débouché sur les lignées de blé australien 'Loros' qui sont des sources de résistance les plus utilisés, cette résistance dépend d'un gène dominant situé sur le chromosome 2B (**Rivoal et al., 1986**).

**Lahlaoui et al., (2000)**, ont pu mettre en évidence un grand nombre de sources de résistance contre la mouche de Hesse qui peut provoquer jusqu'à 32% des pertes de rendement. Ces sources de résistance sont issues de variétés de blé dur adaptées aux conditions marocaines et d'autres espèces voisines de blé dur.

Dans le cas de résistance déjà citée (maladies et ravageurs), la résistance est souvent mono-génique et issue de gènes dominants donc aussi facile à introgresser, l'inconvénient des résistances mono-géniques c'est la fréquente apparition de phénomène de contournement de résistance, la résistance multi-génique est plus longue et difficile à obtenir, mais elle reste stable et difficile à contourner (**Hardouin et al., 2002**).

## 5.5. Amélioration qualitative des productions

Les critères de qualité retenus, sont étroitement en relation avec l'utilisation du produit pour la consommation humaine et l'alimentation animale, comme pour la transformation telle que la qualité brassicole de l'orge (**Lafon et al., 1998**).

Les produits issus du blé sont fabriqués à l'aide de transformation simple : broyage, séchage pour la semoule, malaxage avec un peu d'eau, pressage puis séchage pour les pâtes. Contrôlées avec précision, ces transformations physiques permettent d'agir sur la qualité des produits mais l'essentiel des qualités et défauts des grains de blé dur va se répercuter sur la chaîne de transformation et/ou se trouve dans les produits finis (**Braune, 1996**). C'est pour cette raison qu'on considère que le choix variétal conditionne le potentiel et les caractéristiques qualitatifs. La plupart des caractéristiques qualitatives spécifiques du blé dur sont, en partie au moins, induite par la variété (**Bernicot et Braune, 1994**).

Les critères de qualité du blé imposés par les transformateurs sont aujourd'hui de plus en plus souvent pris en compte (**Barbottin, 2004**). La recherche de variétés produisant un rendement élevé en grain peut aboutir à l'obtention de variétés de mauvaise qualité en particulier de mauvais rendement semoulier (**Benbelkacem et Kellou, 2000**).

La couleur, la texture et la teneur en protéine sont des caractères importants que les sélectionneurs doivent prendre en considération au moment de la sélection.

- *La sélection pour la teneur en protéine*

La teneur en protéine du blé dur est un critère de qualité très important, selon Mahaut (1996), plus la teneur est élevée meilleure est la qualité. Plusieurs facteurs interviennent sur la valeur du couple rendement-protéine et la variété est un principal facteur déterminant de la variabilité de la teneur en protéines observée entre lots de blé (**Barbottin, 2004**).

- *La sélection et la moucheture*

La moucheture est un phénomène spécifique au blé dur. La résistance à la moucheture fait également partie des critères variétaux (**Hardouin et al., 2002**), d'où la nécessité de sélectionner des variétés tolérantes.

- *La sélection et le mitadinage*

Le mitadinage est un phénomène qui dépend de la nutrition azotée du blé et qui influe sur sa qualité. Une variété sensible au mitadinage ne peut produire un grain de qualité qu'avec une bonne maîtrise de la fertilisation azotée (**Bernicot et Braune, 1994**).

- *la sélection et les indices de coloration*

La sélection pour un indice de jaune est possible. La recherche de variété à fort indice de jaune a en effet permis de développer des variétés riches en caroténoïdes et donc dotées de propriétés bénéfiques pour la santé humaine (**Hardouin et al., 2002**).

## 5.6. Diminution du coût de production

L'impressionnante augmentation des rendements céréaliers est due au progrès génétique, à l'amélioration des techniques agricoles et à l'apport des intrants (fertilisation et produits phytosanitaires).

Le raisonnement des intrants devient un objectif majeur contribuant à préserver l'environnement et à accroître la rentabilité des cultures. La recherche de variétés économes en intrants est un axe de sélection important (**Hardouin et al., 2002**). Cette dernière a permis de supprimer ou de réduire fortement le coût de certaines opérations (**Hervé, 1991a**).

- *La sélection et la fertilisation azotée*

La sélection de variétés ayant une meilleure capacité de valorisation de l'azote permet une économie en matière de fertilisation azotée. Des études réalisées à l'ITCF ont montré qu'il existait des différences variétales en matière de valorisation de l'azote. Selon **Hardouin et al. (2002)**, certaines variétés consomment 30 unités pour la production de 80 q/ha d'autres moins. Cette différence peut être expliquée par le métabolisme de l'azote qui peut être scindé en deux phases bien distinctes. **Peccaud (1987)** ajoute que dans un premier temps, l'azote est absorbé et stocké dans l'appareil végétatif, alors que dans un deuxième temps, il est re-mobilisé et transféré des parties vertes de la plante à l'épi. Un blé est donc efficace dans son utilisation de l'azote si l'absorption et la translocation de cet élément sont élevées.

- *La sélection et les produits phytosanitaires*

Grâce aux résistances contre les maladies et ravageurs que la sélection procure, elle permet d'économiser souvent le coût des traitements. Selon **Vespa (1984)**, le développement de variétés résistantes aux maladies et aux ravageurs va en s'accéléralant, permettant à la génétique de se substituer partiellement aux pesticides.

- *La sélection et les herbicides*

Le désherbage des céréales contre les graminées adventices est délicat, grâce à la sélection, on peut aboutir à des variétés plus résistantes aux herbicides (**INA-PG,2003**), donc la lutte contre les adventices devient de plus en plus efficace de ce fait plus rentable.

## 6. Bases biologiques de la sélection

La sélection, comme procédure, implique l'identification et la propagation de différents génotypes ou groupes de génotypes dans des populations mélangées, ou dans des ségrégations après hybridation (**Poehlman et Sleper, 1995**). A moins que la variation génétique puisse être identifiée et distinguée de la variabilité ambiante causée chez la population mélangée, le choix peut ne pas être efficace en isolant les génotypes désirés.

Le sélectionneur peut réunir un grand nombre de caractères bénéfiques dans une même variété, en maintenant au mieux la variabilité génétique, et cela en gérant la diversité existante (conservation), en accroissant cette diversité (mutation provoquée, hybridations intraspécifiques et interspécifiques, polyploïdie) et en exploitant cette diversité (**Hervé, 1991b**).

Le choix de la méthode de sélection dépend du mode de reproduction des plantes. Celles-ci sont soit autogames (reproduction par autofécondation), cas du blé, soit allogames (reproduction par fécondation croisée), cas du maïs. Au niveau des plantes autogames, la sélection aboutit à la création de lignées pures ou variétés (**Khaldoun et al., 2006**).

Il y a lieu de distinguer deux types de sélection : la sélection conservatrice et la sélection créatrice. La première s'intéresse au maintien en génération en génération des caractéristiques des variétés déjà existantes. Ce maintien ce fait soit par la méthode de sélection massale, soit par la sélection généalogique. Tandis que la deuxième consiste à créer soit à partir de populations, soit à partir de croisements plus au moins complexes ou de mutations artificielles, des variétés ayant des caractéristiques d'homogénéité, de production, de résistance aux maladies ou de qualité supérieure à celles existantes sur le marché (**Khaldoun et al., 2006**).

Les méthodes de sélection créatrices utilisées en amélioration des plantes sont classées en méthodes de sélection avant hybridation et en méthode de sélection après hybridation. Dans ce qui suit nous ne développerons que les méthodes les plus utilisées.

### 6.1. Méthodes de sélection avant l'hybridation

#### 6.1.1. Sélection massale

Parmi les méthodes de sélection les plus anciennes, la sélection massale est à la base de la domestication de plusieurs espèces végétales. Elle est simple et peu coûteuse (**Zahour, 1992**).

Selon **Bonjean et Picard (1990)**, **Zahour (1992)** et **Khaldoun et al., (2006)**, dans la sélection massale, il suffit de choisir les plantes phénotypiquement supérieures et identiques et mélanger les semences. Cette dernière est alors semée en vrac. La sélection massale peut être également faite par simple élimination des plantes non désirables de la population. Une version améliorée de cette méthode consiste en la sélection des plantes phénotypiquement supérieures, leur semis en lignes séparées où seules les meilleures et identiques sont mélangés pour établir une nouvelle variété. Cette sélection peut être répétée durant plusieurs cycles tant que la variabilité du caractère recherché persiste.

Il est facilement observé que l'efficacité de cette sélection massale est liée à la corrélation entre phénotype et génotype et donc à l'héritabilité des caractères (**Demarly, 1977**). Si la variance phénotypique est très supérieure à la variance génotypique, le choix sera sans effet sur le gain génétique à la génération suivante. Ce type de sélection est très proche de la sélection naturelle. Il est cependant totalement inefficace si les caractères sélectionnés sont négativement corrélés. C'est donc une méthode simple mais sommaire, d'autant plus efficace qu'elle s'adresse à des critères en nombre limité, en corrélation positive et à forte héritabilité (**Feldmann et Feyt, 2002**). L'objectif de la sélection massale est de : 1) purifier les cultivars mixtes ou les populations par sélection et propagation des plantes visiblement similaire, 2) développer de nouveaux cultivars en améliorant la moyenne de la performance des populations 3) augmenter progressivement la fréquence des allèles favorables dans les populations.

Cette méthode ne permet également pas de séparer les plantes homozygotes des plantes hétérozygotes dans le cas où la dominance est complète. D'autre cycle de sélection sont nécessaires tant que des hétérozygotes sont présents dans la population sous sélection (**Bonjean et Picard 1990**).

### 6.1.2. *Sélection des lignées pures*

C'est l'isolation de lignées pures à partir d'une population mixte. L'amélioration est limitée par l'isolation du meilleur génotype présent dans la population. Une fois la supériorité du génotype sélectionné est prouvée, la population peut être multipliée, nommée et distribuée sous forme d'un nouveau cultivar (**Poehlman et Sleper, 1995**).

## 6.2. Méthodes de sélection après hybridation

### 6.2.1. *Sélection généalogique*

Cette méthode consiste à choisir des individus dans une population hétérogène et procéder ensuite à l'étude des descendance en autofécondation en suivant la filiation généalogique de chaque individu (plante ou épi par ligne), d'où le nom de la sélection généalogique (**Demarly et Sibi, 1996**). La sélection généalogique, permet d'extraire d'une population des lignées homozygotes pour leurs caractères essentiels et adaptés à l'environnement où s'est opérée la sélection (**Khaldoun et al., 2006**). Son grand intérêt est de fournir à la grande culture des lignées pures dont les avantages sont considérables (**Bonjean et Picard 1990**) :

- ✓ Efficace pour les caractères faiblement soumis au milieu (c'est-à-dire caractères héréditaires) ;
- ✓ Permet de cumuler plusieurs années d'observation, aboutit alors à une meilleure connaissance des lignées ;
- ✓ Permet d'utiliser le reliquat d'hétérozygotie en  $F_3$  ;
- ✓ Efficace pour éliminer rapidement les génotypes indésirables ;
- ✓ La probabilité de conserver les allèles favorables est forte ;
- ✓ Végétation uniforme, tige de même hauteur, grains de même taille, rendement élevé, etc.

La sélection se fait à partir de la  $F_2$  obtenue suite à une autofécondation de la  $F_1$  issue d'un croisement entre deux lignées dont les qualités sont connues et complémentaires (**Vilain, 1989**).

L'autofécondation des plantes  $F_2$  sélectionnées permet en  $F_3$  d'avoir une structure familiale sans ou avec répétition et donc il est possible de faire une sélection familiale puis individuelles dans les meilleurs familles (**Zahour, 1992**).

Selon **Vespa (1984)**, l'inconvénient de cette méthode est que la sélection débute précocement dès la  $F_2$ , et dépend entièrement du coup d'œil du sélectionneur, si un caractère intéressant se manifeste à l'état récessif hétérozygote, le sélectionneur qui se base uniquement sur l'aspect phénotypique, court le risque de ne pas le remarquer et lourde en main d'œuvre et notations.

Certains sélectionneurs préfèrent utiliser la méthode bulk lorsque des géniteurs très semblables sont réunis

### 6.2.2. *Méthode Bulk*

La méthode bulk est simple, commode, exige moins de travail, et est moins chère pour la conduite des premières générations de ségrégation pendant lesquelles il n'y a pas de sélection par rapport au procédé de sélection généalogique (**Poehlman et Sleper, 1995**). Pour éviter des choix délicats en  $F_2$ , et à un degré moindre à la  $F_3$ , on peut chez une espèce autogame où à chaque génération le taux d'homozygotie s'accroît de 50% , reporter le départ en sélection pedigree à la  $F_4$ . Jusqu'à ce stade, les premières générations  $F_2$ ,  $F_3$  etc.... sont récoltées en vrac et ressemées sans aucune identification de pedigree : aucun choix sauf des éliminations par compétition ou par sélection naturelle. A un stade donné, généralement en  $F_4$ , on repart en sélection pedigree. L'intérêt de la stratégie est d'avoir allégé considérablement les premières générations et de reporter les choix sur les structures  $F_4$  déjà fortement homozygotes (**Demarly et Sibi, 1996**).

Cette méthode permet également de sélectionner des résistances : par exemple, on augmente la fréquence des génotypes tolérants aux maladies en soumettant le Bulk à une pression parasitaire importante (**Simon et al., 1989**).

La méthode bulk présentent d'autres avantages (**Bonjean et Picard 1990**) :

- Peut être traitée à l'occasion comme dans un essai : analyse des rendements parcellaires ;
- Permet de cumuler les pressions de sélection de plusieurs lieux successivement si le bulk tourne ;
- Conserve mieux la variabilité.

Contrairement à la méthode de sélection généalogique, aucune information n'est obtenue pendant les premières générations sur la transmission des traits spécifiques ou la performance des lignées. Pendant les générations de ségrégation quelques génotypes souhaitables peuvent être perdus de la population, par exemple, les plantes hautes et tardives peuvent supplanter (en nombre) les plantes courtes et précoces qui seront perdues (**Poehlman et Sleper, 1995**).

La méthode bulk présentent d'autres inconvénients (**Bonjean et Picard 1990**) :

- Elle donne prise à la sélection naturelle. Il faut donc qu'il y ait une bonne corrélation entre les caractères sélectionnés dans les bulks et les caractères agronomiques visés ;

- L'hétérosis donne un avantage aux plantes hétérozygotes dans les bulks, ce qui provoque un retard dans l'atteinte de l'homozygotie ;
- Diminution de la variabilité due aux effets de compétition.

## 7. Etude du croisement diallèle

### 7.1. Définition

C'est un ensemble d'hybridations dirigées entre structures à étudier comprenant systématiquement toute une série de combinaisons (les graines issues de chaque parent mâle étant individualisées sur chaque parent femelle) (**khadoune et al., 2006**).

- ✓ Le diallèle peut être complet et comprendre les  $p^2$  combinaisons deux à deux ;
- ✓ Ou ne couvrir que les  $p(p-1)$  hybrides sans les croisements intra-géniteurs ;
- ✓ Ou encore comprendre  $\frac{p(p+1)}{2}$  types : un seul sens de croisement avec les croisements intra-géniteurs ;
- ✓ Ou enfin, réduit à un seul sens de croisement  $\frac{p(p-1)}{2}$  combinaisons

### 7.2. Déterminisme génétique

#### 7.2.1. Action génique

L'étude de l'héritabilité des caractères quantitatifs chez les céréales autogames présentent des difficultés certaines. Ces caractères ont par définition, une hérédité complexe et difficile à préciser.

Contrairement aux caractères qualitatifs ou mendéliens qui sont déterminés par un nombre réduit de gènes, les caractères quantitatifs sont déterminés par un nombre élevé de gènes. Ces derniers se caractérisent par une variation continue. Le déterminisme de ces caractères quantitatifs n'est que l'expression conjugué du génotype et du milieu (**Falconer, 1974**).

#### 7.2.2. L'additivité

L'additivité d'une structure représente la part constante que sa présence apporte dans la réalisation d'un phénotype : c'est donc, pour un sélectionneur, un acquis important (**Demarly, 1977**). Selon **Gallais (1990)**, il y a additivité stricte ou biologique lorsque la valeur d'un hétérozygote à un locus est exactement égale à la moyenne des deux homozygotes correspondants :

$$Aa = (AA + aa) / 2.$$

C'est la composante la plus importante puisque c'est la principale cause de ressemblance entre apparentés (**Falconer, 1974**).

### 7.2.3. La dominance

La dominance représente l'écart entre les valeurs réelles et les valeurs additives. C'est une somme d'interaction entre segments homologues. Un allèle dominant n'est naturellement favorisé que s'il constitue un avantage sélectif (**Demarly, 1963 ; Gallais, 1978**). La part des effets, de la dominance, dans la valeur d'un caractère, est liée à un choix de structures apparentées ; elle est remise en cause à chaque nouvelle génération (**Demarly, 1977**).

Il existe plusieurs types de dominance qui sont :

- ✓ **La dominance complète** : c'est le cas où la valeur moyenne de l'hybride  $F_1$  est égale à la valeur moyenne du parent possédant l'allèle dominant ( $Aa = AA$ ) ;
- ✓ **La dominance partielle** : c'est le cas où la valeur de l'hétérozygote ( $Aa$ ) se situe quelque part entre la valeur moyenne des deux homozygotes et celle de l'un d'entre eux ( $AA$  par exemple) ;
- ✓ **La superdominance** : c'est le cas où la valeur moyenne de l'hétérozygote est supérieure à la valeur moyenne du parent possédant l'allèle dominant ( $Aa \gg AA$  ou  $Aa \gg aa$ ).

### 7.2.4. L'épistasie

L'épistasie est une notion plus complexe que l'additivité et la dominance, elle concerne des interactions entre segments non homologues. Mais elle garde elle aussi, sa signification concrète puisque sa valeur peut être accrue ou modifiée en fonction des recombinaisons et des appariements (**Demarly, 1977**). Les interactions entre allèles non homologues peuvent intervenir entre les effets additifs  $A \times A \times A \times \dots$ , entre les effets de dominance  $D \times D \times D \times \dots$ , ou même être mixte  $A \times D$  (**Demarly, 1977**). Il existe deux types d'épistasie, l'épistasie cis et l'épistasie trans.

L'épistasie « cis » a un linkage assez étroit. Ces effets sont intéressants en sélection, du fait de leur permanence parfois considérée comme de l'additivité. L'épistasie « trans » qui se produit entre les loci plus éloignés sur le même chromosome ou entre des loci se trouvant sur des segments non homologues. Elle est aléatoirement modifiée à chaque génération en fonction des rencontres gamétiques.

Pour un caractère dépendant de plusieurs gènes, **Falconer (1974), Demarly (1977) et Gallais (1978)** ont formulé la variance phénotypique comme suit :

$$V_p = V_g + V_e$$

Et

$$V_G = V_A + V_D + V_I$$

Avec :

$V_p$ ,  $V_g$  et  $V_e$  étant respectivement les variances phénotypiques, génotypiques et environnementales.  
 $V_A$ ,  $V_D$  et  $V_I$  étant les variances additive, de dominance et d'épistasie.

### 7.3. L'héritabilité

L'héritabilité est souvent recherchée dans un programme de sélection parce qu'elle permet de discerner entre les différences observées entre les individus qui proviennent de variation dans la constitution génétique des plantes et celles qui sont liées aux facteurs du milieu (**Demarly, 1977**).

Quand la variation due au milieu est faible, la variation phénotypique donne une image conforme à la variation génotypique et la sélection d'un tel caractère serait aisée. Par contre, lorsque la fluctuation due au milieu est importante et le caractère a une faible pénétrance, il serait difficile de le manipuler par sélection, puisque le phénotype ne représente que faiblement le génotype (**Demarly, 1977**).

Les caractères totalement déterminés par des gènes à effet additif sont entièrement héritable. L'héritabilité d'un caractère diminue dans la mesure où il est influencé par le milieu, la dominance et l'épistasie trans (**Falconer, 1972**). Cet auteur a décomposé la variance observée en fraction héritable et fraction non héritable.

L'héritabilité au sens large est le rapport entre la variance génotypique et la variance phénotypique, alors que l'héritabilité au sens étroit est le rapport entre la variance additive et la variance phénotypique (**Demarly, 1977**). L'héritabilité au sens étroit est formée presque entièrement par l'additivité et provient aussi en partie des effets épistatiques « cis ».

### 7.4. L'hétérosis

L'hétérosis est un phénomène qui se manifeste en cas d'hybridation intra-spécifique ou inter-spécifique. Il s'observe en comparant la valeur phénotypique moyenne des descendants, issus de l'hybridation, aux valeurs des populations parentales. Historiquement, c'est le biologiste allemand Koelreuter (1733-1806) qui le premier mit expérimentalement en évidence le phénomène de « vigueur hybride » : avec différentes espèces du genre *Nicotiana* (tabac), Koelreuter a remarqué que pour certains caractères, la moyenne phénotypique des hybrides était supérieure à chacune des deux moyennes parentales. Le terme d'hétérosis a été introduit par les sélectionneurs de maïs (Shull, 1908) pour désigner la supériorité des hybrides par rapport à la meilleure des deux populations parentales (**Verrier et al., 2001**).

Chez les espèces allogames, il y a en général perte de vigueur par reproduction entre individus apparentés. Inversement le croisement entre individus non apparentés restaure la vigueur. Hétérosis et dépression de la consanguinité sont donc deux facettes d'un même phénomène.

En général, l'hétérosis et corrélativement, la dépression de la consanguinité, sont beaucoup plus forts chez les plantes allogames (tel que le maïs) que chez les espèces autogames. Les caractères les plus affectés sont les caractères complexes, sans doute aussi les plus liés à la valeur sélective (**Demarly, 1977 et Gallais, 1990**).

Si les parents sont homozygotes et différents, la génération F<sub>1</sub> après hybridation intervariétale sera homozygote mais hétérozygotes (**Zahour, 1992**). Cette hétérozygotie provoque chez les espèces une vigueur remarquable (**Scheisguth, 1969**).

La forte influence de la densité de semis sur les manifestation de la vigueur hybride a été montré par certains auteurs tel que **Varenisita (1971) in Auriou et al., (1975)**. Notons à ce propos que les premiers travaux réalisés avec des semences obtenues par croisements manuels et sur de très petites surfaces ont montré de fortes augmentations de rendement par rapport aux parents. Les rendements étant ramenés à la plante et non à l'unité de surface.

Ainsi, l'hétérosis est souvent mesuré comme la différence entre la moyenne des hybrides et la moyenne de la meilleure population parentale : on parle d'hétérosis « utile » ou d'hétérosis « du point de vue du sélectionneur ». Toutefois, l'hétérosis est également souvent mesuré comme la différence entre la valeur moyenne des hybrides et la moyenne des deux populations parentales : on parle alors d'hétérosis « du point de vue du généticien ». (**Verrier et al., 2001**).

L'hétérosis se manifeste chez le blé sur différents caractères. Des études menées par **Goujon et Paquet (1968)**, sur le blé tendre ont montré des augmentations de taille de 10% à la  $F_1$  par rapport au parent le plus haut. **Ingold (1974) et Oury et al., (1990)** ont également observé une manifestation de l'hétérosis pour le rendement par rapport au meilleur parent. Ces augmentations ont atteint 25% pour le blé tendre lors des études effectuées par **Sharma et Singh (1989)**, et même 61% lorsque l'on considère le rendement par plante (**Tarkeshwar et Mishra, 1990**).

## 8. Méthode d'interprétation du diallèle

Le test diallèle est un outil mathématique d'étude de l'hérédité des caractères quantitatifs. Elaboré par Hayman en 1954, il a été depuis, appliqué à l'analyse des croisements diallèles chez différents espèces.

Les essais diallèles permettent une analyse poussée des caractéristiques génétiques conditionnant les disjonctions quantitatives (**Ecochard et Huet, 1961**). Ils sont relativement faciles à manipuler du point de vue expérimental, puisqu'ils n'y figurent que les familles. Une famille comporte un des parents et les croisements où il figure (**Ecochard et Huet, 1961 ; Berbigier, 1964**). Il existe deux types d'interprétations qui sont, l'interprétation par la méthode de **Griffing (1956)** et l'interprétation par la méthode de **Hayman (1954)**.

### 8.1. Méthode de Griffing

Elle permet la mesure des aptitudes générales à la combinaison (AGC) qui sont la valeur du gamète moyen du parent ou bien c'est la moyenne des effets gamétiques d'un individu (**Demarly, 1977**). La valeur des individus x et y présente un écart par rapport aux prévisions de l'additivité des AGC. Cet écart qui caractérise spécifiquement le croisement xx par yy, est appelé aptitude spécifique à la combinaison (ASC). Les variances des deux mesures (AGC et ASC) permettent le choix de la méthode de sélection à poursuivre dans un programme d'amélioration pour une qualité (tableau 33) (**Demarly, 1977**).

**Tableau 33:** Stratégie de sélection en fonction des variances d’aptitude à la combinaison (Demarly, 1977).

Variance AGC	Variance ASC
<u>Faible</u> : peu de choix dans les formules parentales.	<u>Forte</u> : faire de nombreux croisements et choisir en suite.
<u>Forte</u> : choix efficace dans les formules parentales.	<u>Faible</u> : le choix des parents avant hybridation reste prioritaire.

## 8.2. Méthode de Hayman

Selon **Demarly (1977)**, la méthode proposée par Hayman possède l’indéniable avantage de s’interpréter graphiquement d’une manière simple ; elle permet aussi d’analyser un intéressant modèle génétique. Par contre elle a l’inconvénient d’exiger, dans son utilisation, d’assez nombreuses conditions restrictives.



# MATERIEL ET METHODES

## 1. Description du site expérimental

L'essai a été réalisé sous un abri grillagé à la station expérimentale de l'Ecole Nationale Supérieure agronomique, El Harrach (Alger), se trouvant à une altitude de 48 m à 3' 08" de longitude Est et 36' 43" de latitude Nord.

### 1.1. Caractéristiques pédoclimatiques du milieu

#### 1.1.1.

#### Caractéristiques intrinsèques du sol

Afin de déterminer les principales propriétés qui caractérisent le sol de notre essai, une série d'analyses a été réalisée sur un échantillon issu d'un mélange de cinq prélèvements du sol à l'aide d'une tarière suivant les diagonales de la parcelle à une profondeur de 30 cm. L'analyse s'est faite au niveau du laboratoire d'Agriculture du département de phytotechnie. Les résultats sont rapportés dans le tableau 34, p 82.

- ✓ Selon le triangle de texture de **Henin (1969)**, notre sol a une texture Limono Sablo- Argileuse.
- ✓ Le pH est légèrement alcalin ;
- ✓ Le taux de calcaire total est très faible (0,9 p.100).
- ✓ La conductivité électrique est très faible, elle est inférieure à la norme de 0,6 mmhos / cm proposée par **Calvet et Viellemin (1986)**. Donc, notre sol est non salin ;
- ✓ Le taux de matière organique est faible par rapport à la norme proposée par Calvet et Viellemin (1986).
- ✓ Le sol est assez riche en  $P_2O_5$  (18,66 ppm), mais pauvre en  $K_2O$  (1,87 m éq / 100g de terre).

#### 1.1.2. Conditions climatiques de la campagne d'étude

Le développement du peuplement végétal est très lié aux conditions climatiques. En effet, l'émission des feuilles et l'apparition des différents stades sont déterminées en grande partie par la pluviométrie et la somme des températures journalières depuis le semis jusqu'à la fin du cycle de la plante.

Dans le but de déterminer les conditions climatiques qui ont caractérisées la campagne 2008-2009, un suivi régulier a été réalisé par la station météorologique de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA). Les principales données sont rapportées dans le tableau 35, p 82 à partir duquel une courbe ombrothermique a été tracée (figure 13, p. 83).

**Tableau 34** : Résultats des analyses physico-chimique du sol (2008-2009)

Caractéristiques du sol		Résultats	Méthodes
Granulométrie	Argile (%)	25.48	Pipette de ROBINSON
	Limon fin (%)	12.54	
	Limon grossier (%)	26.73	
	Sable fin (%)	35.4	
	Sable grossier (%)	1.85	
Calcaire total (p.100)		4.29	Calcimètre de BERNARD.
pH eau		8.50	pH mètre
pH <sub>KCl</sub>		7.50	pH mètre
K <sub>2</sub> O (mq / 100g de terre)		1.87	Spectrophotomètre à flammes
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)		85	JORET-HEBERT
Conductivité électrique (mmohs/cm)		0.16	Conductimètre
Caractères biochimiques	Carbone organique (%)	1.11	Méthode Anne
	Matière organique (%)	1.59	C (p.100) x 1.72
	Azote total (p.100)	0.30	Méthode KJELDHAL
	C / N	3.70	/

**Tableau 35** : Pluviométrie et température pour la campagne agricole 2008/2009.

Campagnes		Mois										Total (mm)
		Sep	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	
2008 / 2009	P (mm)	41,5	87,7	154,1	125,2	141,6	43,8	66,8	159,4	17,5	00	837,6
	T min	18,3	16,4	9,34	7,19	7,23	5,85	8,01	9,39	14,6	17,8	
	T max	27,5	25,7	19,58	15,54	16,26	17,1	18,15	19,98	25,8	27,1	
	T moy	23,1	21,1	14,4	11,3	11,7	11,5	13,1	14,9	20,3	22,4	

Le total des précipitations enregistré durant la campagne 2008-2009 est de 837,6 mm avec une variabilité dans la répartition. En effet, les mois de novembre, décembre, janvier et avril étaient pluvieux comparé à la campagne 2007-2008, la pluviométrie du mois d'octobre est égale à trois fois celle enregistrée par la moyenne de la décennie 1998-2008. Le mois de novembre a été le mois qui a enregistré la pluviométrie la plus abondante qui est deux fois supérieure à la moyenne enregistrée durant la décennie 1998-2008, le mois de décembre a enregistré une pluviométrie celle de la période 1998-2008 et deux fois celle de l'année 2007-2008. Le mois de janvier a enregistré une moyenne deux fois supérieure à la moyenne de la décennie 1998-2008 et cinq fois supérieure à celle de la moyenne de campagne 2007-2008. Le mois d'avril a enregistré lui aussi une forte pluviométrie assez élevée par rapport à la décennie contrairement au mois de mai (figure 14, p. 83).

La gamme des températures de l'année varie de 11,3 °C pour le mois de décembre à 23,1°C pour le mois de septembre déterminant successivement le mois le plus froid et le plus chaud de la campagne. Les températures moyennes n'ont pas présenté de caractéristiques particulières pour cette campagne (Figure 13).

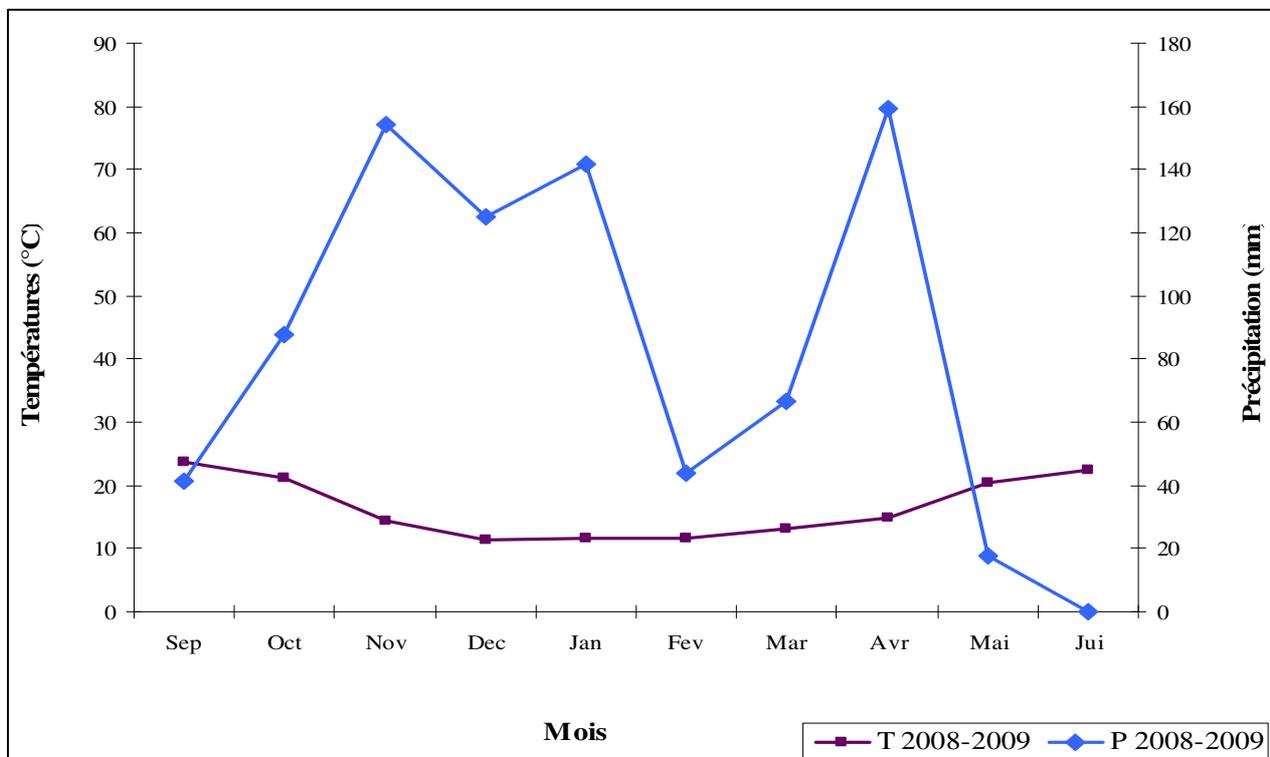


Fig.13. Courbe ombrothermique de GAUSSEN de la campagne 2008-2009.

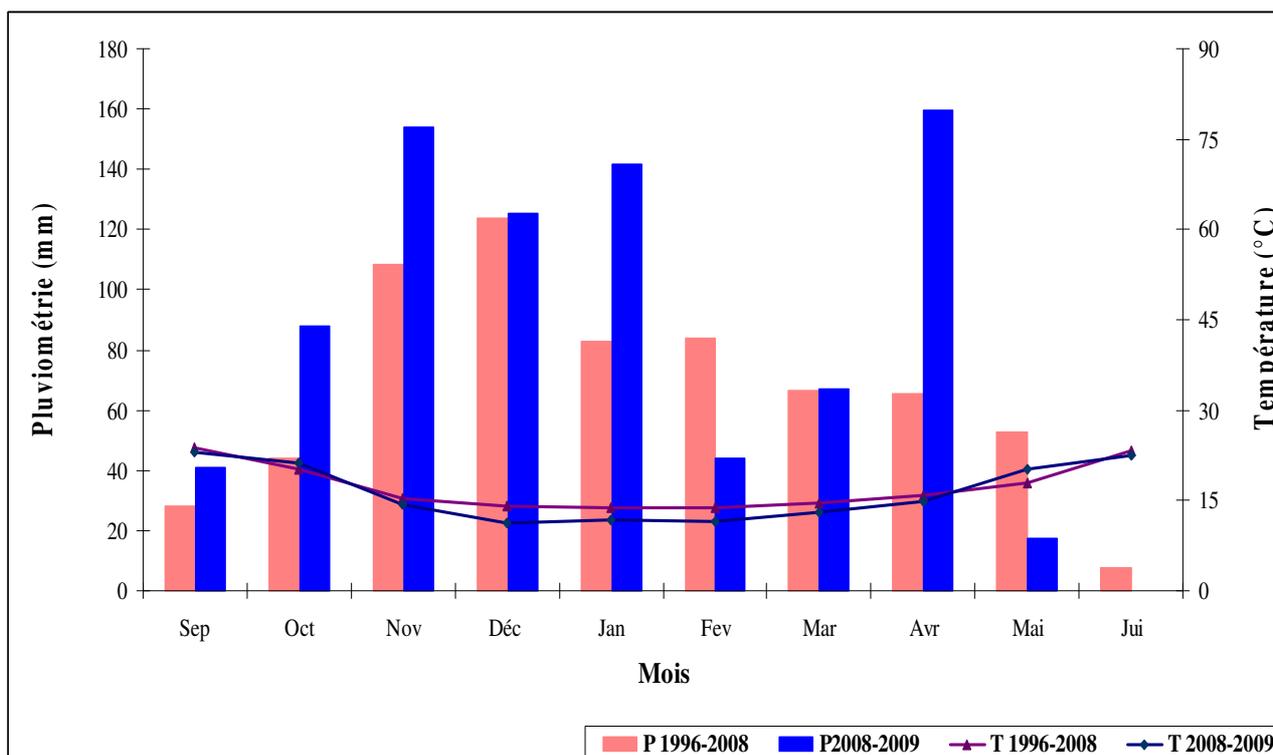


Fig.14. Variation des précipitations et de la température moyenne.

## 1.2. Matériel végétal

Le travail portera sur la comparaison entre les variétés parentales et les hybrides F<sub>1</sub> et F<sub>2</sub> « *Triticum durum* Desf. ». Les croisements diallèles et l'étude comparative entre des hybride F<sub>1</sub> ont été réalisés par Chetmi (2009).

L'étude agronomique et morphologique qui a été menée sur les hybride F<sub>1</sub> a permis de distinguer deux couleur de barbes chez les hybrides où Siméto et Chen's sont parent mâle. Des sélections à base de couleur de barbes ont suivi cette observation et chaque couleur a été semée à part ce qui fait que le nombre de populations F<sub>2</sub> étudiées est passé de 30 à 38. L'étude porte sur plusieurs caractères (agronomiques, morphologiques et phénologiques) permettant l'évaluation des performances agronomiques de ces génotypes puis faire une comparaison entre elles afin de tirer la ou les combinaisons les plus intéressantes.

Le matériel végétal utilisé est composé de six variétés fixés (Siméto, Ardente, Carioca, Latino, GTA dur, Chen's) et trente populations F<sub>2</sub> (Siméto\*Latino, Siméto\*Carioca, Siméto\*GTA dur, Siméto\*Ardente, Siméto\*Chen's, Carioca\*Siméto, Carioca\*Latino, Carioca\*GTA dur, Carioca\*Ardente, Carioca\*Chen's, Latino\*Siméto, Latino\*Carioca, Latino\*GTA dur, Latino\*Ardente, Latino\*Chen's, GTA dur\*Siméto, GTA dur\*Carioca, GTA dur\*Latino, GTA dur\*Ardente, GTA dur\*Chen's, Ardente\*Siméto, Ardente\*Carioca, Ardente\*Latino, Ardente\*GTA dur, Ardente\*Chen's, Chen's\*Siméto, Chen's\*Carioca, Chen's\*GTA dur, Chen's\*Ardente, Chen's\*Latino).

Les caractéristiques des variétés sont illustrées dans le tableau 36, p 85 (Les caractéristiques des variétés Ardente et Siméto ont été présentés dans la première partie).

**Tableau 36 : Caractéristiques des différentes variétés**

<b>Variétés</b> <b>Caractères</b>	<b>Carioca</b>	<b>Latino</b>	<b>GTA dur</b>	<b>Chen's</b>
Origine	SERASEM- France	—————	CIMMYT (Mexique)	CIMMYT (Mexique)
Caractères morphologiques	<b>Compacité de l'épi :</b> compact <b>Couleur de l'épi :</b> blanc <b>hauteur de la plante à la maturité :</b> 65-75 cm	<b>Compacité de l'épi :</b> compact <b>Couleur de l'épi :</b> blanc <b>hauteur de la plante à la maturité :</b> 80- 90 cm	<b>Compacité de l'épi :</b> compact <b>Couleur de l'épi :</b> blanc <b>hauteur de la plante à la maturité :</b> 80- 90 cm	<b>Compacité de l'épi :</b> compact <b>Couleur de l'épi :</b> blanc à roux pâle <b>hauteur de la plante à la maturité :</b> 65 à 75cm
Caractéristiques culturales	<b>Cycle végétatif :</b> précoce <b>tallage :</b> faible	<b>Cycle végétatif :</b> précoce <b>tallage :</b> moyen	<b>Cycle végétatif :</b> précoce <b>tallage :</b> fort	<b>Cycle végétatif :</b> précoce <b>tallage :</b> moyen à fort
Tolérances aux maladies et aux différentes conditions climatiques	<b>Rouille brune :</b> sensible à assez sensible <b>Oïdium :</b> sensible <b>Septoriose :</b> sensible <b>Fusariose :</b> assez sensible <b>Froid :</b> moyennement résistant <b>Sécheresse :</b> moyennement tolérante <b>Verse :</b> bonne résistance	<b>Rouille brune :</b> sensible <b>Oïdium :</b> / <b>Septoriose :</b> sensible <b>Fusariose :</b> assez sensible <b>Froid :</b> résistante <b>Sécheresse :</b> résistante <b>Verse :</b> moyennement résistante	<b>Rouille brune :</b> moyennement résistante <b>Oïdium :</b> résistante <b>Septoriose :</b> résistante <b>Fusariose :</b> résistante <b>Froid :</b> résistante <b>Sécheresse :</b> résistante <b>Verse :</b> moyennement résistante	<b>Rouille brune :</b> moyennement sensible <b>Oïdium :</b> moyennement sensible <b>Septoriose :</b> sensible <b>Fusariose :</b> sensible <b>Froid :</b> tolérante <b>Sécheresse :</b> moyennement tolérante <b>Verse :</b> résistante
Caractères technologiques	<b>Qualité semoulière :</b> bonne <b>PMG :</b> <b>Mitadinage :</b> peu sensible <b>Moucheture :</b> peu sensible	<b>Qualité semoulière :</b> <b>PMG :</b> 35- 40g <b>Mitadinage :</b> résistante <b>Moucheture :</b> résistance moyenne	<b>Qualité semoulière :</b> <b>PMG :</b> 45g <b>Mitadinage :</b> moyennement résistante <b>Moucheture :</b> résistante	<b>Qualité semoulière :</b> <b>PMG :</b> 35 à 45g <b>Mitadinage :</b> moyennement résistante <b>Moucheture :</b> résistante

Source : ITGC ; 2006

### 1.3. Dispositif expérimental

La disposition des 44 lignes s'est faite selon un dispositif en bloc aléatoire complet avec trois répétitions. Chaque génotype est semé dans une micro-parcelle de 1 m<sup>2</sup> comprenant 5 lignes de 1m. L'espacement entre deux lignes successives était de 20 cm, la dose de semis était 70 grains par mètre linéaire. La distance entre deux micro-parcelles successives était de 20 cm (pour éliminer l'effet de bordures) et l'espacement entre deux blocs était de 50 cm. (Figure 15 et figure 16, p. 87-88).



Après labour



Façons superficielles et traçage du dispositif



Stade trois feuilles



Stade début épiaison

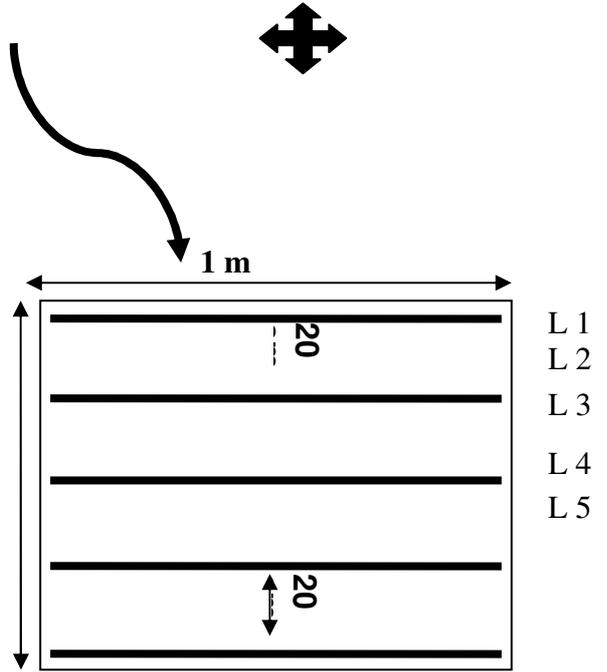
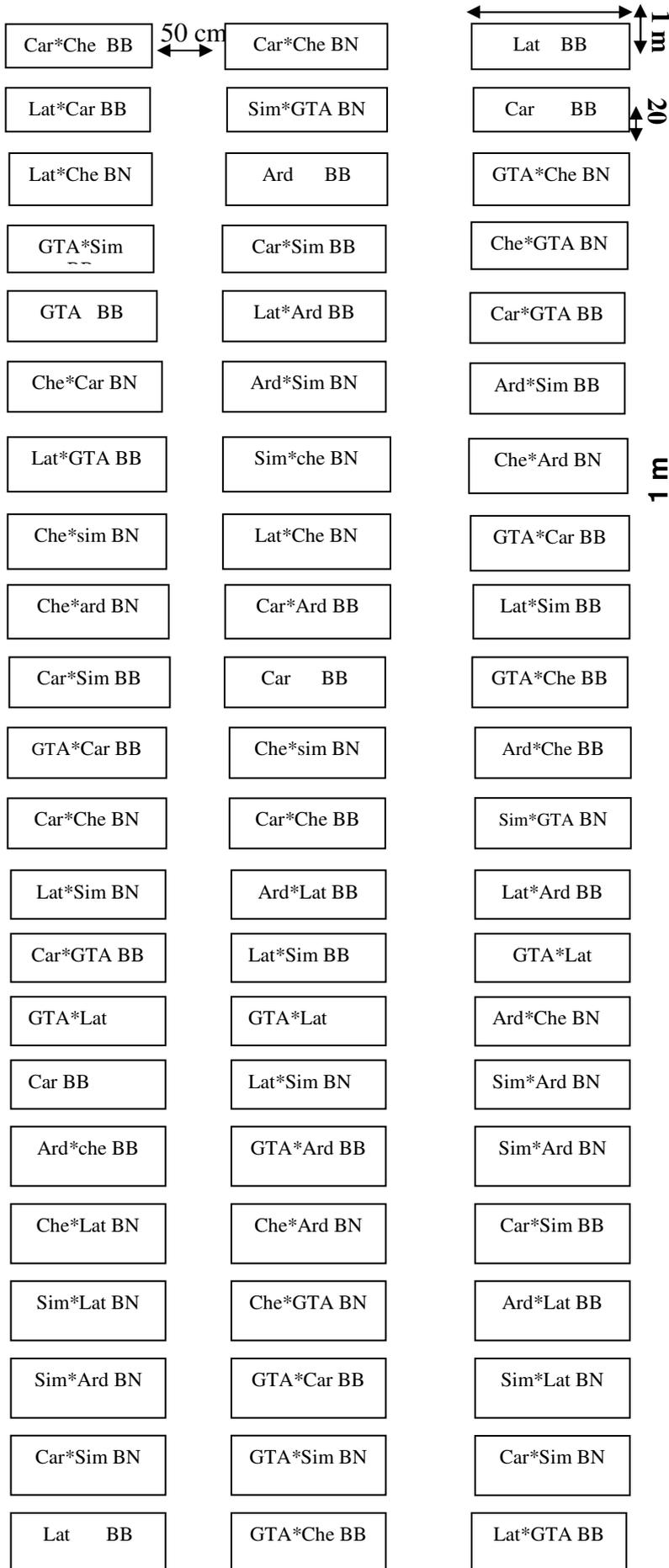


Stade maturité



La récolte

**Fig.15.** Photos illustrant le dispositif expérimental à différents stades de l'essai



L : Ligne de semis

BB : Barbes blanches

BN : Barbes noires

Che*GTA BN	Che*Car BN	Car*Ard BB
Ard*Sim BN	GTA*che BN	Lat*Car BB
GTA*Che BN	Che*Lat BN	Car*Che BN
Che BN	Sim BN	Lat*Sim BN
Car*Ard BB	Che BB	Che BN
GTA*Sim BN	Car*Lat BB	Che*Car BN
Car*Lat BB	Sim*Lat BN	Sim BN
Ard*GTA BB	Lat*Che BB	Ard BB
Lat*Che BB	Ard*Che BN	GTA*Sim BN
GTA*che BB	Lat BB	GTA*Ard BB
Sim BN	Lat*GTA BB	Ard*GTA BB
Ard BB	Ard*Sim BB	Car*Che BB
Ard*Sim BB	Ard*GTA BB	Lat*Che BB
GTA*Ard BB	Sim*Car BN	GTA BB
Sim*GTA BN	GTA*Sim BB	Che*Sim BN
Sim*che BN	Ard*Che BB	Sim*Car BN
Ard*Car BB	Car*GTA BB	Che*Lat BN
Ard*Che BN	Car*Sim BN	Car*Lat BN
Ard*Lat BB	Ard*Car BB	Lat*Che BN
Sim*Car BN	Sim*Ard BN	Ard*Car BB
Lat*Sim BB	Lat*Car BB	GTA*Sim BB
Lat*Ard BB	GTA BB	Ard*Sim BN

**Fig.16.** le dispositif expérimental

## 1.4. Itinéraire technique

### 1.4.1. Précédent cultural

La culture précédent notre essai est une culture de soja installé le 16 avril et récolté en fin juillet.

### 1.4.2. Travail du sol

La préparation de la parcelle s'est faite par un labour à l'aide d'une charrue à soc à une profondeur le 20 novembre 2008. Le travail superficiel n'a pu être réalisé que le 24 décembre 2007 avec un cultivateur à dents rotatif en raison des conditions climatiques.

### 1.4.3. Semis

Le semis a été réalisé le 25 janvier 2008 manuellement à une profondeur de 3 à 5 cm.

### 1.4.4. Fertilisation

#### 1.4.4.1. Fertilisation azotée

L'apport d'azote s'est fait en plusieurs fractions, le premier s'est réalisé au stade début tallage et le dernier au stade épiaison. La dose totale apportée est de 94,42 kg/ha. La date, les différentes doses et le mode d'apport d'azote sont présentés dans le tableau 37.

**Tableau 37** : Récapitulatif de la fertilisation azotée

Date de l'apport	Fertilisant utilisé et dose d'utilisation	Dose d'azote apporté (kg/ha)	Mode d'apport
25/01/2009	Urée (100 kg/ha)	46	Fumure de couverture
17/02/2009	Urée (100 kg/ha)	46	Fumure de couverture
	Safe N (2,53 l/ha)	0,708	Fumure de couverture
24/03/2009	Phosamco 6 sp. (2,53 kg/ha)	0,506	Fumure de couverture
	Safe N (2,53 l/ha)	0,708	Fumure de couverture
03/05/2009	Phosamco 6 sp. (2,53 kg/ha)	0,506	Fumure de couverture

#### 1.4.4.2. Fertilisation phosphorique

Le premier apport de phosphore a été fait avant la mise en place de l'essai comme fumure de fond et le dernier apport au remplissage du grain comme fumure de couverture. La dose totale apportée est de 96,72 kg/ha. La date, les différentes doses et le mode d'apport de phosphore sont consignés dans le tableau 38.

**Tableau 38** : Récapitulatif de la fertilisation phosphorique

Date de l'apport	Fertilisant utilisé et dose d'utilisation	Dose de phosphore apporté (kg/ha)	Mode d'apport
24/12/2009	TSP (200 kg/ha)	92	Fumure de fond
25/01/2009	Agriphos (2,53 l/ha)	1,08	Fumure de couverture
17/02/2009	Agriphos (2,53 l/ha)	1,08	Fumure de couverture
24/03/2009	Phosamco 6 sp. (2,53 kg/ha)	0,2	Fumure de couverture
	Agriphos (2,53 l/ha)	1,08	Fumure de couverture
03/05/2009	Phosamco 6 sp. (2,53 kg/ha)	0,2	Fumure de couverture
	Agriphos (2,53 l/ha)	1,08	Fumure de couverture

#### 1.4.4.3. Fertilisation potassique

La fertilisation potassique s'est réalisée au stade tallage. La dose totale apportée est de 1,12 kg/ha. La date, les différentes doses et le mode d'apport de potassium sont consignés dans le tableau 39.

**Tableau 39** : Récapitulatif de la fertilisation potassique

Date de l'apport	Fertilisant utilisé et dose d'utilisation	Dose de potassium apporté (kg/ha)	Mode d'apport
17/02/2009	Phosamco 6 sp. 2,53 kg/ha	0,354	Fumure de couverture
24/03/2009	Agripotash (2,53 l/ha)	0,843	Fumure de couverture
03/05/2009	Phosamco 6 sp. 2,53 kg/ha	0,354	Fumure de couverture
	Agripotash (2,53 l/ha)	0,843	Fumure de couverture

#### 1.4.4.4. Fertilisation en oligo-éléments

La date et les différentes doses d'apport d'oligo-éléments sont portées dans le tableau 40.

**Tableau 40** : Récapitulatif de la fertilisation en oligo-éléments.

Date de l'apport	Fertilisant utilisé et dose d'utilisation	Dose d'oligo-éléments apportés (kg/ha)
25/01/2009 17/02/2009	Agriphos 2,53 l/ha	Cuivre: 0,037 Fer: 0,012 Magnésium: 0,05 Zinc: 0,037
24/03/2009 03/05/2009	Phosamco 6 sp. 2,53 kg/ha	Cuivre: 0,0876 Fer: 0,0125 Magnésium: 0,106 Zinc: 0,040
	Agriphos 2,53 l/ha	Bore: 0,0010 Molybdène: 0,00015 Manganèse: 0,0065 Soufre: 0,126

#### 1.4.5. *Désherbage chimique*

Un désherbage chimique a été effectué sur la surface cultivée le 17-02-2009 à l'aide d'un dés herbant sélectif (Hussar of) à raison de 0,5 l/ha et à base de deux matières actives : *le Finaxoprop-P-Ethyle* et *l'Indosulfaron methyle sodium* efficace contre les dicotylédones, le ray-grass, la folle avoine et le Phalaris.

Le désherbage chimique a été complété par un désherbage manuel effectué à chaque fois qu'il y a apparition de mauvaises herbes.

#### 1.4.6. *Traitement phytosanitaire*

Différents traitements phytosanitaires ont été appliqués tout au long du cycle de notre culture comme moyen de lutte contre les maladies et les ravageurs. Le détail des applications des différents traitements est présenté dans le tableau 41 page 92.

**Tableau 41:** Récapitulatif des différents traitements phytosanitaires

Date d'application		Type de traitement	Maladies ou ravageurs visés	Matière active	Nom commercial et dose d'utilisation du produit
Traitements contre les maladies	29/03/2009 14/04/2009	Fongicide	Septoriose Oïdium Rouille jaune et brune Helminthosporiose Piétin verse Fusariose des épis	<i>Fluïlazole</i> <i>Carbendazine</i>	Punch'cs 1,01 l/ha
	03/05/2009	Fongicide	Helminthosporiose	<i>Propiconazol</i>	Tilt 3,15 l/ha
Traitements contre les ravageurs	25/12/2008 24/03/2009	Insecticide	Pucerons et fourmis	<i>Chloropyriphos</i> <i>Ethyle</i>	Psychlorex 48 EC 1,77 l/ha
	24/03/2008	Insecticide (antilimaces)	Limaces	<i>Métaldéhyde</i>	Métaldéhyde 15 kg/ha
	30/02/2008 10/03/2008 14/04/2008	Insecticide	Pucerons et fourmis		Chlormidia 1,77 l/ha

#### 1.4.7. Récolte

La récolte s'est faite manuellement le 08-06-2008. Les micro-parcelles de chaque génotype ont été récoltées séparément. Un prélèvement de 15 échantillons au niveau de chaque micro-parcelle a été effectué le jour de la récolte.

Le battage s'est effectué le 20-06-2008 où les épis de chaque génotype récolté étaient séparées en fonction de la couleur des barbes, les épis de chaque couleur pour chaque génotype étaient battus puis mis dans des sachets étiquetés.

## 1.5. Caractères mesurés

### 1.5.1. Caractères phénologiques

Deux caractères ont été déterminés, la précocité à l'épiaison et la précocité à la floraison.

- ***Précocité à l'épiaison***

Ce paramètre a été déterminé au niveau de chaque génotype par le calcul du nombre de jours entre le semis et le stade épiaison qui est atteint lorsque 50 % des tiges de chaque ligne ont leurs épis dégagés.

- ***Précocité à la floraison***

Elle a été déterminée au niveau de chaque génotype par le calcul du nombre de jours entre le semis et le stade floraison qui est atteint lorsque 50 % des épis de chaque épis-ligne ont leurs étamines dégagées.

### 1.5.2. Caractères agronomiques

#### a) Avant la récolte

Deux caractères ont été déterminés, le nombre de pieds et d'épis par mètre carré. Le dénombrement s'est fait pour chaque épis-ligne des différents génotypes.

- ***Nombre moyen de pieds par mètre carré***

La détermination de ce caractère s'est faite au stade trois feuilles en comptant le nombre de pieds sur la distance semée rapportée au mètre carré.

- ***Nombre moyen d'épis par mètre carré***

Le dénombrement se fait au moment où toutes les lignées ont atteint le stade épiaison par le comptage du nombre d'épis sur la distance semée rapporté au mètre carré.

#### b) Après la récolte

Les paramètres ont été mesurés sur 15 échantillons pour chacun des 44 génotypes.

- ***Nombre moyen de grains par épi***

Il a été déterminé par le comptage du nombre de grains se trouvant au niveau de chaque épi.

- **Nombre moyen d'épillets par épi**

Ce caractère a été déterminé en comptant le nombre total d'épillets se trouvant sur chaque épi.

- **Nombre moyen d'épillets stériles et fertiles par épi**

Il a été calculé au niveau de chaque épi par le comptage des épillets stériles.

- **Poids de mille grains**

Pour ce caractère, trois échantillons de mille grains pour chaque génotypes récolté ont été comptés à l'aide d'un compteur de grains puis pesé un à un à l'aide d'une balance de précision.

- **Rendement en grain estimé**

Pour calculer le rendement en grain estimé, la formule suivante a été utilisée :

$$RE (g/m^2) = \frac{NEM * NGE * PMG}{1000}$$

Avec :

**RE** : Rendement en grain estimé.

**NEM** : Nombre d'épis par m<sup>2</sup>.

**NGE** : Nombre de grains par épi.

**PMG** : Poids de mille grains.

- **Rendement en grain réel**

Les grains de chaque ligne récoltés ont été pesés puis rapporté à l'hectare.

- **Biomasse aérienne**

Après la récolte de chaque génotype, on a calculé son poids total (paille + épis) puis la valeur obtenue a été rapporté à l'hectare.

- **Indice de récolte (IR)**

Il a été déterminé par la formule suivante :

$$IR = \frac{\text{Rendement en grain}}{\text{Biomasse aérienne}}$$

### 1.5.3. Caractères morphologiques

#### a) Avant la récolte

Un caractère a été déterminé, c'est la couleur des barbes.

- *Couleur des barbes*

Des notations et un dénombrement des différentes couleurs de barbes présentes au niveau de chaque hybride ont été réalisés au stade début maturation.

#### b) Après la récolte

La détermination des caractères a été réalisée sur 15 échantillons pour chaque ligne des différents génotypes.

- *Hauteur de la tige*

Elle a été déterminée par la mesure de la distance de la base de la tige jusqu'à celle de l'épi.

- *Longueur de l'épi*

Nous avons mesuré cette longueur à partir de la base de l'épi jusqu'à son extrémité hormis les barbes.

- *Longueur du col de l'épi*

La mesure de la longueur s'est faite de la base du limbe de la dernière feuille jusqu'à la base de l'épi.

- *Longueur des barbes*

Elle a été déterminée par la mesure de la longueur de l'extrémité de l'épi jusqu'à celle des barbes.

## 2. Méthodes de traitement des données

### 2.1. Analyse statistique

Le traitement statistique des données est réalisé à l'aide du logiciel STATISTICA V.08 pour l'analyse de la variance. Le seuil de signification étant de  $\alpha = 0,05$  et le coefficient de variation résiduel a été calculé par la formule suivante :

$$CV_{\text{Résiduel}} = \frac{\text{Ecart type résiduel}}{\text{Moyenne}}$$

Une comparaison multiple des moyennes a été effectuée en utilisant la ppds pour la détermination des groupes homogènes. Les tests de corrélation entre deux variables ont été faits selon Pearson et les coefficients de régression ont été calculés. Pour la couleur des barbes, les données ont été présentées sous forme d'histogramme.

### 2.2. Analyse génétique

#### 2.2.1. Analyse diallèle de Griffing (1956)

Le modèle utilisé dans l'analyse diallèle Griffing est le modèle 1 où les effets variétés et blocs sont considérés comme des variables fixes. Le diallèle ne comprend que les hybrides  $F_2$  (méthode 4 de Griffing, 1956).

**Tableau 42 :** Analyse de la variance des aptitudes générale et spécifique à la combinaison (méthode 4 modèle fixe)

Sources de variation	ddl	SCE	CM	Espérances des CM Modèle fixe
AGC	p-1	Sg	Mg	$\sigma^2 + (p-2)\left(\frac{1}{p-1}\right)\sum_i g^2_i$
ASC	p(p-3)/2	Ss	Ms	$\sigma^2 + \left(\frac{2}{p(p-3)}\sum_{i<j}\sum S^2_{ij}\right)$
Erreur $\frac{\sigma^2 e}{b}$	m	Se	M'e	$\sigma^2$

$$Sg = \frac{1}{p-2} \sum Y^2_{i+} + \frac{4}{p(p-2)} Y^2_{++}$$

$$Ss = \sum_i \sum_{j<i} Y^2_{ij} + \frac{1}{2p} \sum_i Y^2_{i+} + \frac{2}{(p-1)(p-2)} Y^2_{++}$$

## Modèle fixe

Composante d'additivité

$$\left(\frac{1}{1-p}\right) \sum_i g^2_i = \frac{1}{6-1} \left(\frac{Mg-M'e}{p-2}\right) = \frac{1}{5} \left(\frac{Mg-M'e}{4}\right) = (A)$$

Composante de dominance

$$\left(\frac{2}{p(p-3)}\right) \sum_{i < j} \sum S^2_{ij} = \left(\frac{2}{6(6-3)}\right) Ms - M'e = \frac{1}{9} (Ms - M'e) = (B)$$

$$\left(\frac{2 AGC}{ASC}\right) = \frac{(2A)}{(B)}$$

### 2.2.2. Hétérosis

L'hétérosis par rapport au parent moyen (HM) est calculé comme suit :

HM = ((F<sub>1</sub> - P) / P) x 100 avec F<sub>1</sub> = Valeur de l'hybride.

P = Moyenne des 2 parents mis en jeu.

L'hétérosis par rapport au meilleur parent (HS) est estimé selon la formule suivante :

HS = ((F<sub>1</sub> - P<sub>s</sub>) / P<sub>s</sub>) x 100 avec : P<sub>s</sub> = Parent qui a la plus grande valeur.

L'hétérosis par rapport à la meilleure variété = Hétérosis économique ou Standard (HE)

HE = ((F<sub>1</sub> - P<sub>e</sub>) / P<sub>e</sub>) x 100 avec : P<sub>e</sub> = Variété qui a la plus grande valeur.

L'hétérosis global

HG = ((mF<sub>1</sub> - P<sub>g</sub>) / P<sub>g</sub>) x 100 avec P<sub>g</sub> = moyenne de toutes les variétés.

mF<sub>1</sub> = moyenne de toutes les F<sub>1</sub>.

Le tableau 43 comporte les numéros attribués aux génotypes dans les histogrammes et les tableaux des moyennes.

**Tableau 43 :** Liste des numéros attribués aux génotypes dans les histogrammes et les tableaux des moyennes.

Numéros attribués aux génotypes	Génotypes	Numéros attribués aux génotypes	Génotypes
1	Ardente BB	23	GTA dur BB
2	Ardente*Carioca BB	24	GTA dur*Ardente BB
3	Ardente*Chen's BN	25	GTA dur*Carioca BB
4	Ardente*Chen's BB	26	GTA dur*Chen's BB
5	Ardente*GTA dur BB	27	GTA dur*Chen's BN
6	Ardente*Latino BB	28	GTA dur*Latino BB
7	Ardente*Siméto BN	29	GTA dur*Siméto BB
8	Ardente*Siméto BB	30	GTA dur*Siméto BN
9	Carioca BB	31	Latino BB
10	Carioca*Ardente BB	32	Latino*Ardente BB
11	Carioca*chen's BB	33	Latino*Carioca BB
12	Carioca*Chen's BN	34	Latino*Chen's BB
13	Carioca*GTA dur BB	35	Latino*Chen's BN
14	Carioca*Latino BB	36	Latino*GTA dur BB
15	Carioca*Siméto BN	37	Latino*Siméto BN
16	Carioca*Siméto BB	38	38.Latino*Siméto BB
17	Chen's BN	39	Siméto BN
18	Chen's*Ardente BN	40	Siméto*Ardente BN
19	Chen's*Carioca BN	41	Siméto*Carioca BN
20	Chen's*GTA dur BN	42	Siméto*Chen's BN
21	Chen's*Latino BN	43	Siméto*GTA dur BN
22	Chen's*Siméto BN	44	Siméto*Latino BN

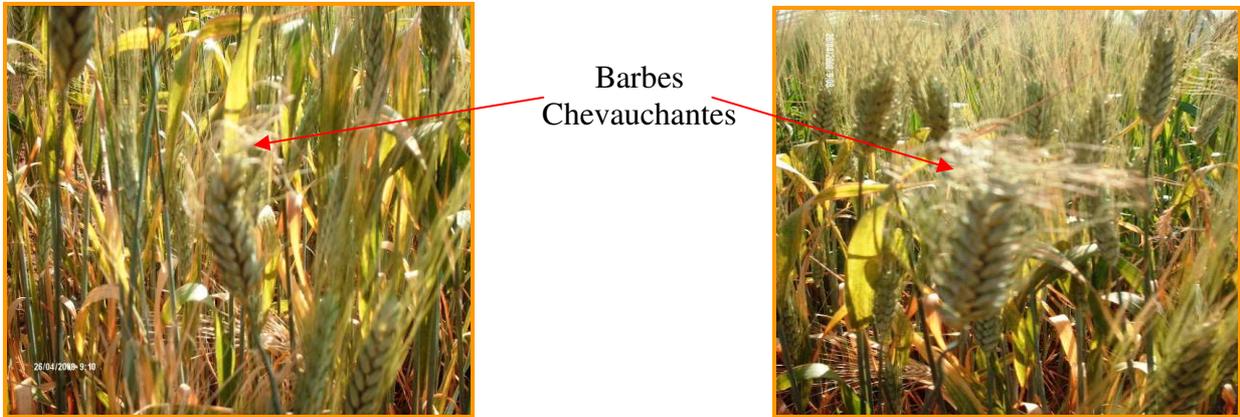
*BB : Barbes blanches*

*BN : Barbes noires*



## Résultats et discussions

Les conditions climatiques qui ont caractérisé notre campagne d'études marquées par un taux élevé d'humidité ont favorisé le développement de certaines maladies fongiques telles que l'helminthosporiose en grande masse, la fusariose et la rouille brune. Des symptômes d'une maladie bactérienne non identifiée ont été observés au niveau de certains génotypes *Ardente x Saadi L2* (figure 17)



**Fig.17.**Symptômes d'une maladie bactérienne sur les barbes



**Fig.18.**Symptômes de la jaunisse nanisante de l'orge sur blé dur



**Fig.19.**Symptôme de la fusariose des épis provoqué par *Fusarium roesum*



**Fig.20.**Symptôme de la *Septoriose*

Les conditions climatiques ont favorisé également l'émergence de certaines populations de pucerons avec comme espèce prédominante le *Sitobion avenae* vecteur de la transmission du virus de la jaunisse nanisante de l'orge (figure 18, page 99).

Les mauvaises herbes ont connu aussi un développement intensif favorisé surtout par les pluies printanières. Les principales espèces identifiées sont : le liseron des champs (*Convolvulus arvensis*), le ray gras (*Lolium multiflorum*) et le mouron des champs (*Anagallis arvensis*).

## **1. Etude des différents caractères agronomiques, morphologiques et phénologiques**

### **1.1. Caractères agronomiques**

L'analyse de la variance a montré une différence entre génotypes très hautement significative pour le nombre d'épis/m<sup>2</sup>, le nombre total d'épillets, le nombre d'épillets fertiles, la biomasse et le poids de mille grains avec des coefficients de variation allant de 7,45 à (nombre total d'épillets) à 15,99 % (poids de mille grains), la biomasse présente un coefficient de variation très élevé (24,38 %). Tandis que les caractères rendement en grain (réel et estimé), indice de récolte, nombre de grains/épi et nombre d'épillets stériles ont montré une différence entre génotypes non significative. Les coefficients de variation sont élevés à très élevés pour ces caractères allant de 18,05 % (rendement en grain réel) à 79,47 % (nombre d'épillets stériles par épi), seul le nombre de grains/épi possède un coefficient de variation peu élevé (13,66 %).

#### **1.1.1. Nombre moyen de pieds par mètre carré**

Les résultats d'analyse de la variance ont révélé un effet hautement significatif pour ce caractère. La comparaison des moyennes par le test de Fisher (ppds) montre la présence de quinze groupes homogènes dont treize sont chevauchants (tableau 53, annexe V, p 26 et tableau 71. Annexe VI, p 30). Le nombre moyen de pieds par m<sup>2</sup> le plus élevé est obtenu par le croisement Ardente\*Latino (BB) avec 320,6 pieds par m<sup>2</sup>. Alors que la plus faible valeur est observée chez l'hybride Latino\*Siméto (BN) avec 243 pieds par m<sup>2</sup> soit une différence de 77 pieds par m<sup>2</sup> (figure 21, p 103).

En comparant les hybrides F<sub>2</sub> et leurs parents, les deux lignées Latino\*GTA dur BB et Ardente\*Latino BB présentent un nombre de pieds par m<sup>2</sup> supérieur aux deux parents, le génotype Chen's\*Carioca BN présente un nombre de pieds par m<sup>2</sup> supérieur à un parent (Chen's) et égal à l'autre parent (Carioca). Quatre lignées sont inférieures aux deux parents et sept lignées sont égales à un parent et inférieures à l'autre. Les autres croisements sont égaux aux deux parents.

**Boisgontier (1985)** note que le nombre de plants à la sortie de l'hiver est inférieur au nombre de grains semés, ces pertes peuvent provenir selon **Gate (1995)** de la semence (faculté germinative), du sol (sol plus ou moins caillouteux), de son état structural (les battances), ainsi que des conditions climatiques postérieures au semis, et que l'essentiel de la disparition des pieds a lieu pendant la phase germination-levée et au cours de l'hiver.

### 1.1.2. Nombre moyen d'épis par mètre carré

La comparaison des moyennes par le test de Fisher (ppds) a révélé la présence de vingt quatre groupes homogènes dont vingt deux sont chevauchants (tableau 54, annexe V, p 26 et tableau 72, Annexe VI, p 31). Le nombre moyen d'épis par m<sup>2</sup> le plus élevé est obtenu par le croisement Carioca\*Chen's avec 518,33 épis par m<sup>2</sup>. Alors que la plus faible valeur est observée chez l'hybride Latino\*Siméto (BB) avec 278 épis par m<sup>2</sup>, soit une différence de 240 épis par m<sup>2</sup> (figure 22, p 104).

En comparant les hybrides F<sub>2</sub> et leurs parents, quatre lignées présentent un nombre d'épis par m<sup>2</sup> supérieur aux deux parents, douze lignées sont supérieures à l'un des parent et égales à l'autre, dix croisements sont égaux aux deux parents, deux croisements sont inférieurs aux deux parents et dix croisements sont inférieurs à l'un des parents et égaux au deuxième parent. Au niveau de la F<sub>1</sub>, **Chetmi (2009)** a observé trois hybrides sont supérieurs aux deux parents, neuf autres intermédiaires entre les deux parents, les 18 combinaisons restantes ont montré un nombre inférieur aux deux parents.

Le nombre d'épis dépend de la densité de semis et du milieu.

Le nombre d'épis par mètre carré est la composante du rendement la plus étroitement liée au rendement (**Bouzerzour et al., 2000**). Selon **Bouzerzour et Monneveux (1993)**, le nombre d'épis par m<sup>2</sup> varie plus en fonction des années et des lieux qu'en fonction des variétés pour une même année.

Selon **Benbelkacem et Kellou (2000)**, l'apparition d'un déficit hydrique au début de la montaison peut réduire de 15 à 25% d'environ le nombre d'épis, ce qui peut être compensé par des composantes ultérieures. Cette compensation dépend du parcours d'élaboration du rendement et des processus physiologiques liés au génotype : durée de vie des feuilles, poids relatif de l'épi et taux de mobilisation des assimilats. Le nombre d'épis est sous la dépendance du tallage herbacé. La capacité du tallage permet à la plante de s'ajuster à un environnement variable pour assurer un minimum de production.

La composante la plus étroitement liée au rendement en grain en cas de déficit hydrique est le tallage épi (**Bouzerzour et Oudina, 1989**). **Grignac (1981)** affirme qu'en condition de déficit hydrique, le nombre d'épis au mètre carré ne doit pas atteindre des valeurs très élevées. A partir de 550 épis chez le blé tendre et 480 épis chez le blé dur, les rendements ont tendance à diminuer.

Selon **Mekliche (1976)**, à partir du stade montaison le blé est dans sa phase de sensibilité à la sécheresse, l'alimentation en eau ne doit pas être limitante afin de ne pas affecter la formation des talles épis potentielles.

**Grignac (1981)** recommande un nombre d'épis par mètre carré qui oscille entre 350 et 460 épis par mètre carré en zone méditerranéenne. Mais dans des situations où il n'y a pas de déficit hydrique, l'optimum des épis par mètre carré est de 600 (Couvreur, 1981).

### 1.1.3. Nombre moyen de grains par épi

Les génotypes Latino\*Chen's BB et Chen's\*Carioca BN ont enregistré le meilleur nombre de grains par épi au niveau de la F2 avec respectivement 52,98 et 51,40 grains par épi. Le nombre de grains par épi le plus faible a été enregistré au niveau des génotypes Siméto\*Ardente BN et Ardente\*Siméto BN avec respectivement 35,54 et 37,77 grains par épi.

Le nombre de grains par épi est un caractère étroitement lié au rendement en grain, sous différents lieux et pour différents génotypes (**Fischer, 1978**). Il est à signaler que ce caractère est mis en place au moment de l'induction florale, dès la fin du tallage et se produit au cours de la montaison.

Pour la première génération (**Chetmi, 2009**), Siméto\*Latino, Siméto\*Carioca, Siméto\*GTA dur ont enregistré le meilleur nombre de grains par épi avec respectivement 61 ; 60,67 et 60,56 grain par épi, tandis que la variété Ardente a donné le plus faible nombre soit 40,78 grains par épi. Tous les croisements ont réalisé une vigueur hybride significative par rapport aux parents à l'exception de trois hybrides F<sub>1</sub> Chen's\*Siméto, Chen's\*Carioca et Chen's\*Latino qui sont intermédiaires entre les deux parents.

Le nombre de grains par épi est sensible aux conditions climatiques de la période de fin tallage à la montaison car toute déficience en assimilats se traduit par l'augmentation du taux d'avortement des épillets (**Benbelkacem et Kellou, 2000**). Ce paramètre influe sur la capacité du puit et en situation de déficit hydrique il est un bon indicateur de la tolérance à la sécheresse (**Triboi, 1987**).

Selon **Mosseddaq et Moughli (1999)**, le nombre de grains par épi est déterminé par le nombre d'épillets potentiels et la fertilité de l'épi. **Jonard (1964)** note que la variation du nombre de grains par épi est due aux conditions d'alimentation minérale, surtout la fertilisation en potassium. Les valeurs optimales de grains par épi permettant l'obtention des rendements les plus élevés, en zones méditerranéenne et en absence de déficit hydrique, oscillent entre 38 et 51 grains par épi (**Grignac, 1981**). Ce même auteur ajoute que le déficit hydrique s'oppose à l'élaboration du nombre de grains par épi car il affecte la fertilité de l'épi. En effet, d'après **Jouve (1984)** et **Gate et al., (1992)**, les principales conséquences de la sécheresse survenant durant la période de fin montaison-début épiaison, sont la réduction du nombre d'épis par unité de surface et du nombre de grains par épi.

Selon **Taureau (1987)** et **Gate (1995)**, une carence en azote aux alentours de la fécondation réduit le nombre de grains par épi, en augmentant le nombre de fleurs avortés.

**Bouzerzour et Benmahamed (1995)** constatent que le nombre de grains par épi varie en fonction des variétés et des dates de semis.

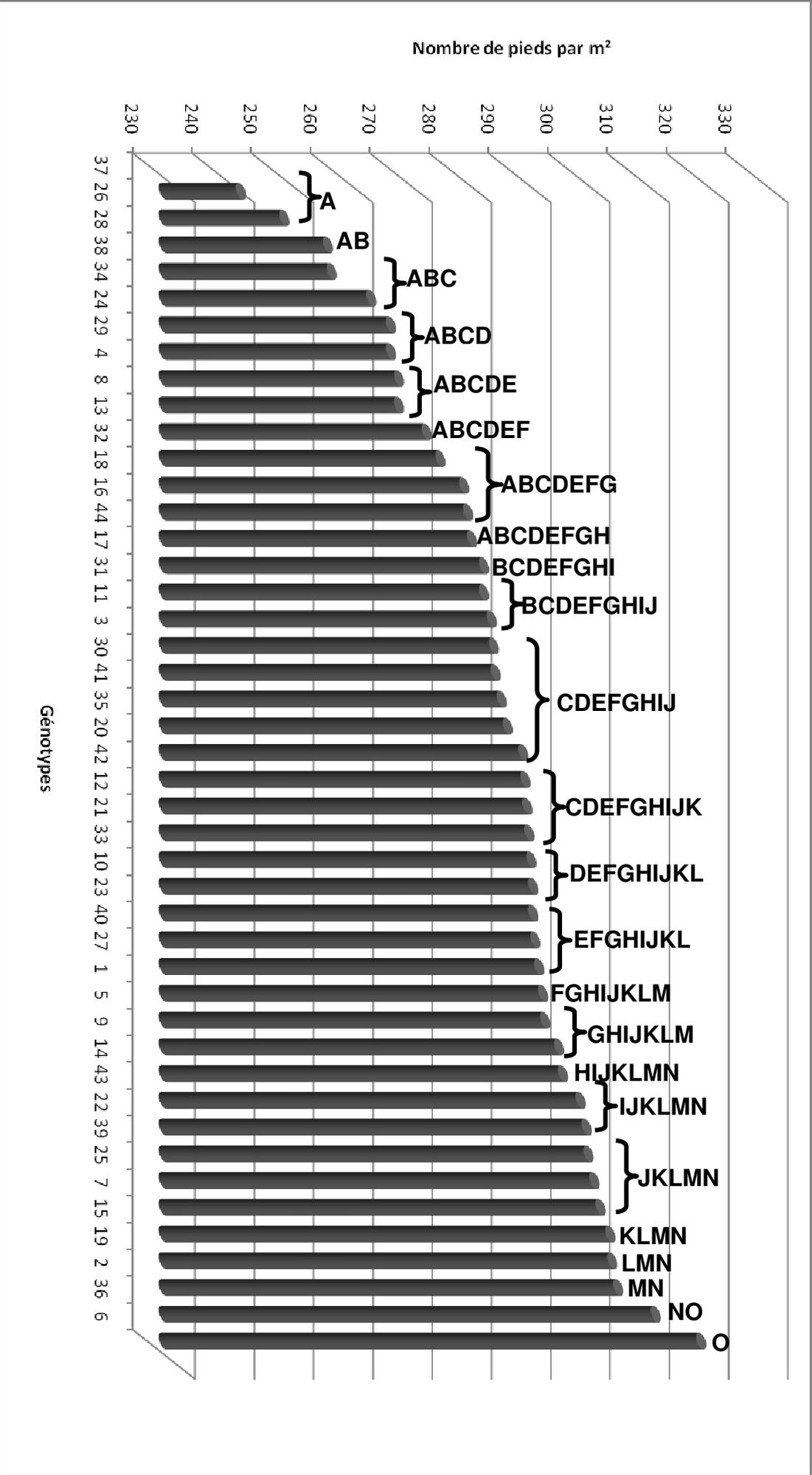
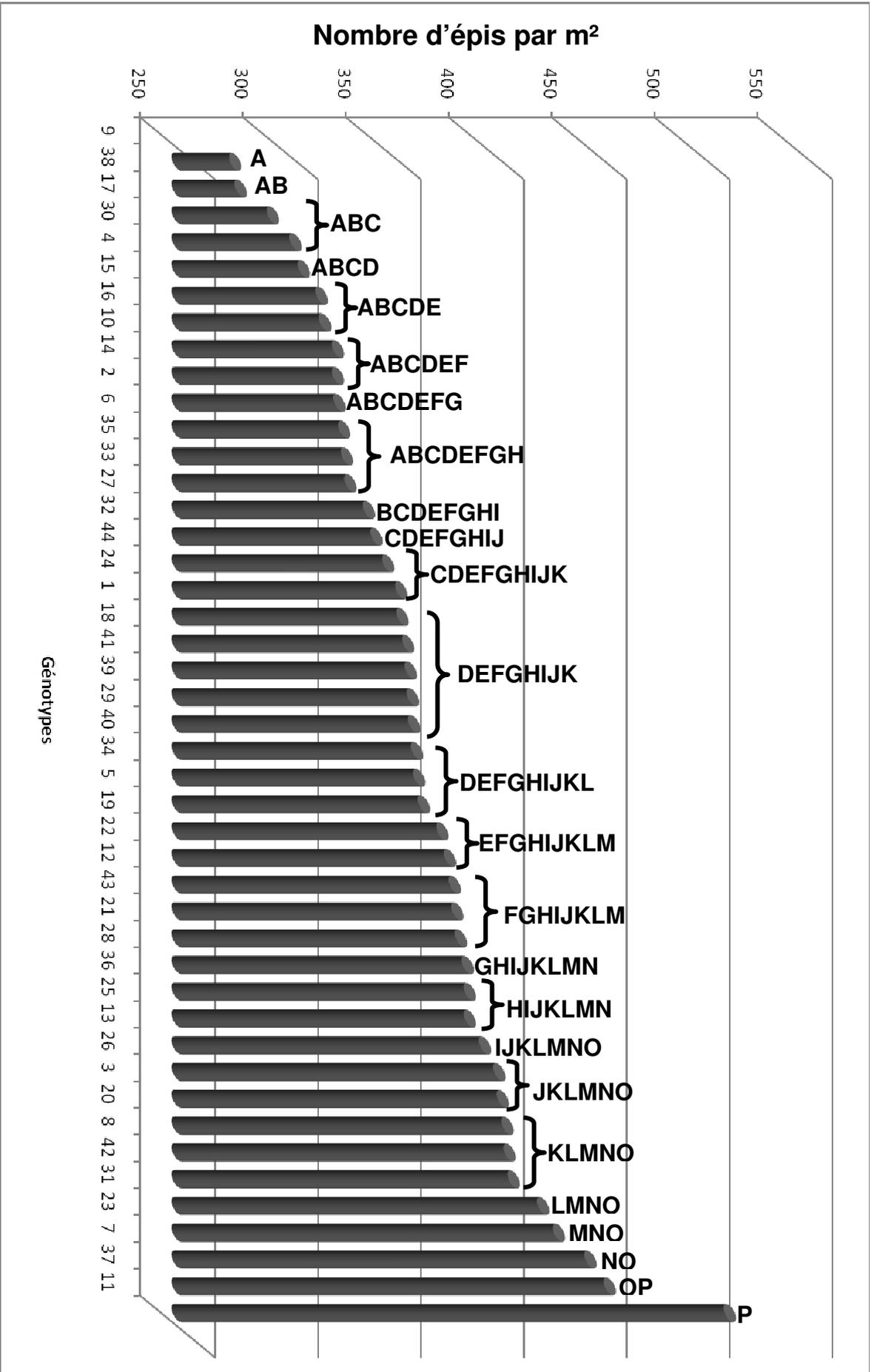


Fig.21. Nombre de pieds par m<sup>2</sup>



**Fig.22.** Nombre d'épis par m<sup>2</sup>

#### 1.1.4. Nombre total d'épillets

La comparaison des moyennes par le test de Fisher (ppds) a révélé la présence de six groupes homogènes dont trois sont chevauchants tableau 59, annexe V, p 27 et tableau 77, Annexe VI, p 36. La moyenne générale pour ce caractère est de 17,46, le nombre le plus élevé a été obtenu par le croisement Carioca\*Chen's (BB) soit 21,16 épillets par épi. Tandis que le nombre le plus faible a été enregistré chez les croisements Carioca\*Chen's (BN) et Ardente\*Carioca (BB) avec respectivement 16,2 et 16,1 épillets par épi (figure 23, p 108).

La comparaison des  $F_2$  avec leurs parents montre que tous les croisements  $F_2$  sont égaux à leurs deux parents

Pour la première génération (**Chetmi, 2009**), la moyenne générale pour ce caractère est de 20,97, le nombre le plus élevé est obtenu par le croisement Carioca\*GTA dur soit 23,67 épillets par épi. Tandis que le nombre le plus faible est enregistré chez le croisement Siméto\*Chen's avec 18,67 épillets par épi. Sept hybrides sur 30 ont un nombre total d'épillets supérieur aux deux parents, tandis que vingt-trois sont intermédiaires entre les deux parents.

Selon **Gate (1995)**, le nombre potentiel d'épillets totaux est déterminé essentiellement par des facteurs climatiques (température et durée du jour), un stress thermique supérieur à 30°C induit surtout la stérilité femelle.

**Hasle et Weir (1974), cité par Belaid (1986)** constatent que le nombre total d'épillets par épi est surtout fonction de la somme des températures entre le stade début tallage et la montaison, et de la durée du jour (photopériode). Plus le tallage sera long, plus l'épi sera long avec un nombre d'épillets élevé (**Couvreur et Masse, 1983 ; Kayyal, 1973**).

**Gate (1995)** rajoute que la nutrition azotée a peu d'effet sur l'élaboration du nombre total d'épillets dont le déterminisme est avant tout climatique.

#### 1.1.5. Nombre d'épillets fertiles par épi

La comparaison des moyennes par le test de Fisher (ppds) (tableau 60, annexe V, p 27 et tableau 78, Annexe VI, p 37). a révélé la présence de onze groupes homogènes dont neuf sont chevauchants. (figure 24, p 109). Seul Carioca x Chen's (BB) a obtenu un nombre d'épillets fertiles (20,9) supérieur à Chen's x Carioca BN (16,23), Chen's x Siméto BN (16,23), Latino x GTA dur BB (16,16) Carioca x Chen's BN (15,66) et Ardente x Carioca BB (15,53).

La comparaison des  $F_2$  avec leurs parents montre que le génotype Carioca\*Chen's BB présente un nombre d'épillets total par épi supérieur aux deux parents, le génotype Latino\*Siméto BN est supérieur à un parent (Siméto) et égal à l'autre (Latino), le génotype Carioca\*Chen's BN est inférieur à un parent (Carioca) et égal à l'autre (Chen's), le génotype Ardente\*Carioca BB est inférieur aux deux parents et les autres génotypes sont égaux aux deux parents.

Pour la première génération (**Chetmi, 2009**), l'hybride Latino\*Chen's a donné la valeur la plus élevée, soit 20,78, tandis que le nombre le plus faible a été obtenu par les hybrides GTA

dur\*Latino et Siméto\*Carioca avec respectivement 17,89 et 17,93 épillets fertiles par épi. Vingt-deux hybrides ont réalisé un nombre d'épillets fertiles par épi intermédiaire entre les deux parents et huit combinaisons ont montré un nombre inférieur aux deux parents (tableau 3 annexe 3).

Selon **Baldy (1973)**, un déficit hydrique apparaissant dix jours avant la floraison présente un effet sur le rendement maximal qui se traduit surtout par une réduction de la fertilité des épillets.

#### 1.1.6. Nombre d'épillets stériles par épi

Le nombre d'épillets stériles varie de 0,8 (Latino\*Carioca BB) à 0,03 (Ardente\*Chen's BN), la moyenne est de 0,34.

Pour la première génération (**Chetmi, 2009**), le nombre d'épillets stériles varie de 3,22 (Siméto/ Ardente) à 0 (Siméto), la moyenne est de 1,42. Neuf hybrides qui surclassent leurs deux parents sont enregistrés. Les intermédiaires sont au nombre de 21.

La stérilité des épillets est sous le contrôle de l'alimentation en eau de la plante, de la photopériode et de la température (**Anonyme, 1977 in Ait Kaki, 1993**).

Un manque d'eau et d'éléments nutritif (**Erroux, 1974**) et en particulier une carence en azote en début de montaison (**Gate, 1995**) peut provoquer l'avortement des épillets de la base et du sommet de l'épi.

**Khaldoun (1990) in Harmez (1996)** affirme qu'un déficit hydrique pendant la phase précoce de développement entraîne une réduction des primordias d'épillets, par contre un déficit hydrique plus tardif augmente la mort des fleurs et des épillets entiers.

#### 1.1.7. Poids de mille grains

La comparaison des moyennes par le test de Fisher (ppds) (tableau 67, annexe V, p 28 et tableau 85 Annexe VI, p 44) a révélé la présence de sept groupes homogènes dont cinq sont chevauchants (figure 25, p 103).

Parmi les trente-huit combinaisons  $F_2$ , on relève que seul le génotype Carioca\*GTA dur BB présente un poids de mille grains supérieur à celui de Carioca et égal à celui de GTA dur. Les autres génotypes sont égaux aux deux parents.

Le poids de mille grains est généralement peu maîtrisable, car il est fortement lié aux effets de l'environnement au moment de la formation et du remplissage du grain. Un manque d'eau après floraison combiné aux températures élevées (conditions fréquentes chez nous) entraîne une diminution du PMG par altération de la vitesse et / ou de la durée du remplissage ce qui se traduit par l'échaudage des grains (**Benbelkacem et Kellou, 2000**).

L'hybride Ardente\*Siméto (BN) a enregistré le poids de mille grains le plus élevé avec 71,4 g alors que l'hybride GTA dur\*Chen's a donné la valeur la plus faible avec 47,04 g. La variété Carioca a enregistré la valeur la plus faible de l'essai qui est de 45,15 g (figure 74, p 183).

Pour la première génération (**Chetmi, 2009**), le croisement Siméto\*Latino a enregistré le poids de mille grains le plus élevé avec 58,75 g alors que Ardente\*Latino et Latino\*Ardente ont donné les valeurs les plus faibles avec respectivement 42,69 g et 42,17 g. Parmi les trente croisements F<sub>1</sub>, 15 ont donné un poids de mille grains inférieur aux deux parents, tandis que 15 autres ont donné des valeurs intermédiaires entre les deux parents.

Selon **Couvreur (1981)**, le poids de mille grains n'est pas indépendant du nombre de grains formés, et quel que soit le type de variété, plus les grains sont nombreux, plus ils sont petits.

Selon **Grignac (1981)**, le poids de mille grains diminue considérablement sous l'effet des fortes températures et d'un déficit hydrique au moment du remplissage du grain. Il ajoute que le poids de mille grains optimal qui permet d'obtenir des rendements plus élevés devrait être supérieur à 48g. Ce caractère dépend aussi de la continuité de la nutrition azotée jusqu'à la maturation (**Soltner, 2005**). Le poids de mille grains est sous l'effet des composantes suivantes : matière fraîche, matière sèche, eau et matière protéique qui diminuent sous l'effet de l'élévation de la température (**Rousset, 1978**).

D'après **Jonard (1951) in Bendjama (1977)**, le poids de 1000 grains est peu influencé par les densités de semis.

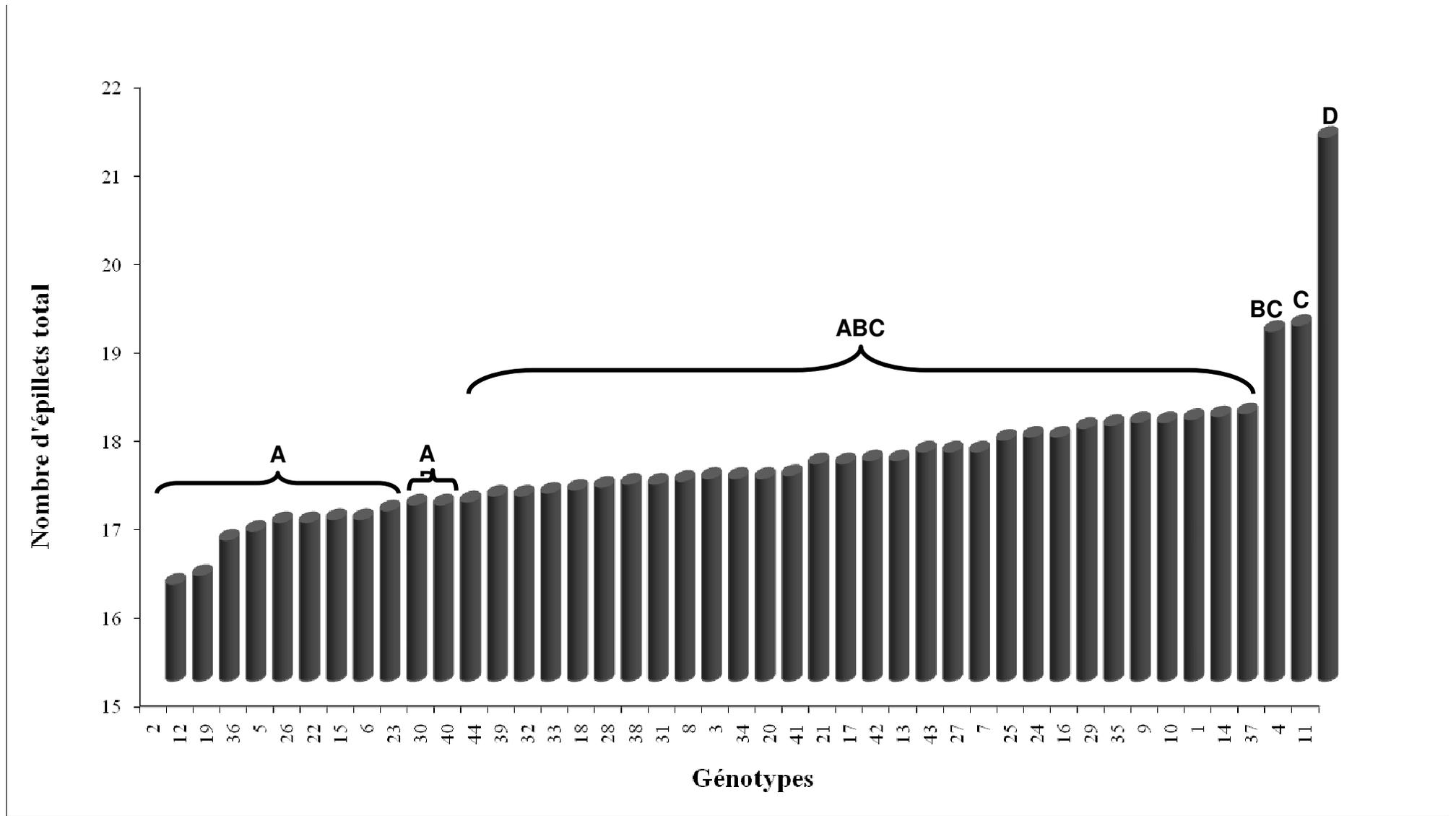


Fig.23. Nombre total d'épillets par épi

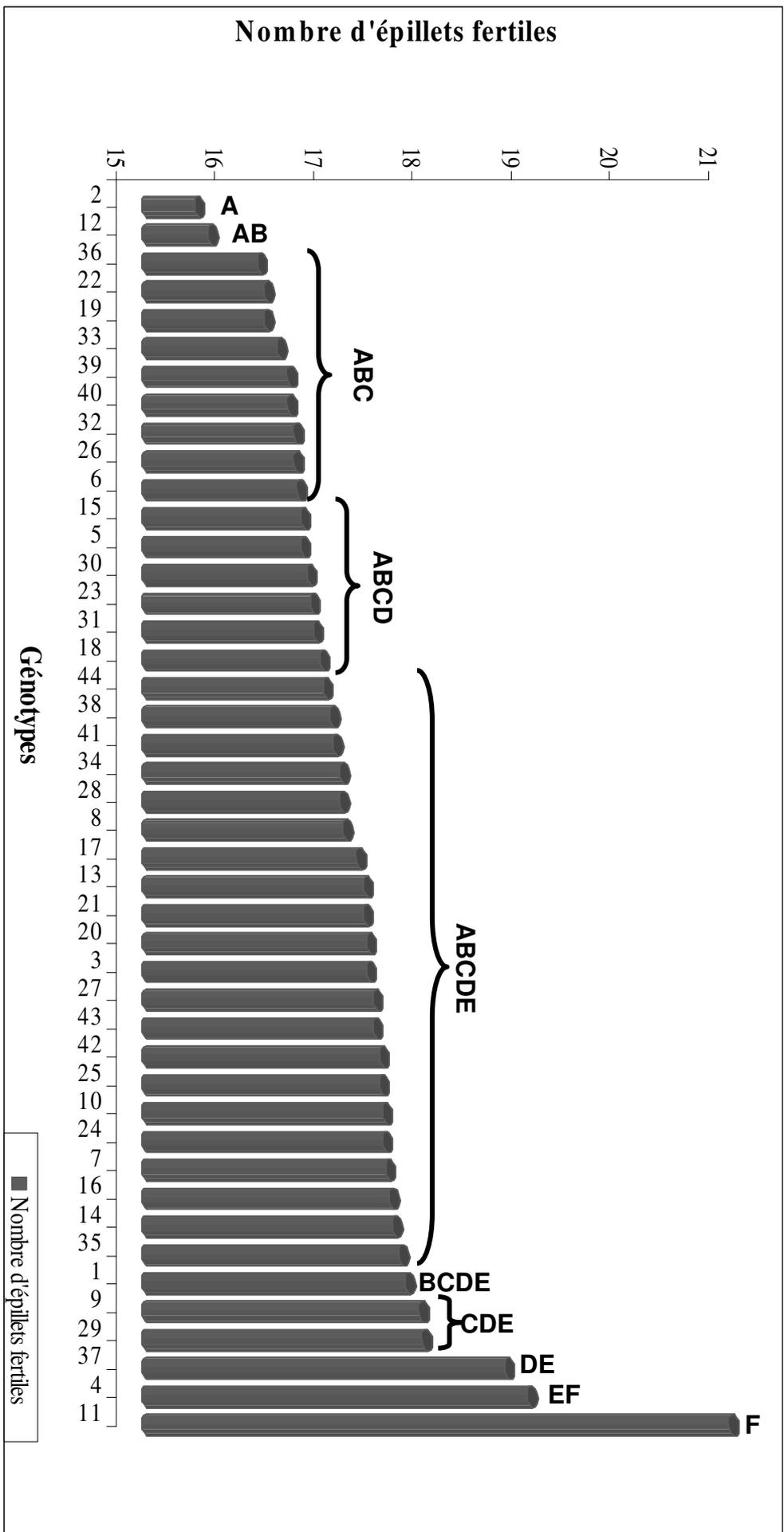


Fig.24. Nombre d'épillets fertiles et stériles

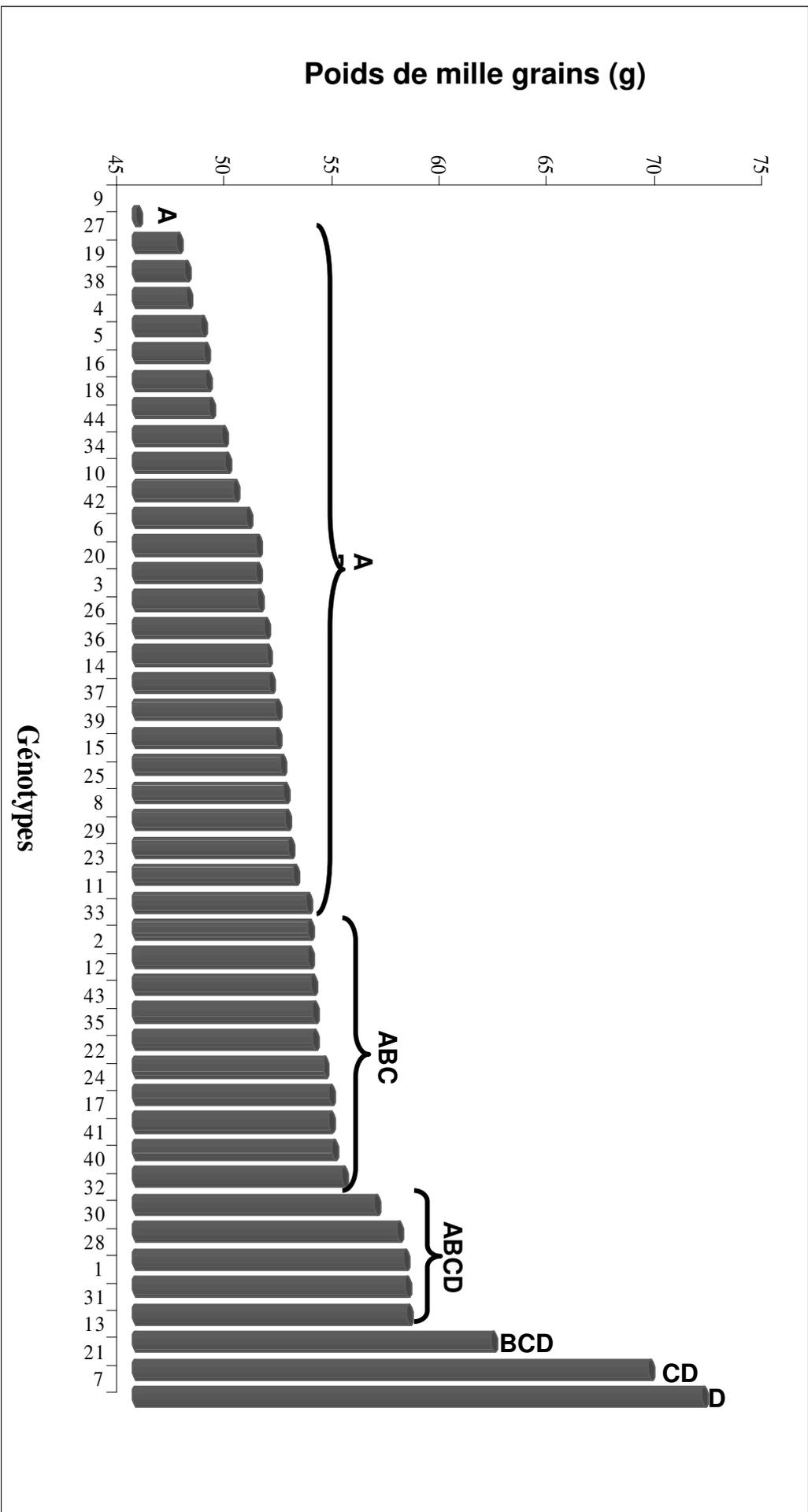


Fig.25. Poids de mille grains.

### 1.1.8. Poids de la biomasse aérienne

La comparaison des moyennes par le test de Fisher (ppds) (tableau 66, annexe V, p 28 et tableau 84 Annexe VI, p 43) a révélé la présence de quatre groupes homogènes dont deux sont chevauchants (figure 26, p 114). Le poids de la biomasse aérienne le plus élevé a été noté chez Carioca\*Chen's avec 190,83 q/ha, alors que le poids le plus faible a été observé chez les hybrides Siméto\*Carioca (BN) et Ardente\*GTA (BB) dur avec une moyenne respectivement de 97,86 et 97,85 q/ha.

Parmi les trente-huit combinaisons  $F_2$ , on relève que seul l'hybride Carioca\*Chen's BB présente un poids de la biomasse aérienne supérieur à celui des deux parents. Les autres croisements sont égaux aux deux parents.

Pour la première génération (**Chetmi, 2009**), le poids de la biomasse aérienne le plus élevé est noté chez Chen's\*Latino avec 212,35 q/ha, alors que le poids le plus faible est observé chez le croisement Chen's\*Siméto avec une moyenne de 58,64 q/ha. Une comparaison entre les croisements  $F_1$  et le meilleur parent montre que seuls quatre hybrides : Carioca\*Ardente, Carioca\*Chen's, Latino\*Chen's et Chen's\*Latino ont surpassé ce dernier. Cinq hybrides ont un poids de la biomasse intermédiaire entre les deux parents. Le reste des hybrides est inférieur aux deux parents.

**Mosseddaq et Moughli (1999)** affirment que les quantités d'azotes apportées et la date d'application affectent très fortement la production de la biomasse, les apports au début du cycle se traduisent par une grande production de biomasse.

Selon **Austin et al. (1980) in Mekliche et Sehabi (2001)**, la capacité d'un génotype à produire une forte biomasse est indicatrice d'une meilleure adaptation au milieu de production.

Certains auteurs tels que **Bouzerzour et Oudina (1989)**, **Bouzerzour et al. (1996)**, **Bouzerzour (1998)**, **Bouzerzour et al., (2000)** et **Mekhlouf et Bouzerzour (2000)** affirment qu'il faut assurer une production de biomasse aérienne suffisante pour garantir un rendement en grain considérable grâce à une redistribution optimale des sources.

**Scharma et Smith (1986)** notent que la biomasse aérienne et l'indice de récolte sont tous deux sous un contrôle génétique du type additif.

### 1.1.9. Indice de récolte

Carioca\*GTA dur (BB) s'est distingué par un indice de récolte élevé égal à 0,55. La plus faible valeur est donnée par Carioca\*Chen's (BB) avec 0,26.

Pour la première génération (**Chetmi, 2009**), GTA dur\*Latino s'est distingué par un indice de récolte élevé égal à 0,75. La plus faible valeur est donnée par Chen's\*Latino avec 0,26. Les croisements dépassant le meilleur parent sont au nombre de 11, il s'agit de Siméto\*Latino, Carioca\*GTA dur, Carioca\*Ardente, Latino\*Siméto, Latino\*Carioca, Latino\*Ardente, GTA dur\*Siméto, GTA dur\*Carioca, GTA dur\*Latino, Ardente\*Siméto et Ardente\*GTA dur. Les intermédiaires sont au nombre de 16. Trois combinaisons restantes présentent un indice de récolte inférieur aux deux parents.

Selon **Bouzerzour et Djekoune (1996)**, l'indice de récolte indique le degré de reconversion d'une partie de la biomasse aérienne produite en grain. Un indice de récolte faible s'explique par le fait que les génotypes ont produit plus de paille que de grains. En effet, un indice de récolte élevé contribue favorablement à l'accroissement du rendement (**Monneveux, 1991**).

**Steduto et al., (1986) in Benbelkacem et Kellou (2000)**, ont indiqué que la valeur de l'indice de récolte en dessous de laquelle on ne peut descendre sous l'effet d'une contrainte hydrique peut être fixée à 17%.

### 1.1.10. Rendement en grain estimé

La valeur la plus élevée pour ce caractère est obtenue par le croisement Carioca\*Chen's (BB) avec une moyenne de 142,84 suivi par le croisement Latino\*Siméto (BN) avec 129,15 q/ha, alors que la plus faible valeur a été donné par le croisement Latino\*Siméto (BB) avec 67,56 q/ha. La variété Carioca a enregistré le rendement le plus faible avec 66,71 q/ha.

Pour la première génération (**Chetmi, 2009**), la valeur la plus élevée pour ce caractère est obtenue par le croisement Carioca\*Chen's avec une moyenne de 10,99 q/ha, suivi par le croisement Latino/ Siméto avec une moyenne de 10,44 q/ha, alors que la plus faible valeur caractérise le croisement GTA dur\*Chen's avec 2,36 q/ha. Six génotypes surclassent leurs deux parents, douze autres combinaisons ont donné un rendement estimé intermédiaire entre les deux parents, les douze combinaisons restantes ont donné un rendement estimé inférieur aux deux parents.

Selon **Benbelkacem et Kellou (2000)**, le rendement en grain estimé ne peut pas nous renseigner sur les mécanismes mis en œuvre pour son obtention. Il faut pour cela analyser le comportement des différentes composantes qui le forment et les relations possibles pouvant exister entre ces composantes et le rendement en grain.

### 1.1.11. Rendement en grain réel

Le meilleur rendement en grain a été obtenu par Ardente\*Chen's BN (57,09 q/ha). Le plus faible rendement en grain est donné par Latino\*Carioca BB (37,53 q/ha).

Pour la première génération (**Chetmi, 2009**), le meilleur rendement en grain a été obtenu par GTA dur\*Chen's (13,65 q/ha). Le plus faible rendement en grain est donné par Siméto\*Latino (0,97 q/ha). 16 combinaisons sur les trente ont donné un rendement réel intermédiaire entre les deux parents. Les 14 restantes ont enregistré un rendement en grain réel inférieur aux deux parents.

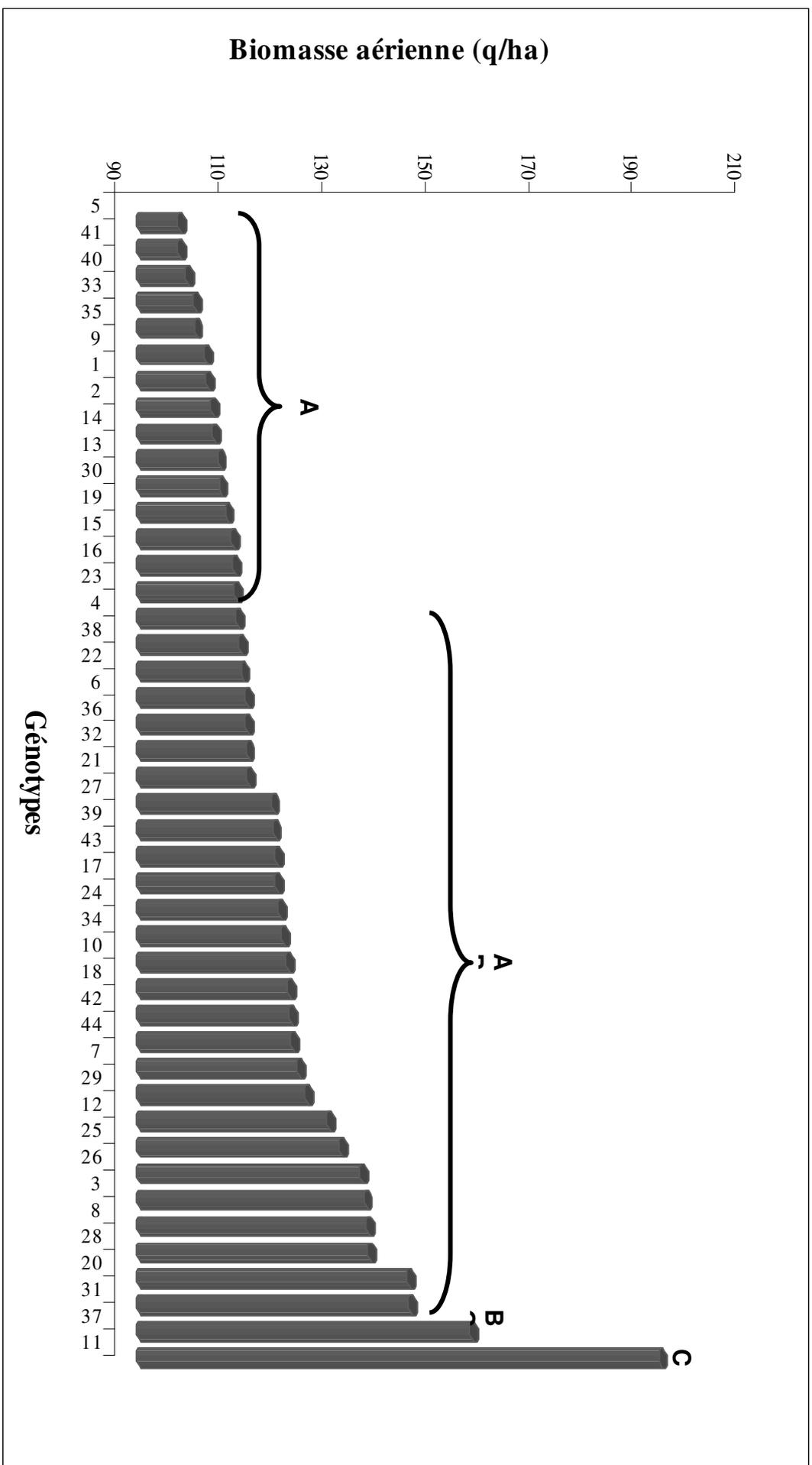
Il faut rappeler que le rendement en grain chez le blé, s'élabore en plusieurs étapes (**Meynard et Sebillote, 1994 in Hamadache et Abdellaoui, 2000**). Sous les conditions méditerranéennes, les deux composantes les plus déterminante dans la formation du rendement en grain chez cette espèce sont le nombre de grains par épi et le poids de mille grains (**Grignac, 1981**).

**Jouve et Daoudi (1984)** montre que le rendement en grain est très sensible à des déficits hydriques intervenant durant la phase de formation des épis et des grains (Fin montaison-début épiaison) ou durant la période d'accumulation des réserves dans le grain.

**Gate et al. (1990)** affirment que les causes de variation du rendement peuvent être de deux types : le génotype et la période d'apparition du déficit hydrique.

**Mekhlouf (1998)** trouve qu'en zone semi-aride d'altitude, le rendement en grain est fortement corrélé avec la biomasse aérienne, le nombre d'épis et le nombre de grains par épi.

La variation du rendement sous l'effet du milieu peut s'expliquer en grande partie par le fait que la compensation entre différentes composantes n'est pas totale (**Triboi, 1987**).



**Fig.26.** La biomasse aérienne (q/ha)

## 1.2. Caractères phénologiques

L'analyse de la variance pour ces caractères a montré un effet très hautement significatif pour le nombre de jours nécessaire à l'épiaison, un effet hautement significatif pour le nombre de jours nécessaire à la floraison et un effet génotypique significatif pour le nombre de jours entre l'épiaison et la floraison. Les coefficients de variation de l'erreur varient de 1,51 % (précocité à l'épiaison) à 22,31 % (nombre de jours épiaison-floraison).

### 1.2.1. Date d'épiaison

La comparaison des moyennes par le test de Fisher (ppds) (tableau 63, annexe V, p 28 et tableau 81, Annexe VI, p 40) a révélé la présence de onze groupes homogènes dont neuf sont chevauchants (figure 27, p 118). Le génotype le plus précoce à l'épiaison est GTA dur\*Carioca (BB) avec 94,33 jours suivi par Siméto\*GTA dur (BN) et la variété Chen's avec 94,66 jours et le plus tardif est GTA dur\*Carioca avec 100 jours.

Parmi les trente-huit combinaisons  $F_2$ , on relève que seul le génotype Ardente\*Chen's BB est plus tardif que Chen's et égal à Ardente et les autres génotypes sont égaux aux deux parents.

Pour la première génération (**Chetmi, 2009**), le génotype le plus précoce à l'épiaison est GTA dur\*Ardente avec 80,89 jours et le plus tardif est Carioca\*Siméto avec 106 jours. Parmi les trente combinaisons  $F_1$ , on relève que cinq hybrides sont supérieurs aux deux parents, un inférieur et les 24 autres sont intermédiaires entre les deux parents.

Les variétés GTA dur et Latino sont caractérisées par une épiaison tardive soit respectivement 101,44 et 99 jours. La tardiveté permet d'éviter les gelées tardives qui affectent la fertilité de l'épi (**Bouzerzour et Monneveux, 1993**).

Le génotype Siméto est précoce (90,05 jours). La précocité permet d'échapper aux stress hydrique en fin de cycle (**Mouret *et al.*, 1991**).

### 1.2.2. Date de floraison

La comparaison des moyennes par le test de Fisher (ppds) (tableau 64, annexe V, p 28 et tableau 82, Annexe VI, p 41) a révélé la présence de cinq groupes homogènes dont trois sont chevauchants (figure 28, p 119). Les croisements GTA dur \*Chen's (BB), Latino\*Chen's et Carioca\*Chen's sont caractérisés par une floraison précoce (109,66 jours), alors que le croisement Latino\*GTA dur BB est tardif avec 106 jours.

Parmi les trente-huit combinaisons  $F_2$ , on relève que seul le génotype Latino\*Chen's BB est plus tardif que Latino et égal à Chen's et les autres génotypes sont égaux aux deux parents.

Pour la première génération (**Chetmi, 2009**), les croisements GTA dur\*Ardente et Latino\*Siméto sont caractérisés par une floraison précoce (100 jours et 100,11 jours respectivement), alors que le croisement Carioca\*Siméto est caractérisé par une floraison tardive (124 jours). La distribution des trente combinaisons montre que six hybrides surpassent leurs parents, et vingt-trois autres sont intermédiaires entre leurs parents. Et un seul hybride est inférieur aux deux parents il s'agit de Latino\*GTA dur.

**Erroux (1974)** a montré que les génotypes à floraison tardive et à maturation précoce présentent un rythme de développement dit « tardif-précoce » fournissant des rendements maximaux.

Selon **Gate (1995)**, le gain de rendement attribué à la précocité est expliqué par le fait que les lignées ont pu éviter les principales contraintes climatiques caractérisant la région à savoir le déficit hydrique et les hautes températures de fin de cycle. Ces dernières constituent un facteur limitant majeur de production (température supérieure ou égale à 25°C). Ainsi la précocité est donc un caractère recherché par les sélectionneurs pour les génotypes résistants à la sécheresse.

**Annicchiarico et Pecetti (1993)** considèrent qu'une précocité de floraison et de maturité, une bonne fertilité des épis et une bonne vigueur de la plante sont indicatrices de la tolérance à la sécheresse.

### 1.2.3. Phase épiaison-floraison

La comparaison des moyennes par le test de Fisher (ppds) (tableau 65, annexe V, p 28 et tableau 83 Annexe VI, p 42) a révélé la présence de onze groupes homogènes dont neuf sont chevauchants (figure 29, p 120). La durée moyenne de la phase épiaison-floraison des différents génotypes étudiés est de 11,51 jours. Le croisement Siméto\*Ardente (BN) et Siméto\*GTA dur (BN) ont enregistré la durée la plus longue soit 14,33 jours suivis de Carioca\*Chen's avec 14 jours ; tandis que les croisements Latino\*Carioca (BB) et Latino\*GTA dur (BB) étaient caractérisés par une courte durée soit respectivement 8,66 et 9 jours, cette faible différence constaté montre que ces génotypes peuvent être intéressants dans la mesure où un génotype présentant une précocité de quelques jours peut échapper à la sécheresse.

Seul l'hybride Siméto\*GTA dur présente une durée entre l'épiaison et la floraison supérieure à celle de GTA dur et égale à celle de Siméto. Les autres lignées sont égales aux deux parents.

Pour la première génération (**Chetmi, 2009**), la durée moyenne de la phase épiaison-floraison des différents génotypes étudiés est de 18,39 jours. Le croisement GTA dur\*Chen's a enregistré la durée la plus longue soit 31 jours tandis que le croisement GTA dur\*Siméto est caractérisé par une courte durée soit 6,9 jours. Sept hybrides F<sub>1</sub> sur les trente-huit sont supérieures aux deux parents. Neuf autres sont intermédiaires entre les deux parents et le reste des hybrides a montré une durée inférieure aux deux parents.

La longueur de cette phase est en relation avec les contraintes climatiques que rencontre la plante au niveau de sa zone de culture, caractérisée par une sécheresse intermittente, avec des effets plus accentués en fin de cycle de la plante.

Selon **Belaïd (1986)**, les variétés et lignées qui épient avant 140 jours (semis-épiaison) sont très sensibles aux gelées printanières. Ces résultats poussent à la recherche d'un idéotype précoce à maturité avec une courte phase de remplissage, mais assez tardif à l'épiaison à cause des risques élevés de gel tardif printanier assez fréquents (**Baldy, 1974 ; Bouzerzour, 1990 ; Bouzerzour et Benmahammed, 1995**).

En étudiant l'influence de la durée des phases de développement sur la stabilité de la production de blé dur conduit au niveau d'une zone semi-aride d'altitude, **Abassene et al. (1997)** concluent que les meilleures performances sont le fait de génotypes précoce à l'épiaison.

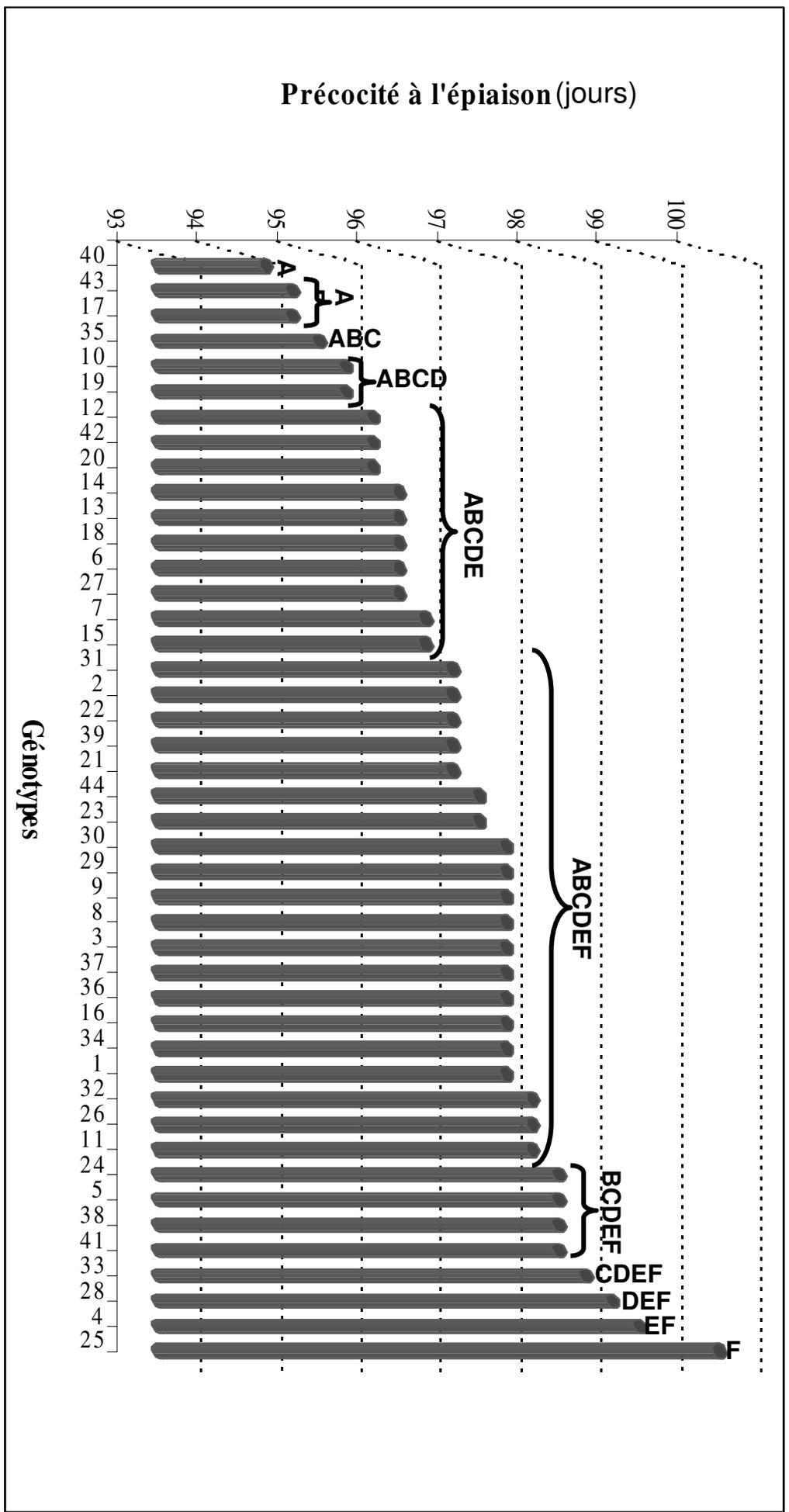


Fig.27. Précocité à l'épiaison

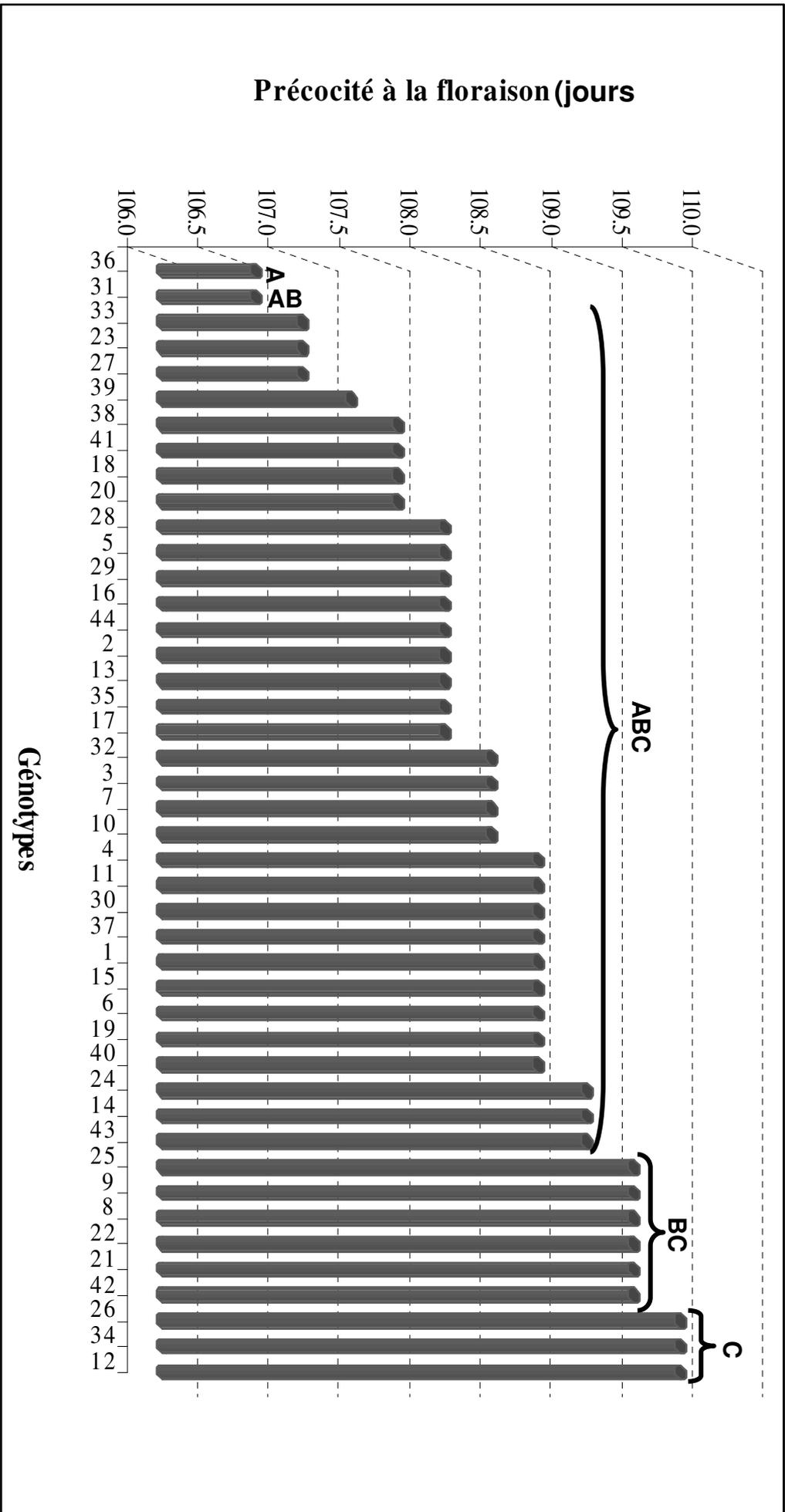
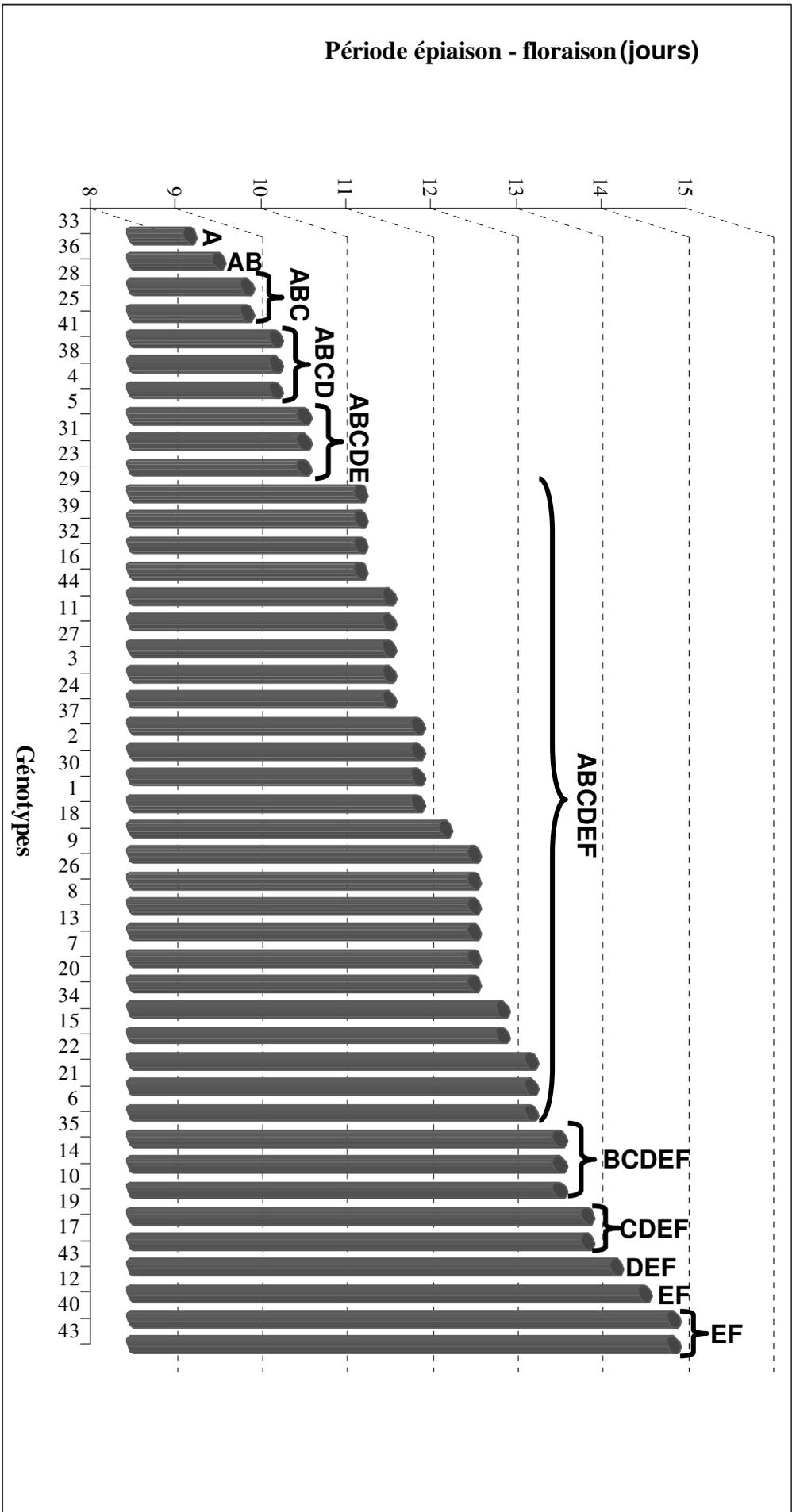


Fig.28. Précocité à la floraison



**Fig. 29.** Durée entre les phases épiaison et floraison

### 1.3. Caractères morphologiques

L'analyse de la variance pour ces caractères montre une différence hautement significative entre les génotypes pour la longueur du col de l'épi et une différence très hautement significative pour la longueur de l'épi. Le classement des moyennes des caractères hauteur de la tige, longueur de l'épi, longueur du col de l'épi, longueur des barbes mesurés sur la génération F<sub>2</sub> et leurs parents est donné dans les tableaux 73-76, annexe VI, pp : 32-35. Les valeurs de l'hétérosis moyen sont données dans le tableau 89, annexe VII, pp : 48-49. Les coefficients de variation de l'erreur varient de 4,92 % (hauteur de la tige) à 7,73 % (longueur de l'épi).

#### 1.3.1. Hauteur de la tige

La moyenne générale pour ce caractère est de 78,47 cm. La hauteur la plus élevée a été obtenue par la variété Chen's avec 81,87 cm suivi par le croisement Siméto\*Latino (BN) avec 81,23 cm, et la plus faible valeur est donnée par Ardente\*Chen's (BN) 74,6 cm.

Pour la première génération (**Chetmi, 2009**), la moyenne générale pour ce caractère est de 71,49 cm. La hauteur la plus élevée a été obtenue par le croisement Latino\*Chen's soit 84,98 cm, et la plus faible valeur est donnée par GTA dur\*Ardente soit 56,44 cm. Six combinaisons F<sub>1</sub> ont donné une hauteur de la tige supérieure aux deux parents, deux autres ont réalisé une hauteur de la tige inférieure aux deux parents. Les combinaisons restantes ont enregistré une hauteur de la tige intermédiaire entre les deux parents.

Une hauteur élevée de la paille est souvent associée à une bonne résistance à la sécheresse, qui s'explique selon **Benabdallah et Bensalem (1993) in Adda (1996)** par les quantités d'assimilats stockés au niveau des tiges qui sont les principaux organes de réserves. Mais selon **Monneveux (1989)**, la productivité en grain est plus ou moins importante chez les variétés à tige haute par rapport à celle des variétés à tiges courtes qui tallent plus.

**Bagga et al. (1970) et Belaid (1986)** indiquent que le fait d'une taille élevée du chaume est souvent associé à un système racinaire profond et donc une meilleure aptitude à extraire l'eau et les éléments nutritifs du sol.

### 1.3.2. Longueur du col de l'épi

La moyenne générale pour ce caractère est de 20,61 cm. La moyenne la plus élevée pour la longueur du col de l'épi est enregistrée par les variétés latino et carioca avec respectivement 22,73 et 21,86 cm, l'hybride qui a enregistré la valeur la plus élevée est Ardente\*Carioca (BB) avec 21,70 cm et la plus faible valeur est donnée par les hybrides Latino\* Siméto (BN) et Ardente\*Chen's (BB) avec respectivement 19,11 et 19,18 cm (figure 30, p 124).

Les génotypes Latino\*Siméto BN, Carioca\*Latino BB, Chen's\*Latino BN et Latino\*Carioca BB présentent une longueur du col de l'épi inférieure à celle du parent Latino et égale à celle du deuxième parent. Le reste des croisements sont égaux au deux parents.

Pour la première génération (**Chetmi, 2009**), la moyenne la plus élevée pour la longueur du col de l'épi est enregistrée par Chen's avec 13 cm et la plus faible valeur est donnée par l'hybride Siméto\*Latino avec 7,83 cm. La comparaison des hybrides F<sub>1</sub> à leurs parents, montre cinq combinaisons avec une longueur du col supérieure aux deux parents. Vingt-deux autres ont donné une longueur du col intermédiaire entre les deux parents. Les trois croisements restants ont enregistré une longueur du col inférieure aux deux parents.

Selon **Masse et Gate (1990)**, le col de l'épi organe de photosynthèse situé en pleine lumière, peut avoir une part importante dans la composition du rendement en grain final. **Al-Hakimi (1992)** associe une hauteur du col élevée à un caractère de résistance à la sécheresse. Cet organe pourrait jouer un rôle d'un organe de réserve des assimilats qui vont être transloqués ultérieurement vers le grain (**Wardlau, 1965 in Harmez, 1996**).

Les variétés les plus tolérantes aux contraintes hydriques apparaissent être celles qui ont le col de l'épi le plus long. Par conséquent, ces variétés possèdent les meilleures potentialités du rendement (**Baldy, 1974 ; Nachit et jarret, 1986 ; Nachit et Ketata, 1989 ; Ortiz Ferrera et al.,1991 ; Gate et Masse, 1990 ; Ali dib,1992 ; Ait Kaki, 1993 et Brisson et al.,1996**).

### 1.3.3. Longueur de l'épi

La moyenne générale pour ce caractère est de 7,51 cm. La valeur la plus élevée a été obtenue par Ardente\*Chen's (BB) avec 8,73 cm et la plus faible valeur a été donnée par l'hybride Latino\*Carioca avec 6,90 cm (figure 31, p 125).

Deux croisements F<sub>2</sub> sur les trente-huit ont réalisé une longueur de l'épi supérieure aux deux parents (Latino\*Siméto BN et Ardente\*Chen's BB). Les autres croisements sont égaux à leurs parents.

Pour la première génération (**Chetmi ; 2009**), la valeur la plus élevée est obtenue par Chen's\*Siméto avec 8,91 cm et la plus faible valeur est donnée par GTA dur\*Carioca avec 5,75 cm. Dix croisements F<sub>1</sub> sur les trente ont réalisé une longueur de l'épi supérieure aux deux parents, les vingt restants sont intermédiaires entre leurs parents.

**Zouadine (1989)** a noté que la fertilisation azotée influe positivement sur la longueur de l'épi.

D'après **Jonard (1964)**, la longueur de l'épi est une caractéristique variétale peu influençable par les variations du milieu.

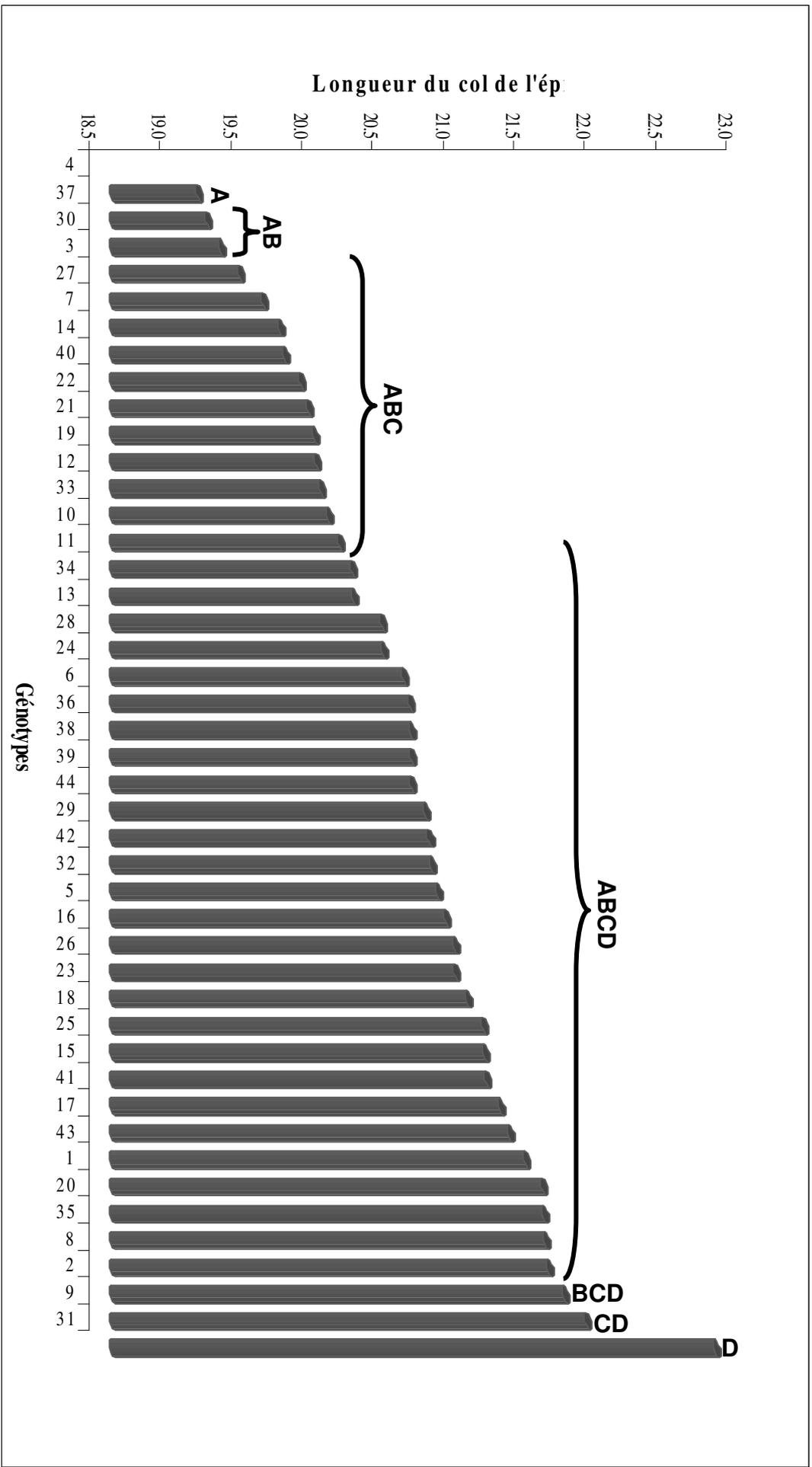
#### **1.3.4. Longueur des barbes**

La moyenne générale pour ce caractère est de 11,47 cm. Ardente\*Chen's (BN) présente la longueur des barbes la plus haute avec 12,66 cm. Tandis que la plus faible valeur est enregistrée par les hybrides Carioca\*Latino (BB) et GTA dur\*Carioca (BB) avec respectivement 10,60 et 10,51 cm.

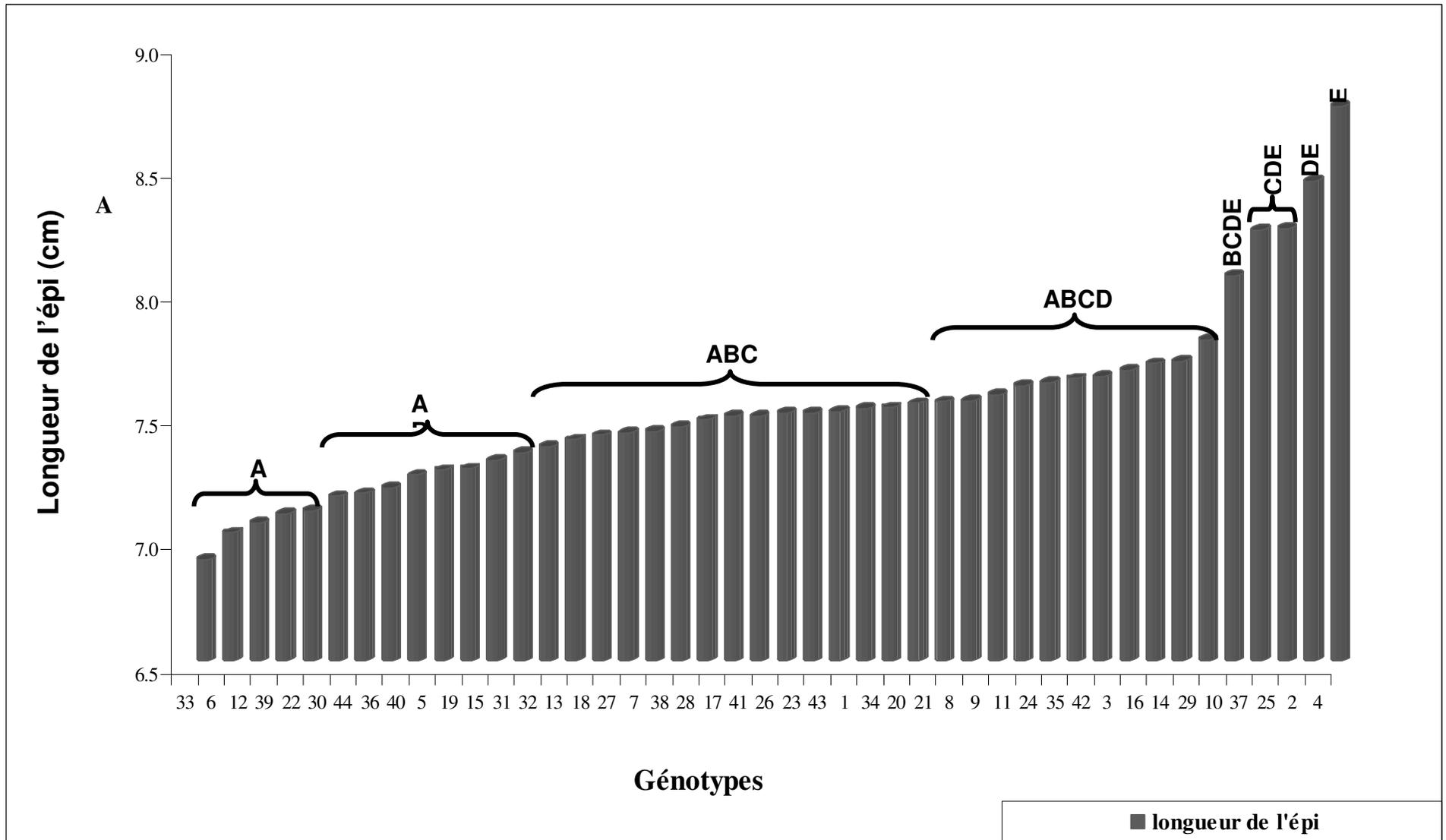
Pour la première génération (**Chetmi, 2009**), Ardente présente la longueur des barbes la plus haute avec 15,58 cm. Tandis que la plus faible valeur est enregistrée par les hybrides Chen's\*Siméto et son réciproque Siméto\*Chen's avec 8,10 cm respectivement. La comparaison des moyennes a révélé que six combinaisons sur les trente sont inférieures aux deux parents alors que les vingt-quatre autres sont intermédiaires entre les deux parents.

La longueur des barbes est un caractère morphologique qui semble être directement lié chez le blé dur à la tolérance au déficit hydrique (**Grundbacher, 1963 et Hadjchristodoulou, 1985** cités par **Al-Hakimi, 1992**). **Baldy (1973)** et **Gate et al. (1992)** confirment que les barbes contribuent à l'adaptation à la sécheresse, grâce à leur capacité de compenser la sénescence foliaire.

**Teare et Peterson (1971) in Baldy, (1973)** trouvent que le rendement photosynthétique des épis barbus peut atteindre 80 p 100 du rendement photosynthétique de la dernière feuille et 38 p 100 seulement pour les blés non barbus. Les barbes par leur surface développée, leur port dressé et leur position au voisinage immédiat de la graine favorisent sa formation.



**Fig. 30.** Longueur du col de l'épi



**Fig. 31.** Longueur de l'épi

## 2. Etude des performances des rendements en grain

### 2.1. Sélection pour le rendement

Notre étude porte sur une comparaison de 38 génotypes et six variétés parentales. Les résultats nous permettent la sélection des meilleurs génotypes du point de vue rendement, composantes du rendement et les différentes caractéristiques agronomiques, morphologiques et phénologiques.

Le rendement en grain réel varie du simple au double. Si on se fie à la variabilité génétique du rendement en grain réel et estimé on serait tenté de sélectionner pour ces deux caractères qui peuvent être à la fois un objectif et un critère de sélection. Cependant, en raison de la complexité de ce caractère, on se joint à l'avis de **Acevedo et al. (1991)** qui affirment que la sélection basée sur le rendement et ses composantes doit être complétée par des caractères phénologiques et morphologiques d'adaptation. **Monneveux et Depigny-This (1995)** ajoutent que le choix du rendement en grain comme critère de sélection n'est justifié que dans la mesure où les conditions du milieu permettent l'expression de cette aptitude génétique et comme on cherche des variétés performantes pour le climat méditerranéen qui est connu pour ces conditions environnementales fortes erratiques le rendement ne peut pas être retenu comme seul critère de sélection. Il serait donc plus judicieux de sélectionner pour d'autres caractères présentant une héritabilité plus élevée et une forte corrélation avec le rendement.

### 2.2. Sélection pour les caractères liés au rendement en grain

#### 2.2.1. Etude des corrélations (tableau 93, annexe VIII, p 54)

Dans ce qui suit, nous ne commenterons que les corrélations les plus importantes.

##### 2.2.1.1. Relation entre les caractères agronomiques, morphologiques et phénologiques liés au rendement et le rendement en grain

Les génotypes ayant les rendements en grain réel et estimés les plus élevés sont ceux qui présentent une biomasse aérienne ( $r = 0,418^*$ ,  $r = 0,598^{***}$  respectivement), un nombre d'épis par mètre carré ( $r = 0,436^*$ ,  $r = 0,894^{***}$  respectivement) élevés (**tableau 93, annexe VIII, p 54**).

Des corrélations significatives ont été enregistrées, entre d'une part, le rendement en grain réel et d'autre part, l'indice de récolte ( $r = 0,38^*$ ) et le rendement estimé ( $r = 0,430^*$ ).

Des corrélations significatives ont été enregistrées entre d'une part, le rendement estimé et d'autre part, le poids de mille grains ( $r = 0,465^{**}$ ) et le nombre d'épillets total et fertiles ( $r = 0,383^*$ ,  $r = 0,392^*$  respectivement).

Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par **Mekhlouf et Bouzerzour (2000)** qui affirment que la biomasse aérienne et l'indice de récolte font parti des facteurs limitants à l'obtention de bons rendements et ajoutent que la sélection de la biomasse est capable d'amener à un gain appréciable dans le rendement.

En effet, un indice de récolte élevé contribue favorablement dans l'accroissement du rendement (Monneveux, 1991). Ali Dib *et al.* (1992) affirment que l'indice de récolte est positivement corrélé avec le rendement en grain en condition de sécheresse.

Pfeiffer *et al.* (2000) confirment que l'amélioration génétique moderne du blé dur résulte d'une biomasse aérienne plus élevée. Et ils rajoutent que l'accroissement de la biomasse aérienne est dû à l'augmentation du nombre de grains qui est lui même déterminé par un nombre d'épis et un nombre de grains par épi élevé et qui est souvent accompagné d'un rendement élevé. Les résultats obtenus sont en accord avec ses affirmations.

#### **2.2.1.2. Influence de la phénologie sur certains caractères agronomiques et morphologiques (tableau 93, annexe VIII, p 54)**

Les génotypes les plus tardifs à l'épiaison et à la floraison présentent la durée entre l'épiaison et la floraison la plus longue ( $r = -0,824^{***}$ ,  $r = -0,570^{***}$  respectivement).

La longueur du col de l'épi ainsi que la biomasse aérienne les plus élevées sont données par les génotypes les plus précoces à la floraison ( $r = -0,206^*$  et  $r = -0,174^*$ ).

#### **2.2.1.3. Influence des caractères morphologiques et agronomiques sur d'autres caractères (tableau 93, annexe VIII, p 54)**

La densité du peuplement affecte négativement la date d'épiaison ( $r = -0,347^*$ ), le poids de la biomasse aérienne ( $r = -0,340^*$ ) et le nombre d'épillets fertiles ( $r = -0,306^*$ ).

Les génotypes à paille haute présentent des longueurs du col de l'épi les plus élevées ( $r = 0,531^{***}$ ).

Les génotypes à épis long se caractérisent par un nombre total d'épillets et un nombre d'épillets fertiles élevés ( $r = 0,441^*$  et  $r = 0,467^{**}$  respectivement), un nombre d'épillets stériles réduit ( $r = -0,311^*$ ) et un nombre de grains par épi élevé ( $r = 0,394^*$ ). Les génotypes à barbes longues présentent un faible nombre d'épillets stériles ( $r = -0,391^*$ ).

Le nombre élevé d'épillets total par épi est expliqué par un nombre d'épis par m<sup>2</sup>, un nombre d'épillets fertiles par épi et un poids de biomasse aérienne élevés ( $r = 0,315^*$ ,  $r = 0,983^{***}$  et  $r = 0,549^{***}$  respectivement) et par un nombre d'épillets stérile par épi réduit ( $r = -0,309^*$ ). Le nombre d'épillets fertiles augmente avec la biomasse aérienne ( $r = 0,564^{***}$ ), le nombre d'épis par m<sup>2</sup> ( $r = 0,323^*$ ) et le nombre de grains par épi ( $r = 0,298^*$ ) et diminue avec l'augmentation du nombre d'épillets stérile par épi ( $r = -0,478^{**}$ ). Le poids de la biomasse aérienne pénalise l'indice de récolte ( $r = -0,63^{***}$ ).

D'après Guettouche (1998), quand la taille de l'épi est affectée par le stress hydrique, elle influe sur la fertilité ce qui explique la corrélation entre ces deux caractères.

#### 2.2.1.4. Relations entre les composantes du rendement (tableau 93, annexe VIII, p 54)

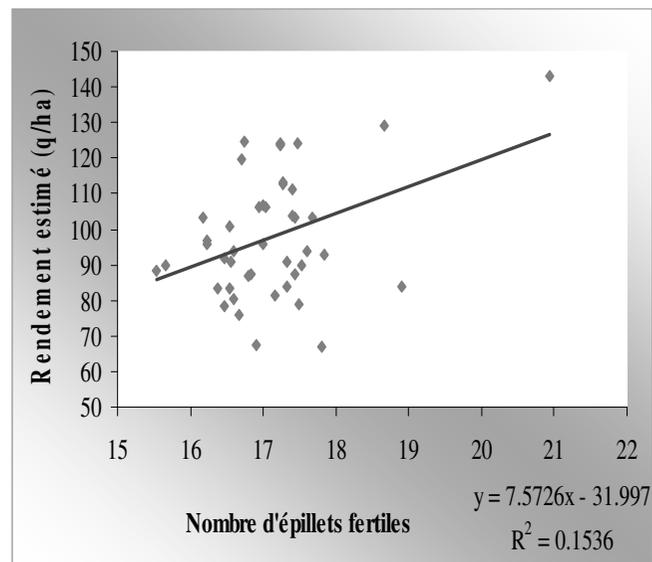
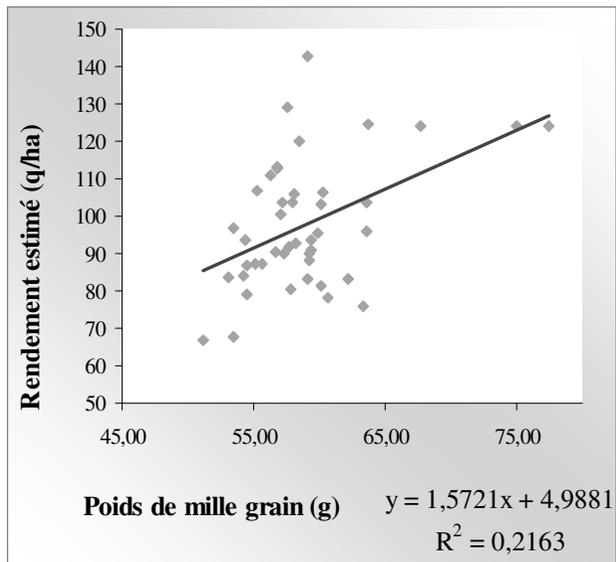
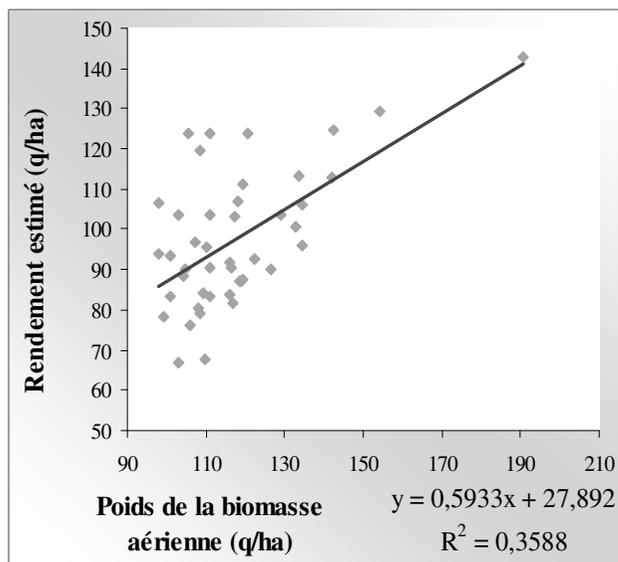
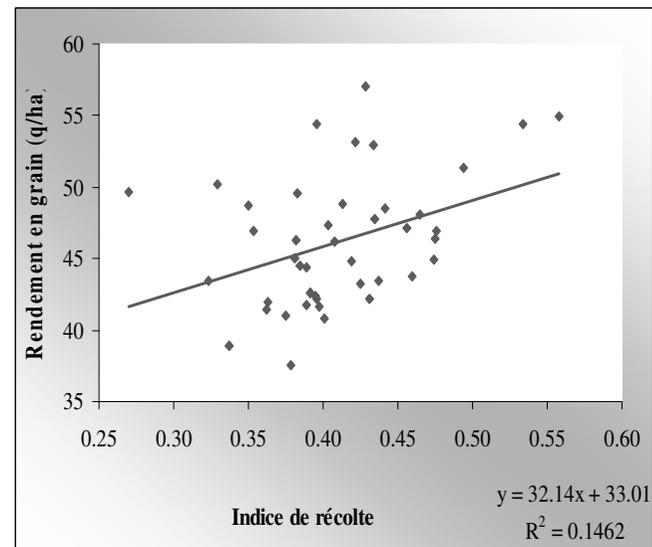
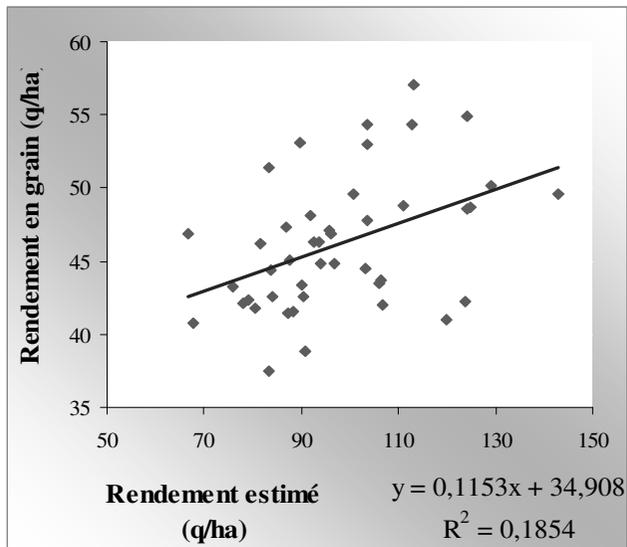
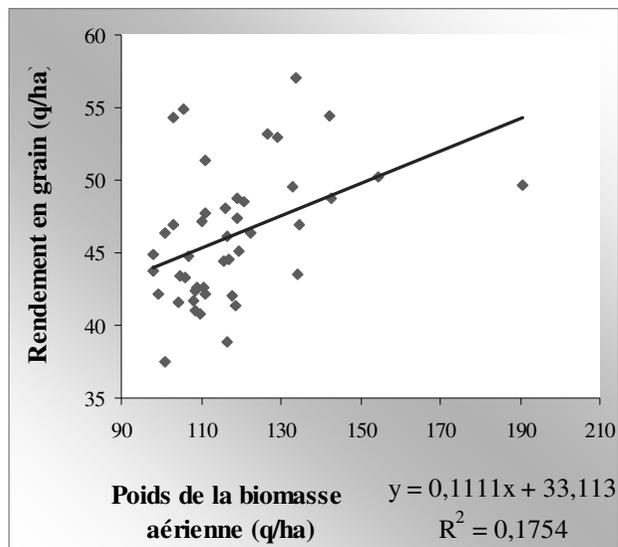
Le nombre d'épis par m<sup>2</sup> est corrélé positivement avec le poids de la biomasse aérienne ( $r = 0,710^{***}$ ) et le poids de mille grains ( $r = 0,340^*$ ), ce dernier diminue lorsque le nombre de grains par épi est élevé ( $r = -0,500^{***}$ ).

Ces relations sont révélatrices de la compétition qui existe entre les différentes composantes de rendement. **Gate (1995)** explique que même si l'efficacité des facteurs de croissance est maximale pendant la phase d'élaboration d'un facteur de rendement donné, sa valeur diminue inéluctablement quand la valeur du facteur du rendement qui le précède augmente.

#### 2.2.2. Droites de régression

Suite aux tests de corrélations effectués sur le rendement, ses composantes et les caractères liés au rendement, des droites de régression ont été tracées entre certains caractères et le rendement en grain réel et estimé.

D'après les coefficients de détermination, la présence d'une variabilité génétique du rendement est due principalement à la variabilité de l'indice de récolte, de la biomasse aérienne, du nombre d'épillets fertiles et du poids de mille grains. Nous concluons que 14,62% de la variabilité du rendement en grain est expliqué par l'indice de récolte et 17,54 % par la biomasse aérienne (figure 32, p 129). Pour le rendement en grain estimé c'est 35,88% pour la biomasse aérienne et 21,63% pour le poids de mille grains (figure 32, p 129).



**Fig.33.** Relation entre le rendement en grain et certains caractères agronomiques et morphologiques.

### 3. Analyse génétique des différents caractères étudiés au niveau du diallèle

#### 3.1. Hérité des caractères selon l'analyse de Griffing

L'analyse de la variance des aptitudes à la combinaison réalisée selon le modèle de Griffing (1956) fait ressortir des effets d'AGC et d'ASC non significatifs pour la majorité des caractères étudiés (tableaux 94-111, annexe IX, pp : 55-60) à l'exception des AGC et ASC du nombre d'épis par mètre carré. L'existence d'une telle différence indique que les actions géniques additives et de dominance sont toutes deux importantes dans le contrôle de ce caractère.

##### 3.1.1. Etude des aptitudes générales (AGC) à la combinaison

L'estimation des effets d'aptitude générale à la combinaison (AGC) du nombre d'épis par mètre carré se trouve dans le tableau 44.

Les variétés Ardente, Carioca, GTA dur, Latino et Siméto ont présenté des effets d'AGC négatifs pour ce caractère.

La variabilité en AGC dépendra de l'aptitude d'un génotype à bien compléter ses partenaires et aussi de quelques gènes dominants à effet fort mais ne pouvant s'extérioriser qu'avec une bonne complémentarité dans le reste du génome (Gallais, 1976). Le classement des variétés parentales dans l'ordre décroissant de leurs valeurs d'aptitude à la combinaison montre Chen's en première position suivi de Siméto (tableau 44). Chetmi (2009) a noté que la variété Latino suivi de la variété Chen's présentent les meilleurs valeurs d'aptitude générale à la combinaison.

**Tableau 44 :** Estimation des effets d'AGC du caractère nombre d'épis par mètre carré au niveau des 6 parents.

Caractères	Variétés					
	Chen's	Siméto	GTA dur	Carioca	Latino	Ardente
Nombre d'épis par mètre carré	29,42 <b>a</b>	-7,54 <b>b</b>	-8,92 <b>b</b>	-13,58 <b>b</b>	-13,63 <b>b</b>	-18,67 <b>b</b>
Classement	1	2	3	4	5	6

Les AGC élevées nous renseignent sur la capacité des variétés à transmettre leurs caractères à leurs descendants, cependant pour les caractères précocité à la floraison, on peut préférer des génotypes avec des AGC élevés (transmission de la tardivité) ou bien des génotypes avec des AGC faibles (transmission de la précocité), cela est valable pour la hauteur de la tige (AGC positive élevée pour une grande hauteur de la tige et AGC négative et élevée pour une hauteur de tige courte).

Une corrélation positive et significative est enregistrée entre les performances parentales et les aptitudes générales à la combinaison pour le nombre d'épis par m<sup>2</sup> ( $r = 0,86^*$ ). Ceci indique que les performances parentales reflètent leurs aptitudes générales à la combinaison pour ce caractère.

Les mêmes résultats sont observés chez le blé par **Jatasra et Paroda (1979)** et **Chetmi (2009)** où ils constatent pour certains caractères une similitude dans le classement des variétés parentales sur la base de leurs performances et les effets de l'AGC. Par ailleurs, **Sethi et al., (1987)** cités par **Chetmi (2009)** notent une corrélation positive et significative ( $r = 0,83^{**}$ ) entre les performances moyennes des parents pour le rendement en grain et l'indice de récolte. Or, cette corrélation entre les AGC des mêmes caractères est non significative, conduisant à dire que les performances parentales n'indiquent pas automatiquement des aptitudes à la combinaison élevées.

Toutefois, **Bouzerzour et al., (1996)** pensent que l'AGC peut être prédite à un certain degré sur la base des performances parentales et ce en raison de l'importance qu'a ce type de corrélation sur l'aspect pratique de la sélection. En effet, dans le cas d'une corrélation significative entre la valeur moyenne du parent pour un caractère donné et son AGC, l'amélioration de ce caractère est vite approchée par des croisements entre les génotypes qui se caractérisent par de fortes valeurs. Dans le cas contraire, l'amélioration du caractère considéré peut être obtenue soit par des croisements entre génotypes de bonnes valeurs, soit entre génotypes de faibles valeurs (**Oury et al., 1990**).

### 3.2.2. Etude des aptitudes spécifiques (ASC) à la combinaison

L'estimation des aptitudes spécifiques à la combinaison permet de caractériser la déviation entre la valeur observée d'un hybride simple et sa valeur attendue sur la base de l'aptitude générale à la combinaison des lignées parentales.

On note les plus fortes valeurs d'aptitude spécifique à la combinaison chez l'hybride Carioca\*Chen's suivi de l'hybride Ardente\*Siméto puis Latino\*Siméto pour le nombre d'épis par m<sup>2</sup> (tableaux 45, p 133).

L'estimation des aptitudes spécifiques à la combinaison permet de constater que les valeurs élevées d'ASC sont observées chez les hybrides combinant entre des parents ayant des AGC :

**Bhowmik et al., (1990)** constatent qu'un croisement entre parents de valeurs d'AGC différentes (forte et faible) produit un effet d'ASC positif. Selon **Ahmad et al., (1979)**, cette interaction génétique responsable de fortes valeurs d'ASC peut être de type additivité x additivité ou bien additivité x dominance. La première est fixable donc utilisable en sélection, mais la seconde est non fixable (**Falconner, 1974**).

**Scharme et Smith, (1986)** pensent que les croisements ayant une forte ASC peuvent produire des ségrégations désirables si la dispersion des allèles agit dans la direction d'une maximisation des caractères intéressant la sélection.

### 3.1.3. Etude du rapport AGC / ASC

La variance due à l'AGC comporte la variance additive et la variance d'épistasie « cis » alors que celle de l'ASC inclue la dominance et l'épistasie « trans ». Le rapport de la variance de l'aptitude générale ( $2 \text{ Var } g$ ) à celle de l'aptitude spécifique ( $\text{Var } s$ ) est une estimation des effets additifs par rapport aux effets de dominances.

Le rapport AGC / ASC (tableau 47) est faible pour le nombre d'épis par mètre carré. Pour ce caractère les effets non additifs sont prédominants.

**Tableau 46 :** Calcul des composantes de la variation de l'aptitude à la combinaison.

Caractères	AGC $1/5 \text{ } g_i^2$	ASC $1/9 \text{ } S_{ij}^2$	AGC/ASC
Nombre d'épis par m <sup>2</sup>	777,78	2874,52	0,27

Nos résultats ne concordent pas avec ceux de **Chetmi (2009)** qui a enregistré pour la première génération un rapport AGC / ASC dépassant largement l'unité pour le nombre d'épis par m<sup>2</sup> suggérant des effets additifs pour ce caractère.

**Singh et Nanda (1989)** trouvent que l'action de dominance est présentée pour le rendement en grain. Pour **Vitkare et Atale (1991)** le rapport AGC / ASC est inférieur à 1 pour le nombre d'épis par plante et le rendement en grain. **Hassan et Saad (1996)** indique que le rapport AGC / ASC est supérieur à 1 le rendement en grain par épi indiquant l'action des gènes additive et additive x additive dans le contrôle de ces caractères. Une action des gènes non additive est remarquée pour le rendement en grain par plante.

Les travaux de **Bouzerzour et al., (1996)** sur orge montrent que le nombre d'épis est régi par un système génique additif alors que le rendement est sous contrôle des actions de dominance. De même **Tapsell et Thomas (1983)** constatent que le nombre d'épis et le rendement en grain sont influencés par l'environnement.

**Tableau 45 :** Estimation des effets d'ASC des 15 croisements en F<sub>2</sub> pour le nombre d'épis par m<sup>2</sup>

Caractères	Génotypes														
<b>N E/m<sup>2</sup></b>	<b>Car</b> * Chen's 52,77 <b>a</b>	<b>Ard</b> * Sim 39,73 <b>a</b>	<b>Latino</b> * Sim 32,35 <b>ab</b>	<b>Car</b> * GTAd 20,43 <b>ab</b>	<b>Ard</b> * Latino 1,06 <b>bc</b>	<b>Ard</b> * Chen's -5,65 <b>c</b>	<b>Ard</b> * GTAd -5,98 <b>c</b>	<b>Chen's</b> * GTAd -9,90 <b>c</b>	<b>Chen's</b> * Sim -13,03 <b>c</b>	<b>GTAd</b> * Latino -16,31 <b>c</b>	<b>Chen's</b> * Latino -18,19 <b>c</b>	<b>Ard</b> * Car -19,32 <b>c</b>	<b>GTAd</b> * Sim -20,86 <b>c</b>	<b>Car</b> * Latino -21,69 <b>c</b>	<b>Car</b> * Sim -32,19 <b>c</b>
<b>Classement</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

## Discussion

L'efficacité de la sélection pour les caractères quantitatifs c'est-à-dire la facilité avec laquelle le caractère observé se transmet à la descendance dépend des valeurs génétiques.

La technique des essais dialèles permet de juger de la valeur des hybrides obtenus à partir d'un stock de lignées dont on ne connaît pas à priori les aptitudes à la combinaison (**Zarkouna et Daaloul, 1994**).

Selon **Frey et Fatunla (1976) in Bouzerzour et Benmahammed (1995)**, la variance additive contribue fortement à la sélection quelle que soit la méthode de sélection appliquée.

Les lignées ayant des caractères présentant des effets d'AGC positifs et élevés ont tendance à transmettre à leurs descendances des valeurs élevées et inversement, les lignées ayant des caractères présentant des AGC négatives et faibles ont plutôt tendance à transmettre à leurs descendances des valeurs moyennes à faible. **Zahour (1992)** note que les meilleures lignées sont probablement issues de plantes ayant les meilleures AGC.

**Sehabi (2000) et Chetmi (2009)** ont signalé que la hauteur de la tige, la longueur de l'épi, le nombre de grains par épi, le nombre d'épis par m linéaire, le poids de la biomasse aérienne et le rendement estimé ( $AGC / ASC > 1$ ) présentent des effets d'additivité plus importants que les effets de dominance.

Des effets d'ASC pour le nombre d'épis/m<sup>2</sup> indiquent une dominance dans le sens d'une forte expression de la valeur moyenne de ce caractère. Les hybrides Carioca x Chen's et Ardente x Siméto possèdent les meilleures ASC. Les résultats concernant les AGC montrent que la variété Chen's montre une bonne AGC pour ce caractère. Cette variété est capable lorsqu'elle est croisée avec un certain nombre de partenaire, de donner chez sa descendance une meilleure performance.

**Chetmi (2009)** a indiqué pour la première génération que la variété Carioca présente une meilleure AGC puisqu'elle est classée la première pour les caractères rendement en grain estimé et indice de récolte et la troisième pour le caractère rendement en grain réel, suivi de la variété Latino classé deuxième pour le rendement en grain estimé et la troisième pour l'indice de récolte.

## 3.2. Hétérosis

La détermination de l'effet hétérotique par rapport au parent moyen met en évidence les écarts à l'additivité (dominance partielle et totale) et la référence au meilleur parent souligne les effets de superdominance. L'hétérosis pour un caractère donné est d'autant plus élevé que les parents de l'hybride se complètent pour les gènes impliqués dans la variation du caractère.

Le calcul de l'hétérosis a été fait pour l'ensemble des génotypes en séparant les génotypes ayant deux couleurs de barbes en F<sub>1</sub>.

### 3.2.1. Hétérosis par rapport au parent moyen

Pour les composantes du rendement, les hybrides Ardente\*Siméto BN (21,91%), Carioca\*Chen's BB (40,22 %), Siméto\*Carioca BN (13,13 %), Chen's\*GTA dur BN (12,16%), GTA dur\*Chen's BB (11,07 %), Chen's\*Siméto BN (15,74%), Siméto\*Chen's BN (25,13%) et Latino\*Siméto BN (16,16%) ont présenté des hétérosis élevés par rapport au parent moyen pour le nombre d'épis par mètre carré, alors que pour le poids de mille grains ce sont les hybrides Siméto\*Carioca BB (10,76%) et Chen's\*Latino BN (21%) qui ont présenté les hétérosis les plus élevés par rapport au parent moyen (tableau 89 annexe VII, 48-49).

**Chetmi (2009)** a noté pour la première génération que les hybrides Siméto\*Latino, Siméto\*Carioca et GTA dur\*Siméto ont présenté un fort taux d'hétérosis pour le nombre et le poids des grains par épi et le poids de mille grains. Pour les autres croisements, elle n'a observé un effet hétérotique significatif que pour une ou deux composantes seulement. L'hybride Latino\*Siméto de la première génération a exprimé le plus fort hétérosis par rapport au parent moyen pour l'indice de récolte (50 %).

Chez le blé, **Singh et Mishra (1990)** trouvent un hétérosis par rapport au parent moyen important de l'ordre de 61,7 % et 56,46 % respectivement pour le rendement en grain et l'indice de récolte.

L'hybride Latino\*Siméto BN a enregistré des hétérosis élevés pour les caractères longueur des barbes (14,19%), nombre total d'épillets par épi (10,38%), nombre d'épillets fertiles (12,45%), et poids de la biomasse aérienne (16,35%). L'hybride Carioca\*Chen's BB a enregistré également des hétérosis élevés par rapport au parent moyen pour les caractères nombre total d'épillets par épi (17,59%), nombre d'épillets fertiles (17,60%) et poids de la biomasse aérienne (33,95%).

**Chetmi (2009)** a noté l'absence d'hétérosis pour le nombre d'épis par mètre linéaire (Latino\*Chen's), et le nombre d'épillets fertiles par épi (Carioca\*Ardente).

Concernant les caractères morphologiques, les croisements Ardente\*Carioca BB, Ardente\*Chen's BB et Latino\*Chen's BB ont présenté un hétérosis par rapport au parent moyen élevé pour la longueur de l'épi, soit respectivement 12,15 %, 16,18 % et 14,19 %.

### 3.2.2. Hétérosis par rapport au meilleur parent

Pour les composantes du rendement, les hybrides Ardente\*Chen's BN (13,54%), Ardente\*Siméto BN (23,70%), Ardente\*Siméto BB (12,90%), Carioca\*Chen's BB (74,92%), Carioca\*Chen's BN (29,81%), Chen's\*Carioca BN (27,78%) et Siméto\*Chen's BN (19,45%) ont présenté des hétérosis élevés par rapport au meilleur parent pour le nombre d'épis par mètre carré, alors que pour le poids de mille grains ce sont les hybrides Ardente\*Siméto BN (21,69%) et Chen's\*Latino BN (17,62%) qui ont présenté les hétérosis les plus élevés par rapport au meilleur parent (tableau 90, annexe VII, p 50-51).

**Chetmi (2009)** a enregistré pour le nombre de grains par épi et le poids de mille grains, un hétérosis par rapport au meilleur parent élevé. Un hétérosis par rapport au meilleur parent important est également observé pour l'indice de récolte chez Carioca\*Ardente (36,95 %). L'hybride Carioca\*Ardente exprime le plus fort hétérosis par rapport au meilleur parent pour le nombre d'épis par mètre linéaire (23,52 %).

L'hybride Carioca\*Chen's a enregistré des hétérosis élevés par rapport au meilleur parent pour les caractères nombre total d'épillets par épi (18,03%), nombre d'épillets fertiles (17,60) et poids de la biomasse aérienne (63,57%). L'hybride Chen's\*GTA dur BN a enregistré également des hétérosis élevés par rapport au meilleur parent pour le poids de la biomasse aérienne (21,87%).

La vigueur hybride est basée sur la complémentation des apports gamétiques des parents par des gènes dominants favorables. Dans ce sens, l'expression de l'effet hétérotique peut être liée en partie à l'action non additive des gènes. Selon **Jung et Lilly (1985)**, l'absence d'hétérosis ou sa faible valeur chez l'orge reflète probablement une action additive importante des gènes. **Baiely et al., (1980)** pensent que l'effet additif est la principale cause de la réponse hétérotique dans un croisement diallèle et triallèle des espèces diploïdes.

### 3.2.3. Hétérosis par rapport à la meilleure variété

Pour les composantes du rendement, les hybrides Ardente\*Chen's BN (10,37%), Ardente\*Siméto BN (21,91%), Ardente\*Siméto BB (11,22%), Carioca\*Chen's BB (40,22%), Carioca\*Chen's BN (4,06%), Carioca\*GTA dur BB (8,02%), GTA dur\*Carioca BB (6,04%), Latino\*GTA dur BB (6,04%), GTA dur\*Chen's BB (9,92%), Chen's\*Latino BN (4,87%), Chen's\*Siméto BN (3,34%), Siméto\*Chen's BN (11,81%), GTA dur\*Latino BB (5,77%), Siméto\*GTA dur BN (4,42%) et latino\*Siméto BN (24,44%) ont présenté des hétérosis élevés par rapport à la meilleure variété pour le nombre d'épis par mètre carré, alors que pour le poids de mille grains c'était l'hybride Carioca\*GTA sur BB qui a présenté l'hétérosis le plus élevé par rapport à la meilleure variété (tableau 91, annexe VII, p 52-53).

L'hybride Carioca\*Chen's BB a enregistré des hétérosis élevés par rapport à la meilleure variété pour les caractères nombre total d'épillets par épi (17,59%), nombre d'épillets fertiles (17,60%) et le poids de la biomasse aérienne (33,95%). L'hybride Latino\*Siméto BN a enregistré également des hétérosis élevés par rapport à la meilleure variété pour les caractères suivants : longueur de l'épi (9,53%), nombre d'épillets fertiles (4,87%) et poids de la biomasse aérienne (8,33%). L'hybride GTA dur\*Carioca BB a enregistré un hétérosis élevé par rapport à la meilleure variété pour la longueur de l'épi (9,62%).



## Conclusion générale

L'objectif de cette expérience est l'étude de l'interaction génotype x environnement à partir des résultats de quatre essais de blé dur (*Triticum durum Desf.*) réalisés par quatre étudiants (Bouraine 2006, Mihoub 2007, Mohamed Yahiaoui 2008 et Lebbi 2008) dans le cadre de leurs mémoires d'ingénieur et l'étude de comportement des F<sub>2</sub> provenant de croisement diallèle de blé dur dans le but de commencer une sélection des meilleurs croisements et des meilleurs individus pour la création de nouvelles variétés performantes.

La recherche de nouveaux génotypes réussis de blé dur et supérieurs à leurs parents sur un éventail de conditions environnementales est plus ou moins difficile.

Les résultats obtenus dans la première partie d'étude suite aux analyses statistiques effectuées ont démontré une variabilité au niveau des génotypes et des environnements pour l'ensemble des caractères étudiés ; ce qui explique la difficulté de sélection pour le rendement. Pour palier cette contrainte de sélection, les chercheurs ont mis en place différentes approches de sélection, soit empirique basée sur la sélection directe, soit analytique explicative basée sur la sélection indirecte par incorporation des caractères physiologiques et / ou morphologiques (qui présentent des corrélations significatives avec le rendement et / ou ses composantes).

Sur les différents sites, un haut rendement en grain est issu de la réalisation d'une longueur de l'épi élevée, d'un nombre d'épillets total et fertiles par épi élevé (Ardente x Siméto L3, Ardente x Waha L7), des barbes et des tiges courtes (Saadi x Waha L6), d'un nombre d'épillets stériles par épi réduit (Ardente, Siméto x Vitron L5 et Siméto x Vitron L6), d'un bon nombre de grains par épi (Siméto x Vitron L5 et Ardente x Waha L2) et d'un indice de récolte élevé (Saadi x Waha L7).

L'étude de l'héritabilité au sens large révèle des héritabilités très élevées pour le nombre de grains par épi, le nombre d'épillets stériles par épi, le nombre d'épillets fertiles par épi, le nombre total d'épillets par épi. La hauteur de la tige, la longueur du col de l'épi, la longueur des barbes, le nombre de jours nécessaire à l'épiaison, l'indice de récolte et le poids de mille grains ont une héritabilité beaucoup plus élevés que le rendement en grain. Le rendement en grain parcellaire et estimé et le nombre de jours nécessaire à la floraison ont des héritabilités très proches. L'héritabilité la plus faible a été enregistrée pour le poids de la biomasse aérienne.

La comparaison des génotypes dans les différents environnements permet non seulement de déterminer les lignées qui ont une large adaptation, et celles qui ont une adaptation étroite, mais aussi de déterminer le degré de stabilité des caractères pour les différentes lignées.

Les génotypes Ardente\*Waha L1, Siméto\*Vitron L5, Siméto, Ardente et Saadi\*Waha L7 sont ceux qui présentent une adaptation générale. Les génotypes Ardente\*Waha L2, Ardente\*Siméto L1 et Saadi\*Waha L6 ont un haut potentiel et les génotypes Saadi\*Siméto L3 et Saadi sont rustiques donc ils ont une adaptation spécifiques.

Les génotypes adaptés à une large gamme de milieux sont particulièrement intéressants, mais ils présentent généralement des performances plus faibles que celles des génotypes adaptés à des environnements plus spécifiques.

En raison des variations et des fluctuations qui caractérisent le climat méditerranéen de notre pays, il serait intéressant de choisir des variétés ou de sélectionner des génotypes dotés d'une large gamme d'adaptation. Cela peut constituer l'une des solutions pour palier aux contraintes climatiques entravant le développement de la production de blé dur.

Toutefois les lignées possédant un haut potentiel peuvent être mises en valeur en agriculture intensive là où l'eau n'est pas un facteur limitant (par exemple là où l'apport d'eau par irrigation est possible) et / ou l'agriculteur peut apporter les intrants nécessaires à la culture. Dans le cas d'une agriculture extensive là où l'agriculteur à faible revenu ne peut pas se permettre d'utiliser des intrants pour permettre aux variétés à haut potentiel d'exprimer leurs rendements, on préconise d'utiliser des variétés rustiques pouvant valoriser les milieux les plus défavorables.

La multiplicité des environnements et des objectifs de production en agriculture impose désormais une meilleure prise en compte des interactions entre génotype et environnement, sous peine de pertes économiques qui peuvent être importantes. Prendre en compte ces interactions peut induire un choix de génotype ou de système de croisement, de critère de sélection ou d'environnement de sélection, mais aussi la sélection de génotypes peu sensibles aux fluctuations environnementales.

La décomposition de la variance et l'étude de la régression (linéaire et non linéaire) pour le rendement en grain montrent que tous les génotypes ont une stabilité moyenne. Les différentes méthodes d'étude de l'interaction génotype x environnement (étude de l'écovalence  $W_i$  de Wricke, 1962, de la variance de la stabilité  $\sigma_i^2$  de Shukla, 1972 et de l'hétérogénéité de la variance et des corrélations incomplètes de Muir, 1992) ont donné des résultats similaires. Le choix des génotypes doit tenir compte des performances de rendement en grain et de leur stabilité. Un compromis doit être trouvé entre ces deux paramètres. Par conséquent, les génotypes Siméto x Vitron L5 (80 q/ha classé 3<sup>ème</sup>,  $W_i = 193,77$  et  $\sigma_i^2 = 64,49$ ), Siméto (79 q/ha classé 4<sup>ème</sup>;  $W_i = 83,56$  et  $\sigma_i^2 = 22,86$ ) et Ardente x Vitron L1 (78,85 q/ha classé 5<sup>ème</sup>;  $W_i = 86,34$  et  $\sigma_i^2 = 23,91$ ) ont un rendement en grain élevé et une bonne stabilité.

La décomposition de la variance et l'étude de la régression (linéaire et non linéaire) révèlent que les génotypes Ardente x Waha L1, Ardente x Saadi L3, Ardente x Siméto L4 et Vitron présentent une stabilité moyenne à travers les différents environnements pour la précocité à la floraison. Les résultats obtenus selon l'étude de l'écovalence, de la variance de la stabilité, de l'hétérogénéité de la variance et les corrélations incomplètes confirment ces résultats sauf pour le génotype Ardente x Saadi L3 qui présente une stabilité faible.

Les analyses de la décomposition de la variance, de la régression linéaire et non linéaire, de l'hétérogénéité de la variance et les corrélations incomplètes pour la précocité à la floraison montrent aussi que la variété Siméto présente une sensibilité aux changements du milieu et présente une adaptation spécifique aux milieux favorables et que les génotypes Saadi x Waha L7, et Waha présentent une grande stabilité aux changements du milieu et leur adaptation aux environnements défavorables est élevée.

Ces résultats illustrent la difficulté de la sélection pour le caractère rendement en grain, à cause de la complexité de ce caractère. Pour cela, des essais multiloceaux et pluriannuels sont nécessaires pour mettre en évidence les génotypes productifs, stables, et à large adaptabilité.

La recherche de variétés de blé dur adaptées aux conditions de milieu algérien (climat et sol) et résistantes à certaines maladies, nous a conduits à entamer un programme d'amélioration des variétés cultivées en Algérie. Notre objectif a donc été de combiner par croisements les caractéristiques agronomiques, phénologiques et morphologiques de quelques variétés de blé dur pour obtenir des variétés adaptées aux zones de culture de cette céréale dans notre pays.

Dans la deuxième partie d'étude, il y a deux types d'analyse de la variance. La première concernant la composition des différentes  $F_2$  (croisements et réciproques) et parents en tenant compte de la coloration de barbes soit 38 hybride  $F_2$  et 6 variétés parentales. La deuxième concernant l'analyse Griffing comprenant 30 hybrides  $F_2$  (croisements et réciproques) sans les parents en ignorant les différences de coloration des barbes au niveau des résultats de la  $F_1$  de Chetmi (2009).

L'analyse de la variance a montré une différence entre génotypes très hautement significative pour le nombre d'épis par  $m^2$ , le nombre total d'épillets, le nombre d'épillets fertiles, la biomasse et le poids de mille grains. Tandis que les caractères rendement en grain (réel et estimé), indice de récolte, nombre de grains par épi et nombre d'épillets stériles ont montré une différence entre génotypes non significative.

Le rendement en grain réel varie du simple au double. Si on se fie à la variabilité génétique du rendement en grain réel et estimé on serait tenté de sélectionner pour ces deux caractères qui peuvent être à la fois un objectif et un critère de sélection. Le choix du rendement en grain comme critère de sélection n'est justifié que dans la mesure où les conditions du milieu permettent l'expression de cette aptitude génétique et comme l'objectif est la recherche de variétés performantes pour le climat méditerranéen qui est connu pour ces conditions environnementales fortes erratiques, le rendement ne peut pas être retenu comme seul critère de sélection. Il serait donc plus judicieux de sélectionner pour d'autres caractères présentant une forte corrélation avec le rendement.

D'après les coefficients de détermination, la présence d'une variabilité phénotypique du rendement est due principalement à la variabilité de l'indice de récolte, de la biomasse aérienne, du nombre d'épillets fertiles et du poids de mille grains. Nous concluons que 14,62% de la variabilité du rendement en grain est expliqué par l'indice de récolte et 17,54 % par la biomasse aérienne. Pour le rendement en grain estimé c'est 35,88% pour la biomasse aérienne et 21,63% pour le poids de mille grains.

L'analyse de la variance des aptitudes à la combinaison réalisée selon le modèle de Griffing (1956) fait ressortir des effets d'AGC et d'ASC non significatifs pour la majorité des caractères étudiés. Des différences significatives ont été enregistrées entre les génotypes pour leurs aptitudes générale et spécifique à la combinaison pour le nombre d'épis par mètre carré. L'existence d'une telle différence indique que les actions géniques additives et de dominance sont toutes deux importantes dans le contrôle de ce caractère. La variabilité en AGC dépendra de l'aptitude d'un

génotype à bien compléter ses partenaires et aussi de quelques gènes dominants à effet fort mais ne pouvant s'extérioriser qu'avec une bonne complémentarité dans le reste du génome.

La variété Chen's montre une bonne AGC pour le nombre d'épis par m<sup>2</sup> (Ce caractère est étroitement lié au rendement en grain réel d'où son importance pour la sélection).

Les AGC élevées nous renseignent sur la capacité des variétés à transmettre leurs caractères à leurs descendants, cependant pour les caractères précocité à la floraison, on peut préférer des génotypes avec des AGC élevés (transmission de la tardivité) ou bien des génotypes avec des AGC faibles (transmission de la précocité), cela est valable pour la hauteur de la tige (AGC positive élevée pour une grande hauteur de la tige et AGC négative et élevée pour une hauteur de tige courte).

L'estimation des aptitudes spécifiques à la combinaison permet de caractériser la déviation entre la valeur observée d'un hybride simple et sa valeur attendue sur la base de l'aptitude générale à la combinaison des lignées parentales. On note les plus fortes valeurs d'aptitude spécifique à la combinaison chez l'hybride Carioca\*Chen's suivi de l'hybride Ardente\*Siméto.

La variance due à l'AGC comporte la variance additive et la variance d'épistasie « cis » alors que celle de l'ASC inclue la dominance et l'épistasie « trans ». Le rapport de la variance de l'aptitude générale ( $2 \text{ Var } g$ ) à celle de l'aptitude spécifique ( $\text{Var } s$ ) est une estimation des effets additifs par rapport aux effets de dominances.

Le rapport AGC / ASC est faible pour le nombre d'épis par mètre carré. Pour ce caractère les effets non additifs sont prédominants.

La détermination de l'effet hétérotique par rapport au parent moyen met en évidence les écarts à l'additivité (dominance partielle et totale) et la référence au meilleur parent souligne les effets de superdominance. L'hétérosis pour un caractère donné est d'autant plus élevé que les parents de l'hybride se complètent pour les gènes impliqués dans la variation du caractère.

Les hybrides Ardente\*Siméto BN, Carioca\*Chen's BB, Siméto\*Carioca BN, Chen's\*GTA dur BN, GTA dur\*Chen's BB, Chen's\*Siméto BN, Siméto\*Chen's BN et Latino\*Siméto BN ont présenté des hétérosis élevés par rapport au parent moyen pour le nombre d'épis par mètre carré. L'hybride Latino\*Siméto BN a enregistré des hétérosis élevés pour le nombre d'épillets fertiles, et le poids de la biomasse aérienne. L'hybride Carioca\*Chen's BB a enregistré également des hétérosis élevés par rapport au parent moyen pour les caractères suivants : nombre d'épillets fertiles, et le poids de la biomasse aérienne.

L'efficacité de la sélection pour les caractères quantitatifs c'est-à-dire la facilité avec laquelle le caractère observé se transmet à la descendance dépend des valeurs génétiques. La technique des essais diallèles permet de juger de la valeur des hybrides obtenus à partir d'un stock de lignées dont on ne connaît pas a priori les aptitudes à la combinaison.



## Références bibliographiques

### A

1. Abbassene F., Bouzerzour H. et Hachemi L., 1997. Phénologie et production de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride d'altitude. *Annales agronomiques de l'INA*, Alger, 18 : 24-36.
2. Abbassene F., Bouzerzour H. et Hachemi L., 1998. Taux et durée de la phase de remplissage chez 14 génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride. *Recherche agronomique. INRAA*, 3 : 9-17.
3. Acevedo E., Connesa A.P., Monneveux P et Strivastav J.P., 1991. Improvement of winter cereals in mediterranean environment. Use of yield morphological and physiological traits. In *physiolgy-breeding of winter cereals for stressed mediterranean environments*. Ed INRA-ICARDA.Montpellier. Colloques N° 55, pp 273-306
4. ACIA., 2006. La biologie de *triticum turgidum ssp. Durum*. Agence Canadienne d'Inspection des Aliments., 12 p. (En ligne)  
<http://www.inspection.gc.ca/francais/paveg/bio/dir/dir0607f.shtml>
5. Adda A., 1996. Contribution à l'étude des caractéristiques morphologiques, physiologiques et anatomiques de la productivité chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans une zone semi-aride. *Mém. Ing. INA, El Harrach*. 114 p.
6. Ahmad Z., Kumar P., Katyar R.P. et Cupta R.R.,1979. Heterosis in macaroni wheat. *Indian J. Gene. Plant. Breed.*, 39 : 279-284.
7. Aït Kaki Y., 1993. Contribution à l'étude de mécanismes morphologiques et biochimiques de tolérance au stress hydriques sur cinq variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Mém. Ing. I.N.S.n Annaba*. 129 p.
8. Akçura M., Kaya Y. et Taner S., 2005. Genotype x environ,ent interaction and phenotypic stability for grain yield of durum wheat in the central Anatolian region. *Turk J. Agri. For.* 29 : 369-375.
9. Al Hakimi A., 1992. Evolution de la variabilité génétique des caractères d'adaptation à la sécheresse chez les espèces primitives (sauvages et cultivées) de blé tétraploïde. *Mém. DEA., Université de Montpellier, France*. 60 p.
10. Albert M.J.A., 2004. A comparison of statistical methods to describe genotype x environment interaction and yield stability in multi-location maize trials. *Mém. Mag. University of Free State, Bloemfontein*. 96 p.
11. Ali Dib T., 1992. Etude de la tolérance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Etude des caractères phénologiques et morphologiques d'adaptation. Thèse. Doctorat. ENSA, Montpellier. 186 p.
12. Amigues J.P., Debacke P., Itier B., Lemaire G., Seguin B., François T. et Alban T., 2006. Sécheresse et agriculture réduire la vulnirabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport d'expertise réalisé par l'INRA à la demande du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche. 76 p. (en ligne)  
<http://www.inra.fr/content/download/8335/114576/version/1/file/expertise-secheresse-synthese.pdf>.

13. Amokrane A., 2001. Evaluation et utilisation de trois sources de germplasm de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mém. Mag. Institut d'Agronomie, université Colonel El Hadj Lakhedar, Batna. 80 P.
14. Annicchiarico P. et Pecetti L., 1993. Contribution of some agronomic traits to durum wheat performance
15. Annicchiarico P., 2002. Génotype by environment interactions : challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. FAO. Italy. 174 p.
16. Auriou P., Doussinault G., Jachier G., Leconte C., Pierre J., Pluchard P., Rousset M., Saur L. et Trottet M., 1975.. Recherches sur la vigueur hybride chez le blé. *Ann. Amél. Plant.*, 25 (2): 177-199.
17. Austin R.B., Bingham J., Blackwell R.D., Evans L.T., Ford M.A., Morgan C.L. et Taylor M., 1980. Genetic improvements in winter wheat yield since 1900 and associated physiological changes. *The journal of agricultural science, Cambridge*, 94: 675-689.

### B

18. Bagga A.K., Rowali N.K. et Asana R.D., 1970. Comparison of response of some Indian and semi dwarf Mexican wheat to unirrigated cultivation. *Agr. Sci.*, 40: 421-427.
19. Bahlouli F., Bouzerzour H. et Benmahammed A., 2001. Etude de la réponse à la sélection de la précocité chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zones semi-arides d'altitude. *Ann. INA*, 22 (1 et 2): 1-25.
20. Bahlouli F., Bouzerzour H. et Benmahammed A., 2008. Effets de la vitesse et de la durée du remplissage du grain ainsi que de l'accumulation des assimilats de la tige dans l'élaboration du rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans les conditions de culture des hautes plaines orientales d'Algérie. *Biotechnol. Agron. Sos. Environ.* 12(1) : 31-39.
21. Baiely Th.B., Quadset C.O. et Cox D.E., 1980. Predicting heterosis in wheat. *Crop science*, 20: 339- 342.
22. Baldy C., 1973. Progrès récent concernant l'étude du système racinaire du blé (*Triticum sp.*). *ann. Agron.*, 24 (2): 241-276.
23. Baldy C., 1974. Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques : leur influence sur la production des principales zones céréalières d'Algérie. MARA. Projet céréales. Alger. 152 p.
24. Barbottin A., 2004. Utilisation d'un modèle de culture pour évaluer le comportement des génotypes: Pertinence d'utilisation d'Azodyn pour analyser la variabilité du rendement et de la teneur en protéines du blé tendre. Thèse pour l'obtention du titre de Docteur de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon, discipline: Agronomie. 237 p. (En ligne). [http://pastel.paristech.org/1262/01/th%C3%A8se\\_Aude\\_Barbottin.pdf](http://pastel.paristech.org/1262/01/th%C3%A8se_Aude_Barbottin.pdf).
25. Belaid D., 1986. Aspects de la céréaliculture Algérienne. OPU, Ben Aknoun, Alger. 207 p.
26. Belhassen E., 1996. Drought Tolerance in Higher Plants: Genetical, Physiological and Molecular Biology Analysis. *Plant Growth Reg.* 20. pp. 79-103.

27. Bell G, 2008. Selection, the mechanism of evolution. Ed. OXFORD university press. 568 p.
28. Ben Abdallah N. et Bensalem M., 1993. Paramètres morphologiques de sélection pour la résistance à la sécheresse des céréales. In. *Tolérance à la sécheresse des céréales en zones méditerranéennes : diversité génétique et amélioration variétale*. Monneveux P. et Belhassen E., Ed. INRA, Montpellier (France). *Les colloques*, 64 : 83-99.
29. Benbelkacem A. et Kellou K., 2000. Évaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) cultivées en Algérie. Actes du premier symposium international sur la filière blé : enjeux et stratégies. ITGC. Février 2000 : 123-131.
30. Bendjama O., 1977. Contribution à l'étude de l'élaboration du rendement de quelques variétés de blé dur en fonction des densités de semis dans les conditions écologiques d'El Khroub. Mém. Ing. INA. 105 P.
31. Berbigier A., 1964. Etude d'un croisement diallèle chez l'orge. *Ann. Amél. Plant.*, 14 (2) : 139-259.
32. Bernicot MH., 1995. Les variétés de blé dur : Les performances en 2004. *Cultivar*, n° 387. Pp : 50-57.
33. Bernicot M. et Braune Ph., 1994. Le point de départ. Blé dur objectif qualité. ITCF. pp 34-35.
34. Beversdorf W.D., 1993. Méthodes traditionnelles de la sélection des plantes : un aperçu historique destiné à servir de références pour l'évaluation du rôle de la biotechnologie. Organisation de coopération et du développement économique. Paris. Pp : 11-26.
35. Bhowmik A., Ali M.S. et Sadeq Z., 1990. Genetic analysis of karnel weight in wheat (*Triticum eastivum* L.). *Bangladech J. Bot.*, 19: 21-27.
36. Blum A., Shipler L., Golan G. et Mayer J. (1989). Yield stability and canopy temperature of wheat genotypes under drought stress. *Field Crop Research*, 22: 289-296.
37. Boisgontier D., 1985. Maîtrise de la densité du semis des céréales. *Cultivar*, 185 : 85-88.
38. Bonjean A. et Picard E., 1990. Les céréales à paille : Origine – Histoire – Economie – Sélection. *Softword/ITM*. Pp : 14-167.
39. Boufenar-Zaghouane F., et Zaghouane O., 2006. Guide de principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine). 1<sup>ère</sup> édition. Institut Technique des Grandes Culture ITGC-ICARDA, El Harrach – Algérie. 154 p.
40. Boukecha D., 2001. Etude agronomique et génétique de la tolérance à la sécheresse de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mém. Mag. INA, El Harrach, Alger. 131 p.
41. Boulal H., Zaghouane O., El mourid M et Rezgui S. 2007. Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orges) dans le Maghreb (Algérie, Maroc et Tunisie). Co-edition ITGC/INRA/ICARDA. 176 p.

42. Bouraine S., 2006. Etude comparative de quelques lignées F9 de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mém. Ing. INA. El Harrach. Alger. 78p.
43. Bouzerzour H., 1990. Caractéristiques d'adaptation des orges destinées aux hauts plateaux. *Céréaliculture*, 23 : 11-18.
44. Bouzerzour H., 1998. Sélection pour le rendement en grain, la précocité, la biomasse aérienne et l'indice de récolte sur les orges en zones semi-ares. Thèse Doctorat d'Etat, Université Mentouri, Constantine, 170 p.
45. Bouzerzour H., 2000. Stabilité des performances et caractéristiques phéno-morphologiques de quelques variétés de blé dur issues d'une sélection multilocale. Actes du premier symposium international sur la filière blé : enjeux et stratégies. ITGC. Février 2000 : 187-196.
46. Bouzerzour H. et Oudina M., 1989. Variabilité du rendement de l'orge sous l'influence du climat des hauts plateaux. In. Séminaire W.O.M. Ed. ICARDA. Pp : 110-119.
47. Bouzerzour H. et Monneveux P., 1993. Analyse des facteurs de stabilité du rendement de l'orge dans les conditions des hauts plateaux de l'est algérien. In. Tolérance à la sécheresse des céréales en zones méditerranéennes : diversité génétique et amélioration variétale. Ed. INRA. Paris. Les colloques, 64 : 139-158.
48. Bouzerzour H. et Benmahammed A., 1995. Analyse graphique d'un croisement diallèle d'orge. *Céréaliculture*, 28 : 9-12.
49. Bouzerzour H. et Djekoune A., 1996. Etude de l'interaction génotype x lieu du rendement de l'orge en semi-aride. *Rev. Scie.et. Tech.* Université de Constantine, 12 : 11-14.
50. Bouzerzour H., Djekoune A. et Benmahammed A., 1996. Analyse du déterminisme génétique et l'indice de récolte dans un croisement diallèle de l'orge (*Hordeum vulgare* L.). *Ann. Agron. INA*, 17 (1 et 2) : 150-158.
51. Bouzerzour H., Djekoune A., Benmahammed A. et Hassous L., 1996. Contribution de la biomasse, l'indice de récolte et la précocité au rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zones semi-arides. *Ann. Agron. INA*, 17 (2) : 193-199.
52. Bouzerzour H., Djekoun A., Benmahammed A. et Hassous K.L., 1998. Contribution de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte et de la précocité au rendement en grain de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zones semi arides d'altitudes. Cahiers d'études et de recherche francophone. Agriculture, méthodes et techniques, (7) 4 : 3-7.
53. Bouzerzour H., Benmahammed A., Hamzoune T., Mimouni H., Bourmel S. et Mekhlouf A., 2000. Stabilité des performances et caractéristiques phéno-morphologiques de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) issues d'une sélection multilocale. Actes du premier symposium international sur la filière blé : enjeux et stratégies. ITGC. Février 2000 : 187-194.
54. Brancourt-Hulmel M., Biarnès-Dumoulin V., Denis JB. 1997. Points de repère dans l'analyse de la stabilité et de l'interaction génotype milieu en amélioration des plantes. Ed. ELSEVIER/INRA. Agronomie, 17. Pp : 219-246.

55. Brancourt-Hulmel M., 2000. Sélection variétale et milieu : Sélection pour l'adaptation au milieu et prise en compte des interactions génotype/milieu. Oléagineux, Corps Gras, Lipides. Vol.7. N.6. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Pp : 504-511.
56. Braune Ph., 1996. Cultiver la qualité. Blé dur objectif qualité. ITCF. pp 32-33.
57. Brisson N., Caal M.I., Antonioletti R. et Gate P., 1996. Un modèle dynamique du blé dur qui stimule certains mécanismes de résistance à la sécheresse. Ed. Egypte national comity, official sustainability of agriculture. Work scap on irrigation and drainge. 47<sup>th</sup> international executive council meeting, Cairo, Egypte. Pp: 223-243.
58. Brisson N., Mary B., Ripoche D. et Jeuffroy MH., 1998. STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomie*, 18 : 311-346.
59. Brown J., Caligari P. D. S., 2008. An introduction to plant breeding. Blackwell Publishing, USA. 209 p..

### C

60. Calvet G., et Viellemin P. 1986. Interprétation des analyses de la terre. Tome I. P.A.S centre de recherche S.C.P.A., Aspach le bas, 15p.
- 61.
62. Chetmi D., 2009. Etude comparative de quelques variétés de blé dur *Triticum durum* Desf.) et analyse diallèle de leurs hybrides F1. Mém. Mag. INA, El Harrach, Alger. 140 p.
63. Cockram J., Jones H., Leigh F.J., Donal O'Sullivan, Powell W., Laurie D.A., Greenland A.J., 2007. Control of flowering time in temperate cereals: genes, domestication, and sustainable productivity. In: *Journal of Experimental Botany*, Vol. 58, No. 6, pp. 1231–1244.
64. Cook J., Jahson V.A. et Allan R.E., 1993. Méthode traditionnelles de sélection des plantes : un aperçu historique destiné à servir de référence pour l'évaluation du rôle de la biotechnologie moderne. OCDE. Pp : 39-41.
65. Couvreur F., 1981. La culture de blé se raisonne. *Cultivar*, 140 : 39-41.
66. Couvreur F. et Masse J., 1983. Formation du rendement et niveau de production. *Perspectives agricoles*, 32 : 8-11.
67. Couvreur F., 1985. Formation du rendement du blé et risques climatiques. *Perspectives agricoles*, 95 : 12-15.
68. Crossa, J., 1990. Statistical analyses of multilocation trials. *Advances in Agronomy* 44: 55-85.

### D

69. Dakheel A.J., Nadji I., Mahalazkshmi V. et Peacock J.M. (1993). Morphological traits associated with adaptation of durum wheat to harsh Mediterranean environments. *Aspects of Applied Biology*, 34: 297-307.
70. Demarly, Y., 1963. Génétique des tétraploïdes et amélioration des plantes. *Ann. Amél. Plant.*, 13 (4) : 307-498.

71. Demarly, Y., 1977. Génétique et amélioration des plantes. Ed. MASSON, 520p.
72. Demarly Y. et Sibi M., 1996. Amélioration des plantes et biotechnologies. Ed John libbey. Eurotext Aupelf. London-Paris. 151 p.
73. Djebrani M., 2000. Adaptation au déficit hydrique de quatre variétés de blé dur. Actes du premier symposium international sur la filière blé : enjeux et stratégies. ITGC. Février 2000 : 161-170.
74. Doussinault G., Kaan F., Leconte C. et Monneveux P. 1992. Les céréales à paille, présentation générale. In : Amélioration des espèces végétales cultivées : objectifs et critères de sélection. INRA (Ed), pp. 13-21.
75. Duby C. et Robin S., 2006. Analyse en Composantes Principales. Institut National Agronomique Paris – Grignon. 54 p.

#### **E**

76. Eberhart, S.A. et Russell, W.A., 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36-40.
77. Ecochard R. et Huet J., 1961. Contribution à l'étude de la génétique quantitative chez une plante autogame : le blé. *Ann. Amél. Plant.*, 11 (1): 25-59.
78. Emebiri L.C., Matassa V. et Moody D.B, 2005. GENSTAT Programs for Performing Muir's Alternative Partitioning of Genotype-by-Environment Interaction. *Journal of Heredity*, 96 (1) :78–79.
79. Erroux J., 1974. Agronomie méditerranéenne. Tome I. Le milieu méditerranéen et ses problèmes. Les cultures vivrières en Algérie. 387 p.
80. Essad S., 1982. Amélioration des céréales à pailles. In : L'INRA et les céréales à pailles. INRA, paris. pp. 41-44.

#### **F**

81. Falconer, D., 1972. Introduction to quantitative genetics par Olivier and Royd. Ed. Masson et Cie, 284p
82. Falconer, D.S., 1974. Introduction à la génétique quantitative. Ed. Masson et Cie, Paris. 284p.
83. Feldmann P., Feyt H., 2002. L'amélioration des plantes et la production de matériel végétal. In: Mémento de l'agronome, Quae (Ed.), CIRAD-GRET. pp. 567-582.
84. Finlay, K.W. et Wilkinson G.N., 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.* 14: 742-754.
85. Fisher R.A. et Maurer R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Gain yield responses. *Aust. J. Agr. Res.*, 29: 897-912.
86. Freeman, G.H., 1973. Statistical methods for the analysis of genotype-environment interactions. *Heredity* 31: 339-354.

## G

- 87.** Gallais A., 1976. Sur la signification de l'aptitude générale à la combinaison. *Ann. Amél. Plant.*, 26 (1) : 1-13.
- 88.** Gallais A., 1978. Amélioration des populations, méthodes de sélection et création de variétés. Bases théoriques pour l'étude de la sélection récurrente réciproque. *Ann. Amél. Plant.*, 26 (1) : 1-13.
- 89.** Gallais A., 1990. Théorie de la sélection en amélioration des plantes. Masson. Paris. 588 p.
- 90.** Gallais A., 1992. Bases génétiques et stratégie de sélection de l'adaptation générale. *Sel Fr*, 42 : 59-78.
- 91.** Gate P., 1995. Ecophysiologie du blé : de la plante à la culture. Ed. Tec Doc. Lavoisier. Paris. 429 p.
- 92.** Gate P. et Masse J., 1990. La maturation. ITCF. Service plantes-climats. 10 p.
- 93.** Gate P., Bram P., Coleneune S., Briffieux G., 1990. Pour les céréales a paille, à chaque variété son époque de semis. *Perspectives Agricoles*, 14.pp. 824-827.
- 94.** Gate P., Bouthier A., Wozrica K. et Manzo M.E., 1992. La tolérance de variétés de blé tendre d'hiver à la sécheresse : Premier résultat ITCF. *Perspectives agricoles*, 145 : 17-27.
- 95.** Gate Ph., Bouthier A., Casabianca H. et Deleensa E., 1993. Caractères physiologiques décrivant la résistance à la sécheresse des blés cultivés en France : Interprétation des corrélations entre le rendement et la composante isotopique du carbone des gains. In : *Tolérance à la sécheresse des céréales en zones méditerranéennes : diversité génétique et amélioration variétale*. Monneveux. et Belhassen E., Ed. INRA, Montpellier, France. *Les colloques*, 64 : 61-73.
- 96.** Goujon C. et Paquet J., 1968. Contribution à l'étude de la vigueur hybride chez le blé tendre, essai de rendement en semis d'automne. 65-66 et 66-67. *Ann. Amél. Plant.*, 18: 232-235.
- 97.** Gonzalez Garcia MR., 2001. Interacción genotipo x ambiente en guisante proteaginoso (*Pisum sativum* L.). Thèse de doctorat. Université E. T. S. Ingenierías Agrarias, Espagne. 160 p.
- 98.** Grignac P., 1977. Le blé dur : monographie succincte. *Annales de l'INA 1978*. 15p.
- 99.** Grignac P., 1981. Rendement et composantes du rendement de blé d'hiver dans l'environnement méditerranéen français. In. *Limites de potentialités de production de blé dans différents systèmes de culture et dans différentes zones méditerranéennes*. Ed. 11. Les colloques, 1178 : 185-195.
- 100.** Guettouche R., 1998. Contribution à l'étude des caractères morpho-physiologiques d'adaptation à la sécheresse du blé dur. Thèse Magister. 136 p.
- 101.** Guttieri M.J., Stark J.C, O'Brien K. et Souza E., 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. *Crop science*, 41: 327-335.

## *H*

- 102.** Hamadache A. et Abdellaoui Z., 2000. Effet du précédent cultural, en relation avec la fertilisation azotée et le désherbage chimique sur la productivité du blé dur en zone sub-humide. Acte du premier symposium sur la filière Blé 2000 : enjeux et stratégies. ITGC. Février 2000, pp 105-117.
- 103.** Hardouin JP., Lonnet P., Lemaire P., Haselé H., Trottet M., Bastergue P., Branlard G., Jestain G., Roumet P., Bar C. et Bernicot M., 2002. Sélection variétale des céréales à paille. Dossier Gnis. (En ligne) <http://www.gnis.pedagogie.org/pages/paille/intro.htm>.
- 104.** Harmez F., 1996. Etude de comportement de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et d'orge (*Hordeum vulgare* L.). Mém. Ing. INA, El Harrach, Alger. 80 p.
- 105.** 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. *Annuel of Agric, Sci. Moshtohor*, 34 (2): 487-499.
- 106.** Hayes P.M., A. Castro, L. Marquez-Cedillo, A. Corey, C. Henson, B.L. Jones, J. Kling, D. Mather, I. Matus, C. Rossi and K. Sato, 2003. Genetic diversity for quantitatively inherited agronomic and malting quality traits. In: R.von Bothmer, Th. van Hintum, H. Kniapffer et K. Sato (Eds.), *Diversity in Barley (Hordeum vulgare)*. Elsevier Science B.V., Amsterdam, The Netherlands. pp. 201-226.
- 107.** Hayes P.M., Marquez-Cedillo L., Mundt C.C., Richardson K., Vales M.I., 2006. Perspectives on finding and using quantitative disease resistance genes in barley. In: Lamkey K.R., Lee M. (Eds.), *Plant Breeding: The Arnel R. Hallauer International Symposium*. Blackwell Publishing, Mexico. pp. 182-200.
- 108.** Henin S., Gras R., et Monnier G., 1969. Le profil cultural. Ed. Masson, 2<sup>ème</sup> édition, Paris. 332p.
- 109.** Hervé Y., 1991a. Fonction et base génétique de la sélection végétale. Sélection végétale. Techniques agricoles. Fascicule N° 2340. 10 p.
- 110.** Hervé Y., 1991b. Sélection créatrice, sélection végétale. Techniques agricole. Fascicule N°2341. 27p.
- 111.** Horsley R.D., Franckowiak J.D., Schwarz P.B., 2009. Barley. In: Carena M.J. (Ed.), *Handbook of Plant Breeding, Vol. 3, Cereals*. Springer Science + Business Media, LLC. pp. 227-250.
- 112.** Houassine D., 2004. Adaptation au stress hydrique de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Céréaliculture*, 42 : 29-33.

## *I*

- 113.** INA. P-G., 2003. Botanique et écophysiologie des céréales à paille. Céréales, pp 17-27. (En ligne) <http://138.102.82.2/agronomie/phytotechnie/pdf/cerp.pdf>.
- 114.** Ingold M., 1974. La longueur de la paille dans les hybrides F1 du blé. La recherche agronomique en Suisse, 13, fascicule 112 : 235-243.

**115.** ITGC., 1999. Analyse des contraintes liées à la céréaliculture. Programme de développement de la filière céréale, pp 8-10.

**116.** ITGC, 2006. Variétés de blé cultivées en Algérie. 32 p.

### J

**117.** Jahoor A., Eriksen L., Backes G., 2004. QTLs and genes for disease resistance in barley and wheat. In: P.K. Gupta, R.K. Varshney (Eds.), Cereal Genomics, Kluwer Academic Publishers, the Netherlands. pp. 199-251.

**118.** Jatasra D.S. et Paroda R.S., 1979. Heterosis and combining ability for synchrony traits in wheat. *Indian j. Genet and Plant. Breed.*, 39 (3): 521-528.

**119.** Jonard P., 1964. Etude comparative de la croissance de deux variétés de blé tendre. *Ann. Amél. Plant.*, 14 (2) : 101-130.

**120.** Jouve A. M., 2002. Les contraintes de l'agriculture dans les pays du Maghreb: la question des modèles techniques d'intensification céréalière. *Agroline* 22. ITGC, Alger. pp. 23-25.

**121.** Jouve P. et Daoudi, 1984. Effet de la date de semis sur l'élaboration du rendement du blé tendre et de l'orge en zone semi-arides (Cas du Maroc). *Agri.tropicale*. 39 (3) : 216-228.

**122.** Jung C. et Lelley T., 1985. Genetic interactions between wheat and rye genome in triticale. 2: morphological and yield characters. *Theor. Appl. Genet.*, 70: 427-432.

### K

**123.** Kayyal H., 1973. Caractéristiques agro-écologiques du type Haurani (*Triticum durum* Desf.) et les possibilités de son amélioration. *Ann. Amél. Plant.*, 23 : 245-257.

**124.** Kermiche A., 2000. Sélection mono et multi caractères chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi aride. Thèse Magister, INA, Alger, 51p.

**125.** Khaldoun A., Bellah F. et Mekliche L., 2006. L'obtention variétale en Algérie : cas des céréales à paille. INRA. Alger. 82 p.

**126.** Koornneef M., Peeters A.J.M., 1999. Genetic Approaches to Abiotic Stress Responses. In: Shinozaki K., Yamaguchi-Shinozaki K. (Eds.), Molecular responses to cold, drought, heat and salt stress in higher plants. R.G. Landes Company, Austin, Texas, U.S.A. pp. 1-10.

**127.** Krieg F., 1989. La génétique des caractères quantitatifs : méthodes d'analyse et possibilités d'utilisation. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 314. Pp: 109-117.

### L

**128.** Lafon J.P., Tharaud-Prayer C., Levy G., 1998. Biologie des plantes cultivées. Lavoisier, paris. 150 p.

**129.** Lahlaoui S., El Bouhssini M., Nassarellah M., Nachit M.M. et Amri A., 2000. Biotic stress limiting durum wheat production in Morocco Hessian fly and the Russian wheat aphid: Surveys, loss assesment, and identification of sources of resirtance. Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges = l'amélioration du blé dans les régions méditerranéennes :

nouveaux défis. Zaragora. *Option méditerranéenne*, série A. Séminaires méditerranéens, N° 40. Pp :373-379.

130. Lebbi A., 2008. Etude comparative de quelques lignées généalogiques de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone saharienne. Mém. Ing. INA. El Harrach. Alger. 89p.
131. Lefebvre V. et Pflieger S., 2000. L'approche gène candidat pour la caractérisation moléculaire et fonctionnelle de locus de résistance aux parasites chez les plantes. *Sel Fr*, 51 : 31-45.
132. Li W., Gill B.S., 2004. Genomics for cereal improvement. In: P.K. Gupta, R.K. Varshney (Eds.), *Cereal Genomics*, Kluwer Academic Publishers, the Netherlands. pp. 585-634.
133. Lincy J., 2003. Méthodes en analyse multivariée : voisinage et diversité. Mém. Ing. Université Montpellier II. France. 46 p.
134. Lundqvist, U., J.D. Franckowiak, 2003. Diversity of barley mutants. In: R. von Bothmer, Th. van Hintum, H. Kntipffer, K. Sato (Eds.), *Diversity in Barley (Hordeum vulgare)*. Elsevier Science B.V., Amsterdam, The Netherlands. pp. 77-96.

### *M*

135. MADR., 2006. Statistiques agricoles : superficies et production. MADR. 54 p.
136. Malek N., 2008. Etude comparative de quelques lignées F11 de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en Mitidja. Mém. Ing. INA. El Harrach. Alger. 93p.
137. Mazouz L., 2006. Etude de la contribution des paramètres phéno-morphologiques dans l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans l'étage bioclimatique semi-aride. Mém. Mag. Université du Colonel El Hadj Lakhdar, Batna. 97 p.
138. MDLC, 1993. Mémento de l'agronome, 4<sup>ème</sup> édition. Collection technique rurale en Afrique. 1601p.
139. Mekhlouf A., 1998. Etude de transmission héréditaire des caractères associés au rendement en grain, et de leur efficacité en sélection chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mém. Mag. INA, El Harrach. 63 p.
140. Mekhlouf A. et Bouzerzour H., 2000. Comparaison de l'efficacité de la sélection précoce directe et indirecte pour améliorer le rendement en grain chez le blé (*Triticum durum* Desf.). Mém. Mag. INA, El Harrach. 63 p.
141. Mekliche A., 1976. Etude de la production du blé tendre avec complément d'irrigation. Mém. Ing. INA, El harrach. Alger. 176 p.
142. Mekliche A., Gate PH. Et Bouthier A, 1993. Analyse comparative du comportement du blé tendre et du blé dur à la sécheresse. : *Tolérance à la sécheresse des céréales en zones méditerranéennes : diversité génétique et amélioration variétale*. Monneveux. et Belhassen E., Ed. INRA, Montpellier, France. *Les colloques*, 64 : 299-309.
143. Mekliche L. et Sehabi M., 2001. Comparaison du l'effet du stress hydrique sur le rendement, les composantes du rendement et l'indice de récolte chez quelques variétés d'orge et leurs descendances F1. *Céréaliculture*, 36 : 44-49.

- 144.** Mekliche-Hanifi L., Mekliche A. et Monneveux P., nd. Interaction génotype x environnement de quelques lignées d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en Algérie. 19 p.
- 145.** Meynard JM. et David G., 1992. Diagnostic sur l'élaboration du rendement des cultures. *Cahiers Agricultures*, 1 : 9-19.
- 146.** Mignon-Grasteau S., 2007. Prise en compte des interactions entre génotype et environnement dans les productions avicoles. INRA, France. *Septièmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 28 et 29 mars 2007*. Pp : 386-393.
- 147.** Mihoub I., 2007. Etude comparative de quelques lignées F10 de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mém. Ing. INA. El Harrach. Alger. 93p.
- 148.** Mohamed Yahiaoui L., 2008. Etude comparative de quelques lignées généalogiques de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en Mitidja. Mém. Ing. INA. El Harrach. Alger. 82p.
- 149.** Monneveux P., 1989. Quelles stratégies pour l'amélioration de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver ? Journée scientifique de l'AUPELF : amélioration des plantes pour l'adaptation au milieu aride (Tunis, 9 décembre 1989). 22 p.
- 150.** Monneveux P., 1991. Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hivers? L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed John Libbey Eurotext .AUPELF-UREF, pp 165-186 (En ligne). <http://www.bibliotheque.refer.org/livre26/12614.pdf>.
- 151.** Monneveux P. et Depignby-This D., 1995. Intégration des apports physiologiques, génétiques et moléculaires pour l'amélioration de la tolérance à la sécheresse chez les céréales. Quel avenir pour l'amélioration des plantes ? L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext, pp 165-186. (En ligne). <http://bibliotheque.refer.org/livre29/12916.pdf>.
- 152.** Mosseddaq et moughli L., 1999. Fertilisation azotée des céréales, cas des blés en bour et en irrigué. *Bulletin de transfert de technologies en agriculture*, 62. 4 p.
- 153.** Mouret J.C., Conésa A.P., Bouchier A., Gaid M. et Ould Said O., 1991. identification de facteurs de variabilité du rendement du blé dur en conditions hydriques limitantes dans la région de Sidi Bel-Abbes. Ed. INRA, France. *Les colloques*, 55 : 35-47.
- 154.** Muir W, Nyquist WE, and Xu S, 1992. Alternative partitioning of the genotype-by-environment interaction. *Theor Appl Genet*, 84:193–200.

## N

- 155.** Nachit M.M. et Jarret M., 1986. Association of morphological characters to yield in durum wheat under Mediterranean dry land conditions. *Rachis*, 5 (2): 33-34.
- 156.** Nachit M.M. et Ketata H., 1989. Breeding strategy for improving durum wheat in Mediterranean rainfed areas. Proceeding of 4<sup>th</sup> international wheat conference. 2-9 may, Rabat. Pp : 42-56.

## O

- 157.** ONGIC., 2007. Marché du blé dur analyses et perspectives. Les cahiers de l'ONGIC. 54 p.
- 158.** Ortiz-Ferrera G., Yau s.k. et Assad Moussa M., 1991. Identification of agronomic traits associated with yield under stress conditions. *In*. Physiology breeding of winter cereals for stress in Mediterranean environments. *Les colloques*, 55. Ed. Montpellier. INRA, Paris. Pp: 67-88.
- 159.** Oury F.X., Brabant P., Pluchard P., Bernard P. et Rousset M., 1990. Etude multilocale des blés hybrides : niveau d'hétérosis et élaboration du rendement. *Agronomie*, 10 : 291-201.

## P

- 160.** Peccaud F.X., 1987. Blé de l'idiotype à la culture idéale. *Recherches agronomes en Suisse*, 26 (1 et 2) : 107-109.
- 161.** Pfeiffer W.H., Sayre K.D. et Reynolds M.P., 2000. Enhancing genetic grain yield potential and yield stability in durum wheat. *Durum wheat improvement in the Mediterranean region / New challenges = L'amélioration du blé dur dans la région méditerranéenne : Nouveaux défis*. Zagagora. Option Méditerranéenne : Série A. Séminaires Méditerranéens. N° 40, pp 83-93.
- 162.** Poehlman J.M., Sleper D.A., 1995. *Breeding Field Crops*. 4<sup>ème</sup>ed. The Iowa State University Press, USA. 494 p.

## R

- 163.** Rachedi MF., 2003. Les céréales en Algérie : problématique et option de réforme. *Céréaliculture*. N° 38, pp 6-9.
- 164.** Rapilly F., Lemoir J. M., Cassini R., 1971. Les principales maladies cryptogamiques des céréales. 189 p.
- 165.** Rivoal R., Person-Dedryves S., Doussinault G. et Mornet V, 1986. Intérêt et possibilité d'utilisation de la résistance des céréales en Nématodes. Les résistances génétiques dans les systèmes de protection des cultures céréalières contre les champignons, virus et nématodes. *Les colloques de l'INPV*. N° 35, pp 57-64.

- 166.** Rousset H., 1978. Amélioration du blé tendre pour sa valeur d'utilisation. *Ann. Amél. Plant.*, 8 (2): 45-81.

## S

- 167.** Schvartz C., Muller C., et Decroux J. 2005. Guide de la fertilisation raisonnée. Ed. France Agricole, Paris. 414 p.
- 168.** Sharma S.K. et Singh K.P., 1989. Manifestation of heterosis for grain weight in wheat. *Indian J. genet.*, 49 (1) : 59-62.
- 169.** Scharma R.C. et Smith E.L., 1986. Selection for high and low harvest index in three winter wheat populations. *Crop science*, 26: 1147-1150.
- 170.** Scheisguth B., 1969. Sélection pour la vigueur hybride. Bulletin de l'association des sélectionneurs français, le sélectionneur français, 7 : 5-42.
- 171.** Sehabi M., 2000. Etude génétique et agronomique de la tolérance à la sécheresse chez quelques variétés d'orge (*Hordeum vulgare L.*). Mém. Mag. INA, El Harrach, Alger. 87 p.

- 172.** Shukla, G.K., 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype- environmental components of variability. *Heredity* 29, 237-245.
- 173.** Siddique K.H.M., Kirby E.J.M. et Perry M.W., 1989. Ear: stem ratio in old and modern wheat varieties: relationship with improvement in number of grains per ear and yield. *Field Crops Res.* 21: 59-78
- 174.** Simon H., Codaccioni P. et Lecoeur X., 1989. Produire des céréales à paille. Tec Doc. France. 333 p.
- 175.** Simmonds N.W., 1986. Stratégie de sélection pour la résistance aux maladies. In : sélection pour la résistance durable aux maladies et aux ravageurs. FAO, Rome. Pp. 14-25.
- 176.** Singh T. et Mishra D.P., 1990. Heterosis and inbreeding depression in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *EM. Thell. Narendra. Deva J. Agri. Res.*, 6(2) : 178-187.
- 177.** Singh G. et Nanda G.S., 1989. Estimation of gene action through triple test cross in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *EM. Thell. Narendra. Deva J. Agri. Res.*, 5(1) : 128-131.
- 178.** Soltner D., 2005. Les grandes productions végétales, Phytotechnie spéciale. 20<sup>ème</sup> édition. Collection sciences et techniques agricoles. Paris. France. 472p.
- 179.** Stanca A.M., Romagosa I., Takeda K., Lundborg T., Terzi V., Catfivelli L., 2003. Diversity in abiotic stress tolerances. In: R. von Bothmer, Th. van Hintum, H. Kniipffer, K. Sato (Eds.), Diversity in Barley (*Hordeum vulgare*). Elsevier Science B.V., Amsterdam, The Netherlands. pp. 179-199.
- 180.** St-pierre C., Monneveux P. et Comeau A., 1991. Tolérance génétique des céréales au VJNO et à la sécheresse. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed AUPELF-UREF. John Libbey, pp 35-50. (En ligne) <http://www.bibliotheque.refer.org/livre26/12604.pdf>.

## T

- 181.** Talamali L., 2004. La libération du marché des céréales en Algérie. Office Algérien Interprofessionnel des Céréales OAIC. La Nouvelle République. Algérie. 14-16P p.
- 182.** Tapsell C.R. et Thomas W.T.B., 1983. Cross prediction studies on spring barley. 2: estimation of genetical and environmental control of yield and its component characters. *Theor. Appl. Genet.*, 64 : 353-358.
- 183.** Tarkeshwar S. et Mishra D.P., 1990. Heterosis and inbreeding depression in bread wheat. *Narandra Deva J. Agric. Res.*, 5 (1) : 128-131.
- 184.** Taureau J.C., 1987. Variabilité de réponse du blé aux doses croissantes d'azote dans les themarrais. *Perspectives agricoles*, 114 : 17-36.
- 185.** Triboi E., 1987. Etude du potentiel génétique de production du blé tendre à travers la structure et le fonctionnement du peuplement. In. A.T.P écophysiologie du blé. Rapport intermédiaire. INRA, France. Pp: 91-105.

**186.** Trotter M., 1986. Prise en compte de ce phénomène par la sélection. Les résistances génétiques dans les systèmes de protection des cultures céréalières contre les champignons, virus et nématodes. Les colloques de l'INRA, N° 35, pp 65-72.

### V

**187.** Veldhuyzen van Zenta JE., 1993. Méthodes traditionnelles de la sélection des plantes : un aperçu historique destiné à servir de références pour l'évaluation du rôle de la biotechnologie. Organisation de coopération et du développement économique. Paris. Pp : 7-10.

**188.** Verrier E., Brabant P. et Gallais A., 2001. Faits et concepts de base en génétique quantitative. Institut National Agronomique Paris-Grignon. 133 p.

**189.** Vespa R., 1984. Les semences des cereals à paille. Ed. Nouvelle librairie. 96p.

**190.** Vilain M., 1989. La production végétale. Vol 1. les composantes de la production. Lavoisier. Vol. II. Paris- France. 416 p.

**191.** Vitkare D.G. et Atale S.B., 1991. Studies on heterosis for the yield attributes in 15 x 15 diallel in wheat (*Triticum eastivum* L.). *PKV Res J.*, 1: 111-116.

### W

**192.** Wricke, G., 1962. ber eine methode zur erfassung der ökologischen Streubreite in feldversuchen. *Z. Pflanzenzüchtg.* 47: 92-96.

### Y

**193.** Yan W., 2001. GGE – A windows application for graphical analysis of multienvironment trial data and other types of two-way data. *Agronomy Journal.* Vol.93. pp: 1111-1118.

### Z

**194.** Zaghouane O., Merabti A., Zaghouane-Boufenar F., Ait abdellah F., Amrani M. et Djender Z., 2006. Durum quality and progressing by rural woman in the region of high plateau in Algeria. ITGC / ICARDA. 38 p.

**195.** Zahour A., 1992. Eléments d'amélioration génétique des plantes. Actes éditions. Institut agronomique et vétérinaire Hassan II. Rabat. 230 p.

**196.** Zarkouna T. et Daaloul A., 1994. Etude de quelques caractères de sélection pour le rendement chez le blé tendre (*Triticum eastivum* L.) à l'aide d'un croisement diallèle entre sept cultivars. *Revue de l'INAT*, 9 (1 et 2) : 117-131.

**197.** Zouadine N., 1989. Effet de la fertilisation azotée et de la densité de semis sur le comportement d'un blé dur à haut rendement (station d'Oued-Smar). *Mém. Ing., Alger.* 131 p.



# ANNEXES

## Annexe I

### Tableaux d'analyse de la variance (partie interaction géotype x environnement)

**Tableau 1 : Tableau d'analyse de la variance (Nombre d'épis par m<sup>2</sup>)**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F (par rapport à l'interaction)	F (par rapport à la résiduelle)
Génotypes	16	315155,086	19697,193	4,671***	2.324***
Environnements	3	505120,190	168373,397	39,931***	19.869***
Blocs	2	17707,904	8853,952	2,100	1.045
Environnements*Blocs	6	35099,203	5849,867	1,387	
Environnements*Génotypes	48	901757,414	18786,613	4,455***	
Blocs*Génotypes	32	200656,679	6270,521	1,487	
E*G*B	96	404790,380	4216,566		
Total	203	2380286,857			

**Tableau 2 : Tableau d'analyse de la variance (Hauteur de la tige)**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F (par rapport à l'interaction)	F (par rapport à la résiduelle)
Génotypes	16	2949,526	184,345	18,334***	10.731***
Environnements	3	3227,597	1075,866	106,998***	62.627***
Blocs	2	9,573	4,787	0,476	0.279
Environnements*Blocs	6	240,432	40,072	3,985**	
Environnements*Génotypes	48	1597,401	33,279	3,310***	
Blocs*Génotypes	32	330,559	10,330	1,027	
E*G*B	96	965,281	10,055		
Total	203	9320,369			

**Tableau 3: Tableau d'analyse de la variance (longueur de l'épi)**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F (par rapport à l'interaction)	F (par rapport à la résiduelle)
Génotypes	16	38,170	2,386	21,959***	14,118***
Environnements	3	10,121	3,374	31,055***	19,964***
Blocs	2	0,770	0,385	3,543*	2,278
Environnements*Blocs	6	2,193	0,366	3,365*	
Environnements*Génotypes	48	15,923	0,332	3,053***	
Blocs*Génotypes	32	2,297	0,072	0,661	
E*G*B	96	10,429	0,109		
Total	203	79,903			

**Tableau 4 : Tableau d'analyse de la variance (longueur des barbes)**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F (par rapport à l'interaction)	F (par rapport à la résiduelle)
Génotypes	16	128,240	8,015	18,794***	7,353***
Environnements	3	122,524	40,841	95,766***	37,468***
Blocs	2	0,631	0,316	0,740	0,289
Environnements*Blocs	6	1,952	0,325	0,763	
Environnements*Génotypes	48	148,575	3,095	7,258***	
Blocs*Génotypes	32	8,143	0,254	0,597	
E*G*B	96	40,941	0,426		
Total	203	451,006			

**Tableau 5 : Tableau d'analyse de la variance (longueur du col de l'épi)**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F (par rapport à l'interaction)	F (par rapport à la résiduelle)
Génotypes	16	394,261	24,641	16,165***	9,625***
Environnements	3	1353,745	451,248	296,030***	176,268***
Blocs	2	4,297	2,149	1,410	0,839
Environnements*Blocs	6	23,183	3,864	2,535	
Environnements*Génotypes	48	256,923	5,353	3,511***	
Blocs*Génotypes	32	39,512	1,235	0,810	
E*G*B	96	146,336	1,524		
Total	203	2218,257			

**Tableau 6 : Tableau d'analyse de la variance (Nombre d'épillets total)**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F (par rapport à l'interaction)	F (par rapport à la résiduelle)
Génotypes	16	369,226	23,077	28,030***	13,566***
Environnements	3	126,963	42,321	51,405***	24,880***
Blocs	2	2,743	1,372	1,666	0,806
Environnements*Blocs	6	26,297	4,383	5,324***	
Environnements*Génotypes	48	182,343	3,799	4,614***	
Blocs*Génotypes	32	22,049	0,689	0,837	
E*G*B	96	79,036	0,823		
Total	203	808,658			

**Tableau 7 : Tableau d'analyse de la variance (Nombre d'épillets fertiles)**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F (par rapport à l'interaction)	F (par rapport à la résiduelle)
Génotypes	16	323,155	20,197	22,005***	12,782***
Environnements	3	130,475	43,492	47,384***	27,526***
Blocs	2	1,714	0,857	0,934	0,542
Environnements*Blocs	6	28,436	4,739	5,163***	
Environnements*Génotypes	48	149,304	3,111	3,389***	
Blocs*Génotypes	32	23,301	0,728	0,793	
E*G*B	96	88,114	0,918		
Total	203	744,499			

**Tableau 8: Tableau d'analyse de la variance (Nombre d'épillets stériles)**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F (par rapport à l'interaction)	F (par rapport à la résiduelle)
Génotypes	16	25,225	1,577	9,439***	5,819***
Environnements	3	2,906	0,969	5,800**	3,575*
Blocs	2	0,232	0,116	0,695	0,428
Environnements*Blocs	6	3,647	0,608	3,639*	
Environnements*Génotypes	48	21,545	0,449	2,687***	
Blocs*Génotypes	32	8,160	0,255	1,527	
E*G*B	96	16,035	0,167		
Total	203	77,750			

**Tableau 9: Tableau d'analyse de la variance (Nombre de grains par épi)**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F (par rapport à l'interaction)	F (par rapport à la résiduelle)
Génotypes	16	4120,624	257,539	11,486***	7,464***
Environnements	3	1304,184	434,728	19,388***	12,599***
Blocs	2	138,163	69,082	3,081*	2,002
Environnements*Blocs	6	133,703	22,284	0,994	
Environnements*Génotypes	48	3389,725	70,619	3,150***	
Blocs*Génotypes	32	603,784	18,868	0,841	
E*G*B	96	2152,531	22,422		
Total	203	11842,715			

**Tableau 10 : Tableau d'analyse de la variance (précocité à l'épiaison)**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F (par rapport à l'interaction)	F (par rapport à la résiduelle)
Géotypes	16	2941,843	183,865	47,634***	12,445***
Environnements	3	6735,451	2245,150	581,647***	151,966***
Blocs	2	14,941	7,471	1,935	0,505
Environnements*Blocs	6	113,608	18,935	4,905**	
Environnements*Géotypes	48	2079,882	43,331	11,226***	
Blocs*Géotypes	32	124,892	3,903	1,011	
E*G*B	96	370,559	3,860		
Total	203	12381,176			

**Tableau 11 : Tableau d'analyse de la variance (Précocité à la floraison)**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F (par rapport à l'interaction)	F (par rapport à la résiduelle)
Géotypes	16	1857,520	116,095	30,005***	7,912***
Environnements	3	10077,348	3359,116	868,173***	228,947***
Blocs	2	8,745	4,373	1,130	0,298
Environnements*Blocs	6	71,725	11,954	3,090*	
Environnements*Géotypes	48	2133,735	44,453	11,489***	
Blocs*Géotypes	32	93,422	2,919	0,755	
E*G*B	96	371,441	3,869		
Total	203	14613,936			

**Tableau 12 : Tableau d'analyse de la variance (La biomasse aérienne)**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F (par rapport à l'interaction)	F (par rapport à la résiduelle)
Géotypes	16	83299,750	5206,234	3,135***	1,675*
Environnements	3	1685600,858	561866,953	338,315***	180,844***
Blocs	2	2090,305	1045,153	0,629	0,336
Environnements*Blocs	6	28316,599	4719,433	2,842*	
Environnements*Géotypes	48	293165,922	6107,623	3,678***	
Blocs*Géotypes	32	84540,049	2641,877	1,591*	
E*G*B	96	159435,147	1660,783		
Total	203	2336448,630			

**Tableau 13 : Tableau d'analyse de la variance (Le poids de mille grain)**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F (par rapport à l'interaction)	F (par rapport à la résiduelle)
Génotypes	16	1035,425	64,714	4,795***	4,578***
Environnements	2	2257,073	1128,537	83,626***	79,845***
Blocs	2	55,065	27,533	2,040	1,947
Environnements*Blocs	4	86,731	21,683	1,607	
Environnements*Génotypes	32	1208,531	37,767	2,799***	
Blocs*Génotypes	32	413,619	12,926	0,958	
E*G*B	64	863,678	13,495		
Total	152	5920,122			

**Tableau 14 : Tableau d'analyse de la variance (Rendement en grain)**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F (par rapport à l'interaction)	F (par rapport à la résiduelle)
Génotypes	16	6521	408	4,206***	2,177***
Environnements	3	37744	12581	129,701***	67,153***
Blocs	2	738	369	3,804*	1,969
Environnements*Blocs	6	2713	452	4,649*	
Environnements*Génotypes	48	17316	361	3,721***	
Blocs*Génotypes	32	4045	126	1,298	
E*G*B	96	9318	97		
Total	203	85555,889			

**Tableau 15 : Tableau d'analyse de la variance (Rendement estimé)**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F (par rapport à l'interaction)	F (par rapport à la résiduelle)
Génotypes	16	12187,513	761,720	1,906*	1,155
Environnements	3	77749,323	25916,441	64,848***	39,320***
Blocs	2	1581,585	790,792	1,979	1,199
Environnements*Blocs	6	2212,078	368,680	0,923	
Environnements*Génotypes	48	64444,335	1342,590	3,359***	
Blocs*Génotypes	32	14935,599	466,737	1,168	
E*G*B	96	38366,202	399,648		
Total	203	211476,635			

**Tableau 16 : Tableau d'analyse de la variance (Indice de récolte)**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F (par rapport à l'interaction)	F (par rapport à la résiduelle)
Géotypes	16	0,446	0,028	9,331***	4,643***
Environnements	3	1,109	0,370	123,708***	61,359***
Blocs	2	0,034	0,017	5,616*	2,819*
Environnements*Blocs	6	0,102	0,017	5,692***	
Environnements*Géotypes	48	0,535	0,011	3,729***	
Blocs*Géotypes	32	0,174	0,005	1,818*	
E*G*B	96	0,287	0,003		
Total	203	2,685			



## Annexe II

**Tableau 17. Matrice de corrélations entre les différents paramètres (Interaction génotype x milieu)**

	NE/m <sup>2</sup>	HT	LCE	LE	LB	ET	EF	ES	NGE	PE	PF	IR	BA	PMG	RDTe	RDTg
NE/m <sup>2</sup>	<b>1,000</b>															
HT	-0,009	<b>1,000</b>														
LCE	-0,076	<b>0,508</b>	<b>1,000</b>													
LE	<b>-0,257</b>	<b>0,363</b>	0,093	<b>1,000</b>												
LB	-0,177	<b>0,338</b>	<b>0,420</b>	-0,069	<b>1,000</b>											
ET	<b>-0,341</b>	<b>0,437</b>	0,030	<b>0,648</b>	-0,112	<b>1,000</b>										
EF	<b>-0,372</b>	<b>0,508</b>	0,122	<b>0,686</b>	-0,090	<b>0,954</b>	<b>1,000</b>									
ES	0,063	<b>-0,248</b>	<b>-0,256</b>	-0,151	-0,087	0,139	-0,154	<b>1,000</b>								
NGE	<b>-0,549</b>	<b>0,360</b>	0,183	<b>0,630</b>	0,013	<b>0,673</b>	<b>0,781</b>	<b>-0,354</b>	<b>1,000</b>							
PE	-0,200	<b>0,677</b>	0,157	<b>0,326</b>	<b>0,292</b>	<b>0,665</b>	<b>0,617</b>	0,147	<b>0,386</b>	<b>1,000</b>						
PF	-0,151	<b>0,707</b>	<b>0,252</b>	0,201	<b>0,415</b>	<b>0,524</b>	<b>0,493</b>	0,103	<b>0,265</b>	<b>0,944</b>	<b>1,000</b>					
IR	<b>-0,557</b>	<b>-0,396</b>	-0,110	-0,009	0,030	<b>-0,295</b>	-0,193	<b>-0,346</b>	<b>0,272</b>	<b>-0,444</b>	<b>-0,466</b>	<b>1,000</b>				
BA	<b>0,418</b>	<b>0,603</b>	<b>0,313</b>	<b>0,239</b>	0,225	<b>0,452</b>	<b>0,384</b>	0,170	0,038	<b>0,577</b>	<b>0,583</b>	<b>-0,771</b>	<b>1,000</b>			
PMG	<b>-0,463</b>	<b>-0,346</b>	-0,234	-0,089	<b>-0,353</b>	-0,015	-0,079	<b>0,253</b>	0,039	-0,149	-0,179	<b>0,450</b>	<b>-0,548</b>	<b>1,000</b>		
RDTe	<b>0,377</b>	0,160	-0,040	<b>0,295</b>	<b>-0,444</b>	<b>0,327</b>	<b>0,360</b>	-0,121	<b>0,416</b>	0,089	-0,004	-0,175	<b>0,275</b>	0,061	<b>1,000</b>	
RDTg	-0,056	0,015	0,030	<b>0,277</b>	<b>-0,282</b>	<b>0,335</b>	<b>0,398</b>	<b>-0,247</b>	<b>0,588</b>	-0,010	-0,120	<b>0,241</b>	0,114	0,188	<b>0,728</b>	<b>1,000</b>

*En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,050 (test bilatéral)*



### Annexe III

**Tableau 18 : comparaison des moyennes des géotypes pour le nombre d'épis par m<sup>2</sup>**

Géotypes	Moyennes	Groupes			
7	398.125	A			
3	398.541	A			
14	403.541	A	B		
4	422.708	A	B	C	
15	442.708	A	B	C	D
12	444.583	A	B	C	D
13	452.500	A	B	C	D
1	456.250	A	B	C	D
17	457.083	A	B	C	D
9	465.208	A	B	C	D
6	474.166	A	B	C	D
10	484.583		B	C	D
5	486.250		B	C	D
16	496.250			C	D
2	502.916			C	D
8	526.250				D
11	526.458				D

**Tableau 19: comparaison des moyennes des environnements pour le nombre d'épis par m<sup>2</sup>**

Environnements	Moyennes	Groupes	
4	416.176	A	
3	440.735	A	
1	441.960	A	
2	545.392		B

**Tableau 20: comparaison des moyennes des génotypes pour la hauteur de la tige**

Génotypes	Moyennes	Groupes						
11	66.707	A						
17	67.550	A	B					
1	69.645	A	B	C				
13	69.965	A	B	C				
2	70.275	A	B	C	D			
3	71.203	A	B	C	D			
8	71.330	A	B	C	D			
4	71.439		B	C	D	E		
12	71.696		B	C	D	E		
10	72.268			C	D	E		
5	72.793			C	D	E		
9	73.563			C	D	E	F	
16	73.812			C	D	E	F	
15	74.738				D	E	F	
14	76.096					E	F	
6	78.036						F	
7	83.082							G

**Tableau 21 : comparaison des moyennes des environnements pour la hauteur de la tige**

Environnements	Moyennes	Groupes			
4	67.375	A			
1	71.100		B		
3	73.603			C	
2	78.321				D

**Tableau 22: comparaison des moyennes des génotypes pour la longueur de l'épi**

Génotypes	Moyennes	Groupes						
11	5.952	A						
15	6.479		B					
4	6.561		B	C				
9	6.610		B	C				
1	6.623		B	C				
2	6.733		B	C	D			
10	6.764		B	C	D			
6	6.774		B	C	D			
8	6.916			C	D	E		
5	7.005				D	E		
14	7.046				D	E		
13	7.111				D	E		
16	7.158					E		
17	7.175					E	F	
12	7.555						F	G
7	7.602							G
3	7.700							G

**Tableau 23: comparaison des moyennes des environnements pour la longueur de l'épi**

Environnements	Moyennes	Groupes		
4	6.578	A		
1	6.965		B	
2	6.968		B	C
3	7.198			C

**Tableau 24: comparaison des moyennes des génotypes pour la longueur du col de l'épi**

Génotypes	Moyennes	Groupes				
2	14.121	A				
16	15.089	A	B			
8	15.315	A	B	C		
11	15.397	A	B	C		
17	15.596	A	B	C		
13	15.700	A	B	C		
3	16.557	A	B	C		
10	16.587	A	B	C		
7	16.836		B	C		
4	16.875		B	C	D	
12	16.896		B	C	D	
1	17.180		B	C	D	E
14	17.379		B	C	D	E
15	17.676			C	D	E
5	17.810			C	D	E
9	19.360				D	E
6	19.475					E

**Tableau 25: comparaison des moyennes des environnements pour la longueur du col de l'épi**

Environnements	Moyennes	Groupes			
3	13.317	A			
4	15.246		B		
1	18.296			C	
2	19.930				D

**Tableau 26: comparaison des moyennes des génotypes pour la longueur des barbes**

Génotypes	Moyennes	Groupes						
11	9.991	A						
13	10.341	A	B					
2	10.466	A	B	C				
10	10.482	A	B	C				
8	10.533	A	B	C				
17	10.670	A	B	C				
16	10.707	A	B	C	D			
6	11.068		B	C	D	E		
5	11.139		B	C	D	E		
3	11.175		B	C	D	E		
12	11.405			C	D	E		
7	11.480			C	D	E		
1	11.734				D	E	F	
9	11.901					E	F	G
4	11.964					E	F	G
14	12.599						F	G
15	12.935							G

**Tableau 27: comparaison des moyennes des environnements pour la longueur des barbes**

Environnements	Moyennes	Groupes		
1	10.051	A		
3	10.987		B	
4	11.750			C
2	12.057			C

**Tableau 28: comparaison des moyennes des génotypes pour le nombre total d'épillets**

Génotypes	Moyennes	Groupes						
15	15.975	A						
16	16.683	A	B					
14	17.350		B	C				
9	17.408		B	C				
10	17.575		B	C	D			
17	17.575		B	C	D			
1	17.650		B	C	D	E		
11	17.658		B	C	D	E		
4	17.700		B	C	D	E		
2	17.916		B	C	D	E		
6	18.016			C	D	E		
5	18.316			C	D	E		
8	18.391			C	D	E		
12	18.666				D	E	F	
13	18.866					E	F	
3	19.866						F	
7	22.330							G

**Tableau 29: comparaison des moyennes des environnements pour le nombre total d'épillets**

Environnements	Moyennes	Groupes		
4	17.001	A		
3	17.754		B	
1	18.711			C
2	18.989			C

**Tableau 30: comparaison des moyennes des génotypes pour le nombre d'épillets fertiles**

Génotypes	Moyennes	Groupes						
15	15.391	A						
16	15.433	A	B					
4	15.883	A	B	C				
10	16.175	A	B	C	D			
17	16.241	A	B	C	D			
9	16.250	A	B	C	D			
11	16.591	A	B	C	D			
2	16.616		B	C	D	E		
14	16.750			C	D	E		
8	16.800			C	D	E		
6	16.983			C	D	E		
1	17.008			C	D	E		
5	17.083			C	D	E	F	
13	17.375				D	E	F	
12	17.816					E	F	
3	18.241						F	
7	21.019							G

**Tableau 31: comparaison des moyennes des environnements pour le nombre d'épillets fertiles**

Environnements	Moyennes	Groupes		
4	15.782	A		
3	16.560		B	
2	17.610			C
1	17.731			C

**Tableau 32: comparaison des moyennes des génotypes pour le nombre d'épillets stériles**

Génotypes	Moyennes	Groupes					
15	0.591	A					
14	0.591	A					
1	0.675	A	B				
12	0.825	A	B	C			
6	1.025		B	C	D		
11	1.075		B	C	D		
5	1.250			C	D	E	
16	1.300				D	E	
7	1.319				D	E	
2	1.325				D	E	
17	1.350				D	E	
9	1.358				D	E	
10	1.400				D	E	F
13	1.516					E	F
8	1.566667					E	F
3	1.608					E	F
4	1.808						F

**Tableau 33: comparaison des moyennes des environnements pour le nombre d'épillets stériles**

Environnements	Moyennes	Groupes	
1	1.043	A	
3	1.194	A	B
4	1.227	A	B
2	1.379		B

**Tableau 34: comparaison des moyennes des génotypes pour le nombre de grains par épi**

Génotypes	Moyennes	Groupes							
11	38.583	A							
9	40.983	A	B						
8	41.358	A	B						
10	42.033	A	B	C					
2	42.541	A	B	C	D				
16	42.875	A	B	C	D				
4	43.600	A	B	C	D	E			
17	45.191		B	C	D	E	F		
12	46.585			C	D	E	F	G	
5	46.616			C	D	E	F	G	
6	47.050			C	D	E	F	G	
15	47.591				D	E	F	G	
13	48.716					E	F	G	
1	50.308						F	G	H
3	51.483							G	H
7	54.286								H
14	54.308								H

**Tableau 35: comparaison des moyennes des environnements pour le nombre de grains par épi**

Environnements	Moyennes	Groupes	
2	43.379	A	
4	44.025	A	
3	47.570		B
1	49.521		B

**Tableau 36: comparaison des moyennes des génotypes pour la précocité à l'épiaison**

Génotypes	Moyennes	Groupes				
8	95.250	A				
12	96.250	A	B			
4	96.500	A	B	C		
17	96.750	A	B	C		
16	97.583	A	B	C		
13	98.333	A	B	C	D	
1	98.666	A	B	C	D	
15	99.166	A	B	C	D	
11	99.166	A	B	C	D	
6	99.833	A	B	C	D	
5	100.083	A	B	C	D	
10	100.416	A	B	C	D	
14	100.833	A	B	C	D	
9	101.250		B	C	D	
3	102.083			C	D	
2	103.333				D	
7	112.500					E

**Tableau 37: comparaison des moyennes des environnements pour la précocité à l'épiaison**

Environnements	Moyennes	Groupes		
4	90.7647	A		
1	100.6078		B	
3	101.5098		B	
2	106.6471			C

**Tableau 38: comparaison des moyennes des géotypes pour la précocité à la floraison**

Géotypes	Moyennes	Groupes		
8	101.166	A		
16	104.166	A	B	
17	104.250	A	B	
13	104.500	A	B	
4	104.583	A	B	
1	105.000	A	B	
5	105.250	A	B	
12	105.666	A	B	
11	105.916	A	B	
10	105.916	A	B	
14	106.583	A	B	
6	106.916	A	B	
15	107.083	A	B	
3	107.416	A	B	
9	108.000		B	
2	110.250		B	C
7	115.750			C

**Tableau 39: comparaison des moyennes des environnements pour la précocité à la floraison**

Environnements	Moyennes	Groupes			
4	94.921	A			
1	107.117		B		
3	109.686			C	
2	113.784				D

**Tableau 40: comparaison des moyennes des génotypes pour le poids de la biomasse aérienne**

Génotypes	Moyennes	Groupes		
12	209.765	A		
17	213.072			B
15	214.114			B
4	215.649			B
16	220.148			B
9	221.677			B
14	222.660			B
11	223.287			B
2	227.054			B
10	228.880			B
1	232.239			B
13	238.627			B
3	240.300			B
8	240.407			B
5	245.128			B
6	259.386			B
7	294.865			B

**Tableau 41: comparaison des moyennes des environnements pour le poids de la biomasse aérienne**

Environnements	Moyennes	Groupes		
4	142.388	A		
1	196.380		B	
3	206.078		B	
2	383.921			C

**Tableau 42: comparaison des moyennes des géotypes pour le poids de mille grains**

<b>Géotypes</b>	<b>Moyennes</b>	<b>Groupes</b>		
8	48.458	A		
10	50.583	A	B	
17	50.908	A	B	
5	51.716	A	B	
1	51.725	A	B	
16	51.850	A	B	
7	52.091	A	B	
13	52.566	A	B	C
11	52.933	A	B	C
12	53.100	A	B	C
14	53.591	A	B	C
15	53.825	A	B	C
3	54.558	A	B	C
6	55.025		B	C
4	55.450		B	C
9	55.741		B	C
2	58.258			C

**Tableau 43: comparaison des moyennes des environnements pour le poids de mille grains**

<b>Environnements</b>	<b>Moyennes</b>	<b>Groupes</b>		
4	44.141	A		
2	53.190		B	
3	53.503		B	
1	61.490			C

**Tableau 44: comparaison des moyennes des génotypes pour le rendement en grain**

<b>Génotypes</b>	<b>Moyennes</b>	<b>Groupes</b>	
10	66.121	A	
8	67.404	A	
9	67.438	A	
11	69.703	A	B
2	69.974	A	B
3	71.645	A	B
17	71.821	A	B
16	72.839	A	B
15	73.300	A	B
4	74.035	A	B
12	75.669	A	B
7	76.372	A	B
5	79.240	A	B
13	79.260	A	B
14	80.778	A	B
6	84.346		B
1	84.609		B

**Tableau 45: comparaison des moyennes des environnements pour le rendement en grain**

<b>Environnements</b>	<b>Moyennes</b>	<b>Groupes</b>			
4	54.968	A			
2	67.247		B		
1	80.913			C	
3	94.415				D

**Tableau 46: comparaison des moyennes des génotypes pour le rendement estimé**

Génotypes	Moyennes	Groupes				
4	99.9105	A				
9	101.8030	A				
17	102.8528	A				
10	103.0237	A	B			
8	104.9520	A	B			
11	106.1295	A	B			
12	109.0532		B	C		
16	110.1826		B	C	D	
15	110.4525		B	C	D	
3	113.3456		B	C	D	
14	114.8210		B	C	D	E
13	118.3922			C	D	E
7	118.4423			C	D	E
5	118.8214			C	D	E
1	121.6684			C	D	E
2	123.2986			C	D	E
6	123.9756				D	E

**Tableau 47: comparaison des moyennes des environnements pour le rendement estimé**

Environnements	Moyennes	Groupes		
4	80.7297	A		
3	111.8357		B	
2	121.3077		B	
1	133.4504			C

**Tableau 48: comparaison des moyennes des géotypes pour l'indice de récolte**

Géotypes	Moyennes	Groupes						
7	0.307	A						
8	0.327	A	B					
2	0.351	A	B	C				
11	0.364	A	B	C	D			
9	0.364	A	B	C	D			
10	0.371	A	B	C	D	E		
3	0.375	A	B	C	D	E	F	
5	0.376	A	B	C	D	E	F	
6	0.399		B	C	D	E	F	G
13	0.400		B	C	D	E	F	G
16	0.402		B	C	D	E	F	G
4	0.426			C	D	E	F	G
1	0.435065			C	D	E	F	G
14	0.451				D	E	F	G
15	0.457					E	F	G
17	0.460						F	G
12	0.472							G

**Tableau 49: comparaison des moyennes des environnements pour l'indice de récolte**

Environnements	Moyennes	Groupes		
2	0.279	A		
4	0.387		B	
1	0.457			C
3	0.462			C



## Annexe IV

**Tableau 50 :** Classement des géotypes en fonction de leurs performances dans les différents environnements : Rendement en grain (parcellaire)

Géotypes	Classement des environnements selon la performance des géotypes			
	E1	E2	E3	E4
Ardente	4	2	3	<b>1</b>
Ardente*Saadi L3	2	4	<b>1</b>	3
Ardente*Siméto L1	3	2	4	<b>1</b>
Ardente*Siméto L4	<b>1</b>	4	2	2
Ardente*Vitron L1	2	4	<b>1</b>	3
Ardente*Waha L1	3	2	4	<b>1</b>
Ardente*Waha L2	2	<b>1</b>	3	4
Saadi	<b>1</b>	2	3	4
Saadi*Siméto L3	3	2	<b>1</b>	4
Saadi*Waha L3	3	4	2	<b>1</b>
Saadi*Waha L6	4	3	<b>1</b>	2
Saadi*Waha L7	<b>1</b>	4	3	2
Siméto	4	<b>1</b>	2	3
Siméto*Vitron L5	2	<b>1</b>	3	4
Siméto*Vitron L6	3	2	2	<b>1</b>
Vitron	4	<b>1</b>	3	2
Waha	<b>1</b>	4	3	2

**Tableau 51 :** Classement des géotypes en fonction de leurs performances dans les différents environnements : Précocité à l'épiaison

Géotypes	Classement des environnements selon la performance des géotypes			
	E1	E2	E3	E4
Ardente	<b>1</b>	4	2	3
Ardente*Saadi L3	<b>1</b>	4	2	3
Ardente*Siméto L1	2	3	<b>1</b>	4
Ardente*Siméto L4	<b>1</b>	4	3	2
Ardente*Vitron L1	<b>1</b>	4	3	2
Ardente*Waha L1	3	<b>1</b>	2	4
Ardente*Waha L2	3	<b>1</b>	2	4
Saadi	3	4	2	<b>1</b>
Saadi*Siméto L3	3	4	2	<b>1</b>
Saadi*Waha L3	3	4	2	<b>1</b>
Saadi*Waha L6	3	4	2	<b>1</b>
Saadi*Waha L7	3	4	2	<b>1</b>
Siméto	3	4	2	<b>1</b>
Siméto*Vitron L5	3	4	2	<b>1</b>
Siméto*Vitron L6	3	4	2	<b>1</b>
Vitron	3	4	2	<b>1</b>
Waha	3	4	2	<b>1</b>

**Tableau 52 :** Classement des géotypes en fonction de leurs performances dans les différents environnements : Précocité à la floraison

Géotypes	Classement des environnements selon la performance des géotypes			
	E1	E2	E3	E4
Ardente	2	4	3	<b>1</b>
Ardente*Saadi L3	2	3	4	<b>1</b>
Ardente*Siméto L1	2	3	4	<b>1</b>
Ardente*Siméto L4	4	2	3	<b>1</b>
Ardente*Vitron L1	4	2	3	<b>1</b>
Ardente*Waha L1	2	<b>1</b>	4	3
Ardente*Waha L2	<b>1</b>	4	3	2
Saadi	<b>1</b>	2	4	3
Saadi*Siméto L3	<b>1</b>	3	2	4
Saadi*Waha L3	3	4	<b>1</b>	2
Saadi*Waha L6	2	3	<b>1</b>	4
Saadi*Waha L7	3	<b>1</b>	2	4
Siméto	3	2	4	<b>1</b>
Siméto*Vitron L5	<b>1</b>	3	2	<b>1</b>
Siméto*Vitron L6	3	2	4	<b>1</b>
Vitron	3	2	4	<b>1</b>
Waha	<b>1</b>	3	2	4



## Annexe V

**Tableau 53: Tableau d'analyse de la variance du nombre de pieds par m<sup>2</sup>**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F	CV
Génotypes	43	34978,85	813,46	2,03**	10,03
Blocs	2	13855,82	6927,91	17,32	
Blocs*Génotypes	86	59181,66	688,16	1,72	
Total	131	108294,18			

**Tableau 54: Tableau d'analyse de la variance du nombre d'épis par m<sup>2</sup>**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F	CV
Génotypes	43	303009,66	7046,74	15,98***	15,58
Blocs	2	1766,38	883,19	2,00	
Blocs*Génotypes	86	128911,28	1498,97	3,40*	
Total	131	433758,99			

**Tableau 55: Tableau d'analyse de la variance de la hauteur de la tige**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F	CV
Génotypes	43	349,709	8,133	0,599	4,92
Blocs	2	760,891	380,445	28,017	
Blocs*Génotypes	86	829,855	9,649	0,711	
Total	131	1944,193			

**Tableau 56: Tableau d'analyse de la variance de la longueur du col de l'épi**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F	CV
Génotypes	43	109,84	2,55	17,69***	7,73
Blocs	2	37,44	18,72	129,62***	
Blocs*Génotypes	86	188,16	2,19	15,15***	
Total	131	336,53			

**Tableau 57: Tableau d'analyse de la variance de la longueur de l'épi**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F	CV
Génotypes	43	17,344	0,403	25,814***	7,73
Blocs	2	2,213	1,106	70,804	
Blocs*Génotypes	86	24,639	0,287	18,336***	
Total	131	44,197			

**Tableau 58: Tableau d'analyse de la variance de longueur des barbes**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F	CV
Génotypes	43	24,324	0,566	0,706	7,18
Blocs	2	15,734	7,867	9,821	
Blocs*Génotypes	86	48,861	0,568	0,709	
Total	131	88,919			

**Tableau 59: Tableau d'analyse de la variance du nombre total d'épillets**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F	CV
Génotypes	43	85,620	1,991	796,46 ***	7,45
Blocs	2	13,992	6,996	2798,45 *	
Blocs*Génotypes	86	121,823	1,417	566,61 ***	
Total	131	221,873			

**Tableau 60: Tableau d'analyse de la variance du nombre d'épillets fertiles**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F	CV
Génotypes	43	100,361	2,334	11,526***	8,02
Blocs	2	13,944	6,972	34,429	
Blocs*Génotypes	86	132,246	1,538	7,594***	
Total	131	247,108			

**Tableau 61: Tableau d'analyse de la variance du nombre d'épillets stériles**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F	CV
Génotypes	43	3,737	0,087	0,543	79,47
Blocs	2	0,193	0,096	0,603	
Blocs*Génotypes	86	6,153	0,072	0,447	
Total	131	10,090			

**Tableau 62: Tableau d'analyse de la variance du nombre de grains par épi**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F	CV
Génotypes	43	1745,071	40,583	0,254	13,66
Blocs	2	9,774	4,887	0,031	
Blocs*Génotypes	86	3224,899	37,499	0,234	
Total	131	4989,996			

**Tableau 63: Tableau d'analyse de la variance de la précocité à l'épiaison**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F	CV
Génotypes	43	186,333	4,333	4,333***	2,23
Blocs	2	56,424	28,212	28,212	
Blocs*Génotypes	86	363,800	4,230	4,230*	
Total	131	608,333			

**Tableau 64: Tableau d'analyse de la variance de la précocité à la floraison**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F	CV
Génotypes	43	88,636	2,061	2,061**	1,51
Blocs	2	42,742	21,371	21,371	
Blocs*Génotypes	86	215,576	2,507	2,507	
Total	131	349,970			

**Tableau 65: Tableau d'analyse de la variance de la durée épiaison – floraison**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F	CV
Génotypes	43	276,303	6,426	1,606*	22,31
Blocs	2	28,015	14,008	3,502	
Blocs*Génotypes	86	560,489	6,517	1,629*	
Total	131	864,970			

**Tableau 66: Tableau d'analyse de la variance de la biomasse aérienne**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F	CV
Génotypes	43	38185,954	888,045	8,371***	24,38
Blocs	2	24683,166	12341,583	116,331	
Blocs*Génotypes	86	44640,715	519,078	4,893**	
Total	131	107526,341			

**Tableau 67: Tableau d'analyse de la variance du poids de mille grain**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F	CV
Génotypes	43	3279,092	76,258	3,487***	15,99
Blocs	2	15,235	7,618	0,348	
Blocs*Génotypes	86	8326,534	96,820	4,427*	
Total	131	11631,575			

**Tableau 68: Tableau d'analyse de la variance du rendement en grain**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F	CV
Génotypes	43	2685,164	62,446	0,468	18,05
Blocs	2	811,716	405,858	3,042	
Blocs*Génotypes	86	5582,877	64,917	0,487	
Total	131	9092,101			

**Tableau 69: Tableau d'analyse de la variance du rendement estimé**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F	CV
Génotypes	43	38554,310	896,612	1,245	23,44
Blocs	2	184,863	92,431	0,128	
Blocs*Génotypes	86	30461,886	354,208	0,492	
Total	131	69203,717			

**Tableau 70: Tableau d'analyse de la variance de l'indice de récolte**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F	CV
Génotypes	43	0,380	0,009	1,195	24,70
Blocs	2	0,419	0,210	28,341	
Blocs*Génotypes	86	0,537	0,006	0,845	
Total	131	1,337			



**Annexe VI :**

**Tableau. 71.** Classement des moyennes du nombre de pieds par mètre carré

Génotypes	Moyennes	Classement
37.Latino*Siméto BN	243,000	A
26. GTA dur*Chen's BB	250,333	A
28.GTA dur*Latino BB	257,667	AB
38.Latino*Siméto BB	258,333	ABC
34.Latino*Chen's BB	265,000	ABC
24. GTA dur*Ardente BB	268,333	ABCD
29.GTA dur*Siméto BB	268,333	ABCD
4. Ardente*Chen's BB	269,667	ABCDE
8. Ardente*Siméto BB	269,667	ABCDE
13. Carioca*GTA dur BB	274,333	ABCDEF
32.Latino*Ardente BB	276,667	ABCDEFG
18. Chen's*Ardente BN	280,667	ABCDEFG
16. Carioca*Siméto BB	281,333	ABCDEFG
44.Siméto*Latino BN	282,000	ABCDEFGH
17. Chen's BN	284,000	BCDEFGHI
31.Latino BB	284,000	BCDEFGHIJ
11. Carioca*Chen's BB	285,333	BCDEFGHIJ
3. Ardente*Chen's BN	285,667	CDEFGHIJ
30.GTA dur*Siméto BN	286,000	CDEFGHIJ
41.Siméto*Carioca BN	287,000	CDEFGHIJ
35.Latino*Chen's BN	288,000	CDEFGHIJ
20. Chen's*GTA dur BN	290,667	CDEFGHIJ
42.Siméto*Chen's BN	291,000	CDEFGHIJK
12. Carioca*Chen's BN	291,333	CDEFGHIJK
21. Chen's*Latino BN	291,667	CDEFGHIJK
33.Latino*Carioca BB	292,000	DEFGHIJKL
10. Carioca*Ardente BB	292,333	DEFGHIJKL
23. GTA dur BB	292,333	EFGHIJKL
40.Siméto*Ardente BN	292,667	EFGHIJKL
27. GTA dur*Chen's BN	293,333	EFGHIJKL
1. Ardente BB	294,000	FGHIJKLM
5. Ardente*GTA dur BB	294,333	GHIJKLM
9. Carioca BB	296,667	GHIJKLM
14. Carioca*Latino BB	297,333	HIJKLMN
43.Siméto*GTA dur BN	300,333	IJKLMN
22. Chen's*Siméto BN	301,333	IJKLMN
39.Siméto BN	301,667	JKLMN
25. GTA dur*Carioca BB	302,667	JKLMN
7. Ardente*Siméto BN	303,667	JKLMN
15. Carioca*Siméto BN	305,333	KLMN
19. Chen's*Carioca BN	305,667	LMN
2. Ardente*Carioca BB	306,667	MN
36.Latino*GTA dur BB	313,000	NO
6. Ardente*Latino BB	320,667	O

**Tableau.72.** Classement des moyennes du nombre d'épi par m<sup>2</sup>

Génotypes	Moyennes	Classement
9. Carioca BB	278.00	A
38.Latino*Siméto BB	280.66	AB
17. Chen's BN	296.33	ABC
30.GTA dur*Siméto BN	307.33	ABC
4. Ardente* Chen's BB	311.33	ABCD
15. Carioca*Siméto BN	320.00	ABCDE
16. Carioca*Siméto BB	321.66	ABCDE
10. Carioca*Ardente BB	328.00	ABCDEF
14. Carioca*Latino BB	328.00	ABCDEF
2. Ardente*Carioca BB	328.66	ABCDEFG
6 .Ardente*Latino BB	331.00	ABCDEFGH
35.Latino* Chen's BN	332.33	ABCDEFGH
33.Latino*Carioca BB	334.00	ABCDEFGH
27. GTA dur* Chen's BN	343.00	BCDEFGHI
32.Latino*Ardente BB	346.66	CDEFGHIJ
44.Siméto*Latino BN	352.33	CDEFGHIJK
24. GTA dur*Ardente BB	358.66	CDEFGHIJK
1. Ardente BB	359.33	DEFGHIJK
18. Chen's *Ardente BN	362.00	DEFGHIJK
41.Siméto*Carioca BN	363.33	DEFGHIJK
39.Siméto BN	364.33	DEFGHIJK
29.GTA dur*Siméto BB	365.00	DEFGHIJK
40.Siméto*Ardente BN	366.33	DEFGHIJKL
34.Latino* Chen's BB	367.33	DEFGHIJKL
5. Ardente*GTA dur BB	369.66	DEFGHIJKL
19. Chen's *Carioca BN	378.66	EFGHIJKLM
22. Chen's *Siméto BN	382.33	EFGHIJKLM
12. Carioca* Chen's BN	384.66	FGHIJKLM
43.Siméto*GTA dur BN	386.00	FGHIJKLM
21. Chen's *Latino BN	387.67	FGHIJKLM
28.GTA dur*Latino BB	391.00	GHIJKLMN
25. GTA dur*Carioca BB	392.00	HIJKLMN
36.Latino*GTA dur BB	392.00	HIJKLMN
13. Carioca*GTA dur BB	399.33	IJKLMNO
26. GTA dur* Chen's BB	406.33	JKLMNO
3. Ardente* Chen's BN	408.00	JKLMNO
20. Chen's *GTA dur BN	410.33	KLMNO
8. Ardente*Siméto BB	411.33	KLMNO
42.Siméto* Chen's BN	413.33	KLMNO
31.Latino BB	427.66	LMNO
23. GTA dur BB	435.33	MNO
7. Ardente*Siméto BN	450.66	NO
37.Latino*Siméto BN	460.00	OP
11. Carioca* Chen's BB	518.33	P

**Tableau. 73.** Classement des moyennes de la hauteur de la tige (cm)

Génotypes	Moyennes
3. Ardente*Chen's BN	74,603
33.Latino*Carioca BB	74,733
12. Carioca*Chen's BN	75,137
37.Latino*Siméto BN	76,197
2. Ardente*Carioca BB	76,277
5. Ardente*GTA dur BB	76,320
11. Carioca*Chen's BB	76,387
4. Ardente*Chen's BB	76,427
42.Siméto*Chen's BN	76,633
30.GTA dur*Siméto BN	76,737
16. Carioca*Siméto BB	76,857
21. Chen's*Latino BN	77,183
34.Latino*Chen's BB	77,200
38.Latino*Siméto BB	77,477
10. Carioca*Ardente BB	77,490
22. Chen's*Siméto BN	77,520
14. Carioca*Latino BB	77,963
36.Latino*GTA dur BB	78,350
18. Chen's*Ardente BN	78,420
23. GTA dur BB	78,427
39.Siméto BN	78,470
25. GTA dur*Carioca BB	78,530
27. GTA dur*Chen's BN	78,560
41.Siméto*Carioca BN	78,567
6 .Ardente*Latino BB	78,620
7. Ardente*Siméto BN	78,633
26. GTA dur*Chen's BB	78,800
29.GTA dur*Siméto BB	78,917
40.Siméto*Ardente BN	78,937
19. Chen's*Carioca BN	79,017
15. Carioca*Siméto BN	79,020
8. Ardente*Siméto BB	79,040
43.Siméto*GTA dur BN	79,100
35.Latino*Chen's BN	79,100
32.Latino*Ardente BB	79,323
13. Carioca*GTA dur BB	79,400
24. GTA dur*Ardente BB	79,717
1. Ardente BB	79,917
31.Latino BB	80,073
9. Carioca BB	80,510
20. Chen's*GTA dur BN	80,610
28.GTA dur*Latino BB	80,677
44.Siméto*Latino BN	81,233
6 .Ardente*Latino BB	82,667

**Tableau.74.** Classement des moyennes de la longueur du col de l'épi (cm)

Génotypes	Moyennes	Classement
4. Ardente*Chen's BB	19.11667	A
37.Latino*Siméto BN	19.18333	AB
30.GTA dur*Siméto BN	19.27667	AB
3. Ardente* Chen's BN	19.41000	ABC
27. GTA dur* Chen's BN	19.58000	ABC
7. Ardente*Siméto BN	19.69333	ABC
14. Carioca*Latino BB	19.72667	ABC
40.Siméto*Ardente BN	19.84000	ABC
22. Chen's *Siméto BN	19.90000	ABC
21. Chen's *Latino BN	19.93667	ABC
19. Chen's *Carioca BN	19.95333	ABC
12. Carioca* Chen's BN	19.98333	ABC
33.Latino*Carioca BB	20.03333	ABC
10. Carioca*Ardente BB	20.11667	ABC
11. Carioca* Chen's BB	20.20667	ABCD
34.Latino* Chen's BB	20.21333	ABCD
13. Carioca*GTA dur BB	20.41667	ABCD
28.GTA dur*Latino BB	20.42000	ABCD
24. GTA dur*Ardente BB	20.57000	ABCD
6 .Ardente*Latino BB	20.61667	ABCD
36.Latino*GTA dur BB	20.62000	ABCD
38.Latino*Siméto BB	20.62333	ABCD
39.Siméto BN	20.62667	ABCD
44.Siméto*Latino BN	20.72000	ABCD
29.GTA dur*Siméto BB	20.75000	ABCD
42.Siméto* Chen's BN	20.76333	ABCD
32.Latino*Ardente BB	20.81000	ABCD
5. Ardente*GTA dur BB	20.87000	ABCD
16. Carioca*Siméto BB	20.92667	ABCD
26. GTA dur* Chen's BB	20.93333	ABCD
23. GTA dur BB	21.01667	ABCD
18. Chen's *Ardente BN	21.13333	ABCD
25. GTA dur*Carioca BB	21.14000	ABCD
15. Carioca*Siméto BN	21.15333	ABCD
41.Siméto*Carioca BN	21.25000	ABCD
17. Chen's BN	21.31333	ABCD
43.Siméto*GTA dur BN	21.43000	ABCD
1. Ardente BB	21.55000	ABCD
20. Chen's *GTA dur BN	21.55667	ABCD
35.Latino* Chen's BN	21.56667	ABCD
8. Ardente*Siméto BB	21.59333	ABCD
2. Ardente*Carioca BB	21.70333	BCD
9. Carioca BB	21.86333	CD
31.Latino BB	22.77333	D

**Tableau.75.** Classement des moyennes de la longueur de l'épi (cm)

Génotypes	Moyennes	Classements
33.Latino*Carioca BB	6.906667	A
6 .Ardente*Latino BB	7.013333	A
12. Carioca* Chen's BN	7.053333	A
39.Siméto BN	7.090000	A
22. Chen's *Siméto BN	7.103333	A
30.GTA dur*Siméto BN	7.160000	AB
44.Siméto*Latino BN	7.173333	AB
36.Latino*GTA dur BB	7.193333	AB
40.Siméto*Ardente BN	7.246667	AB
5. Ardente*GTA dur BB	7.266667	AB
19. Chen's *Carioca BN	7.273333	AB
15. Carioca*Siméto BN	7.306667	AB
31.Latino BB	7.336667	AB
32.Latino*Ardente BB	7.363333	ABC
13. Carioca*GTA dur BB	7.390000	ABC
18. Chen's *Ardente BN	7.406667	ABC
27. GTA dur* Chen's BN	7.416667	ABC
7. Ardente*Siméto BN	7.423333	ABC
38.Latino*Siméto BB	7.443333	ABC
28.GTA dur*Latino BB	7.470000	ABC
17. Chen's BN	7.483333	ABC
41.Siméto*Carioca BN	7.483333	ABC
23. GTA dur BB	7.496667	ABC
26. GTA dur* Chen's BB	7.496667	ABC
43.Siméto*GTA dur BN	7.503333	ABC
1. Ardente BB	7.516667	ABC
34.Latino* Chen's BB	7.520000	ABC
20. Chen's *GTA dur BN	7.536667	ABC
21. Chen's *Latino BN	7.543333	ABCD
8. Ardente*Siméto BB	7.546667	ABCD
9. Carioca BB	7.570000	ABCD
11. Carioca* Chen's BB	7.606667	ABCD
24. GTA dur*Ardente BB	7.620000	ABCD
35.Latino* Chen's BN	7.636667	ABCD
42.Siméto* Chen's BN	7.646667	ABCD
3. Ardente* Chen's BN	7.670000	ABCD
16. Carioca*Siméto BB	7.696667	ABCD
14. Carioca*Latino BB	7.706667	ABCD
29.GTA dur*Siméto BB	7.793333	ABCD
10. Carioca*Ardente BB	8.053333	BCDE
37.Latino*Siméto BN	8.236667	CDE
25. GTA dur*Carioca BB	8.243333	CDE
2. Ardente*Carioca BB	8.433333	DE
4. Ardente* Chen's BB	8.736667	E

**Tableau.76.** Classement des moyennes de la longueur des barbes (cm)

Génotypes	Moyennes
25. GTA dur*Carioca BB	10,513
14. Carioca*Latino BB	10,607
10. Carioca*Ardente BB	10,793
33.Latino*Carioca BB	10,873
13. Carioca*GTA dur BB	10,947
35.Latino*Chen's BN	10,960
18. Chen's*Ardente BN	10,970
40.Siméto*Ardente BN	11,097
23. GTA dur BB	11,120
27. GTA dur*Chen's BN	11,207
38.Latino*Siméto BB	11,217
44.Siméto*Latino BN	11,243
32.Latino*Ardente BB	11,257
39.Siméto BN	11,297
34.Latino*Chen's BB	11,313
9. Carioca BB	11,317
19. Chen's*Carioca BN	11,323
12. Carioca*Chen's BN	11,400
30.GTA dur*Siméto BN	11,407
26. GTA dur*Chen's BB	11,477
17. Chen's BN	11,477
8. Ardente*Siméto BB	11,503
31.Latino BB	11,520
5. Ardente*GTA dur BB	11,547
24. GTA dur*Ardente BB	11,587
21. Chen's*Latino BN	11,590
15. Carioca*Siméto BN	11,610
16. Carioca*Siméto BB	11,620
4. Ardente*Chen's BB	11,633
36.Latino*GTA dur BB	11,653
43.Siméto*GTA dur BN	11,667
41.Siméto*Carioca BN	11,697
37.Latino*Siméto BN	11,697
29.GTA dur*Siméto BB	11,700
22. Chen's*Siméto BN	11,720
6. Ardente*Latino BB	11,740
1. Ardente BB	11,817
11. Carioca* Chen's BB	11,837
42.Siméto*Chen's BN	11,903
7. Ardente*Siméto BN	11,950
20. Chen's*GTA dur BN	11,957
28.GTA dur*Latino BB	12,040
2. Ardente*Carioca BB	12,533
3. Ardente*Chen's BN	12,660

**Tableau.77.** Classement des moyennes du nombre total d'épillets

Génotypes	Moyennes	Classement
2. Ardente*Carioca BB	16.10000	A
12. Carioca* Chen's BN	16.20000	A
19. Chen's *Carioca BN	16.60000	A
36.Latino*GTA dur BB	16.70000	A
5. Ardente*GTA dur BB	16.80000	A
26. GTA dur* Chen's BB	16.80000	A
22. Chen's *Siméto BN	16.83333	A
15. Carioca*Siméto BN	16.83333	A
6 .Ardente*Latino BB	16.93333	A
30.GTA dur*Siméto BN	17.00000	AB
23. GTA dur BB	17.00000	AB
40.Siméto*Ardente BN	17.03333	ABC
39.Siméto BN	17.10000	ABC
44.Siméto*Latino BN	17.10000	ABC
32.Latino*Ardente BB	17.13333	ABC
33.Latino*Carioca BB	17.16667	ABC
18. Chen's *Ardente BN	17.20000	ABC
28.GTA dur*Latino BB	17.23333	ABC
38.Latino*Siméto BB	17.23333	ABC
31.Latino BB	17.26667	ABC
34.Latino* Chen's BB	17.30000	ABC
8. Ardente*Siméto BB	17.30000	ABC
3. Ardente* Chen's BN	17.30000	ABC
20. Chen's *GTA dur BN	17.33333	ABC
41.Siméto*Carioca BN	17.46667	ABC
21. Chen's *Latino BN	17.46667	ABC
17. Chen's BN	17.50000	ABC
42.Siméto* Chen's BN	17.50000	ABC
27. GTA dur* Chen's BN	17.60000	ABC
43.Siméto*GTA dur BN	17.60000	ABC
13. Carioca*GTA dur BB	17.60000	ABC
7. Ardente*Siméto BN	17.73333	ABC
25. GTA dur*Carioca BB	17.76667	ABC
24. GTA dur*Ardente BB	17.76667	ABC
16. Carioca*Siméto BB	17.86667	ABC
29.GTA dur*Siméto BB	17.90000	ABC
9. Carioca BB	17.93333	ABC
35.Latino* Chen's BN	17.93333	ABC
10. Carioca*Ardente BB	17.96667	ABC
1. Ardente BB	18.00000	ABC
14. Carioca*Latino BB	18.03333	ABC
37.Latino*Siméto BN	18.96667	BC
4. Ardente* Chen's BB	19.03333	C
11. Carioca* Chen's BB	21.16667	D

**Tableau.78.** Classement des moyennes du nombre d'épillets fertiles

Génotypes	Moyennes	Classement
2. Ardente*Carioca BB	15.53333	A
12. Carioca* Chen's BN	15.66667	AB
36.Latino*GTA dur BB	16.16667	ABC
22. Chen's *Siméto BN	16.23333	ABC
19. Chen's *Carioca BN	16.23333	ABC
33.Latino*Carioca BB	16.36667	ABC
39.Siméto BN	16.46667	ABC
40.Siméto*Ardente BN	16.46667	ABC
26. GTA dur* Chen's BB	16.53333	ABC
32.Latino*Ardente BB	16.53333	ABC
6 .Ardente*Latino BB	16.56667	ABC
15. Carioca*Siméto BN	16.60000	ABCD
5. Ardente*GTA dur BB	16.60000	ABCD
30.GTA dur*Siméto BN	16.66667	ABCD
23. GTA dur BB	16.70000	ABCD
31.Latino BB	16.73333	ABCD
18. Chen's *Ardente BN	16.80000	ABCD
44.Siméto*Latino BN	16.83333	ABCDE
38.Latino*Siméto BB	16.90000	ABCDE
41.Siméto*Carioca BN	16.93333	ABCDE
28.GTA dur*Latino BB	17.00000	ABCDE
34.Latino* Chen's BB	17.00000	ABCDE
8. Ardente*Siméto BB	17.03333	ABCDE
17. Chen's BN	17.16667	ABCDE
13. Carioca*GTA dur BB	17.23333	ABCDE
21. Chen's *Latino BN	17.23333	ABCDE
3. Ardente* Chen's BN	17.26667	ABCDE
20. Chen's *GTA dur BN	17.26667	ABCDE
27. GTA dur* Chen's BN	17.33333	ABCDE
43.Siméto*GTA dur BN	17.33333	ABCDE
25. GTA dur*Carioca BB	17.40000	ABCDE
42.Siméto* Chen's BN	17.40000	ABCDE
24. GTA dur*Ardente BB	17.43333	ABCDE
10. Carioca*Ardente BB	17.43333	ABCDE
7. Ardente*Siméto BN	17.46667	ABCDE
16. Carioca*Siméto BB	17.50000	ABCDE
14. Carioca*Latino BB	17.53333	ABCDE
35.Latino* Chen's BN	17.60000	ABCDE
1. Ardente BB	17.66667	BCDE
9. Carioca BB	17.80000	CDE
29.GTA dur*Siméto BB	17.83333	CDE
37.Latino*Siméto BN	18.66667	DE
4. Ardente* Chen's BB	18.90000	EF
11. Carioca* Chen's BB	20.93333	F

**Tableau.79.** Classement des moyennes du nombre d'épillets stériles

Génotypes	Moyennes
3. Ardente*Chen's BN	0,033
29.GTA dur*Siméto BB	0,067
20. Chen's*GTA dur BN	0,067
42.Siméto*Chen's BN	0,100
4. Ardente*Chen's BB	0,133
9. Carioca BB	0,133
5. Ardente*GTA dur BB	0,200
11. Carioca*chen's BB	0,233
15. Carioca*Siméto BN	0,233
28.GTA dur*Latino BB	0,233
21. Chen's*Latino BN	0,233
44.Siméto*Latino BN	0,267
43.Siméto*GTA dur BN	0,267
26. GTA dur*Chen's BB	0,267
7. Ardente*Siméto BN	0,267
8. Ardente*Siméto BB	0,267
27. GTA dur*Chen's BN	0,267
37.Latino*Siméto BN	0,300
34.Latino*Chen's BB	0,300
23. GTA dur BB	0,300
1. Ardente BB	0,333
30.GTA dur*Siméto BN	0,333
17. Chen's BN	0,333
38.Latino*Siméto BB	0,333
24. GTA dur*Ardente BB	0,333
35.Latino*Chen's BN	0,333
16. Carioca*Siméto BB	0,367
6. Ardente*Latino BB	0,367
25. GTA dur*Carioca BB	0,367
19. Chen's*Carioca BN	0,367
13. Carioca*GTA dur BB	0,367
18. Chen's*Ardente BN	0,433
14. Carioca*Latino BB	0,500
31.Latino BB	0,533
36.Latino*GTA dur BB	0,533
10. Carioca*Ardente BB	0,533
41.Siméto*Carioca BN	0,533
12. Carioca*Chen's BN	0,533
40.Siméto*Ardente BN	0,567
2. Ardente*Carioca BB	0,567
32.Latino*Ardente BB	0,600
22. Chen's*Siméto BN	0,600
39.Siméto BN	0,633
33.Latino*Carioca BB	0,800

**Tableau.80.** Classement des moyennes du nombre de grains par épi

Génotypes	Moyennes
40.Siméto*Ardente BN	35,548
7. Ardente*Siméto BN	37,774
32.Latino*Ardente BB	38,826
30.GTA dur*Siméto BN	39,117
12. Carioca*Chen's BN	39,867
28.GTA dur*Latino BB	40,176
43.Siméto*GTA dur BN	40,367
22. Chen's*Siméto BN	41,333
21. Chen's*Latino BN	42,117
33.Latino*Carioca BB	42,233
15. Carioca*Siméto BN	43,400
26. GTA dur*Chen's BB	43,476
39.Siméto BN	43,607
29.GTA dur*Siméto BB	43,667
18. Chen's*Ardente BN	44,193
8. Ardente*Siméto BB	44,463
38.Latino*Siméto BB	44,800
44.Siméto*Latino BN	45,133
1. Ardente BB	45,533
2. Ardente*Carioca BB	45,573
17. Chen's BN	45,600
27. GTA dur*Chen's BN	45,733
36.Latino*GTA dur BB	45,833
16. Carioca*Siméto BB	46,100
13. Carioca*GTA dur BB	46,285
31.Latino BB	46,608
23. GTA dur BB	46,767
25. GTA dur*Carioca BB	46,775
11. Carioca* Chen's BB	46,822
5. Ardente*GTA dur BB	47,000
9. Carioca BB	47,463
42.Siméto*Chen's BN	47,581
35.Latino*Chen's BN	47,641
6 .Ardente*Latino BB	47,700
24. GTA dur*Ardente BB	47,841
10. Carioca*Ardente BB	48,063
14. Carioca*Latino BB	48,356
20. Chen's*GTA dur BN	48,467
37.Latino*Siméto BN	48,833
3. Ardente*Chen's BN	48,833
41.Siméto*Carioca BN	48,834
4. Ardente*Chen's BB	49,600
19. Chen's*Carioca BN	51,400
34.Latino*Chen's BB	52,981

**Tableau.81.** Classement des moyennes de la précocité à l'épiaison

Génotypes	Moyennes	Classement
40.Siméto*Ardente BN	94,333	A
43.Siméto*GTA dur BN	94,667	AB
17. Chen's BN	94,667	AB
35.Latino*Chen's BN	95,000	ABC
10. Carioca*Ardente BB	95,333	ABCD
19. Chen's*Carioca BN	95,333	ABCD
12. Carioca*Chen's BN	95,667	ABCDE
42.Siméto*Chen's BN	95,667	ABCDE
20. Chen's*GTA dur BN	95,667	ABCDE
14. Carioca*Latino BB	96,000	ABCDE
13. Carioca*GTA dur BB	96,000	ABCDE
18. Chen's*Ardente BN	96,000	ABCDE
6 .Ardente*Latino BB	96,000	ABCDE
27. GTA dur*Chen's BN	96,000	ABCDE
7. Ardente*Siméto BN	96,333	ABCDE
15. Carioca*Siméto BN	96,333	ABCDE
31.Latino BB	96,667	ABCDEF
2. Ardente*Carioca BB	96,667	ABCDEF
22. Chen's*Siméto BN	96,667	ABCDEF
39.Siméto BN	96,667	ABCDEF
21. Chen's*Latino BN	96,667	ABCDEF
44.Siméto*Latino BN	97,000	ABCDEF
23. GTA dur BB	97,000	ABCDEF
30.GTA dur*Siméto BN	97,333	ABCDEF
29.GTA dur*Siméto BB	97,333	ABCDEF
9. Carioca BB	97,333	ABCDEF
8. Ardente*Siméto BB	97,333	ABCDEF
3. Ardente*Chen's BN	97,333	ABCDEF
37.Latino*Siméto BN	97,333	ABCDEF
36.Latino*GTA dur BB	97,333	ABCDEF
16. Carioca*Siméto BB	97,333	ABCDEF
34.Latino*Chen's BB	97,333	ABCDEF
1. Ardente BB	97,333	ABCDEF
32.Latino*Ardente BB	97,667	ABCDEF
26. GTA dur*Chen's BB	97,667	ABCDEF
11. Carioca* Chen's BB	97,667	ABCDEF
24. GTA dur*Ardente BB	98,000	BCDEF
5. Ardente*GTA dur BB	98,000	BCDEF
38.Latino*Siméto BB	98,000	BCDEF
41.Siméto*Carioca BN	98,000	BCDEF
33.Latino*Carioca BB	98,333	CDEF
28.GTA dur*Latino BB	98,667	DEF
4. Ardente*Chen's BB	99,000	EF
25. GTA dur*Carioca BB	100,000	F

**Tableau.82.** Classement des moyennes de la précocité à la floraison

Génotypes	Moyennes	Classement
36.Latino*GTA dur BB	106,333	A
31.Latino BB	106,667	AB
27. GTA dur*Chen's BN	107,000	ABC
33.Latino*Carioca BB	107,000	ABC
23. GTA dur BB	107,000	ABC
39.Siméto BN	107,333	ABC
41.Siméto*Carioca BN	107,667	ABC
20. Chen's*GTA dur BN	107,667	ABC
38.Latino*Siméto BB	107,667	ABC
18. Chen's*Ardente BN	107,667	ABC
44.Siméto*Latino BN	108,000	ABC
28.GTA dur*Latino BB	108,000	ABC
16. Carioca*Siméto BB	108,000	ABC
13. Carioca*GTA dur BB	108,000	ABC
5. Ardente*GTA dur BB	108,000	ABC
35.Latino*Chen's BN	108,000	ABC
2. Ardente*Carioca BB	108,000	ABC
17. Chen's BN	108,000	ABC
29.GTA dur*Siméto BB	108,000	ABC
3. Ardente*Chen's BN	108,333	ABC
10. Carioca*Ardente BB	108,333	ABC
7. Ardente*Siméto BN	108,333	ABC
32.Latino*Ardente BB	108,333	ABC
6 .Ardente*Latino BB	108,667	ABC
19. Chen's*Carioca BN	108,667	ABC
40.Siméto*Ardente BN	108,667	ABC
30.GTA dur*Siméto BN	108,667	ABC
11. Carioca*Chen's BB	108,667	ABC
37.Latino*Siméto BN	108,667	ABC
1. Ardente BB	108,667	ABC
4. Ardente*Chen's BB	108,667	ABC
15. Carioca*Siméto BN	108,667	ABC
14. Carioca*Latino BB	109,000	ABC
43.Siméto*GTA dur BN	109,000	ABC
24. GTA dur*Ardente BB	109,000	ABC
21. Chen's*Latino BN	109,333	BC
25. GTA dur*Carioca BB	109,333	BC
42.Siméto*Chen's BN	109,333	BC
9. Carioca BB	109,333	BC
8. Ardente*Siméto BB	109,333	BC
22. Chen's*Siméto BN	109,333	BC
26. GTA dur*Chen's BB	109,667	C
34.Latino*Chen's BB	109,667	C
12. Carioca*Chen's BN	109,667	C

**Tableau.83.** Classement des moyennes de la durée épiaison - floraison

Génotypes	Moyennes	Classement
33.Latino*Carioca BB	8,667	A
36.Latino*GTA dur BB	9,000	AB
28.GTA dur*Latino BB	9,333	ABC
25. GTA dur*Carioca BB	9,333	ABC
41.Siméto*Carioca BN	9,667	ABCD
38.Latino*Siméto BB	9,667	ABCD
4. Ardente*Chen's BB	9,667	ABCD
5. Ardente*GTA dur BB	10,000	ABCDE
31.Latino BB	10,000	ABCDE
23. GTA dur BB	10,000	ABCDE
29.GTA dur*Siméto BB	10,667	ABCDEF
39.Siméto BN	10,667	ABCDEF
32.Latino*Ardente BB	10,667	ABCDEF
16. Carioca*Siméto BB	10,667	ABCDEF
44.Siméto*Latino BN	11,000	ABCDEF
11. Carioca* Chen's BB	11,000	ABCDEF
27. GTA dur*Chen's BN	11,000	ABCDEF
3. Ardente*Chen's BN	11,000	ABCDEF
24. GTA dur*Ardente BB	11,000	ABCDEF
37.Latino*Siméto BN	11,333	ABCDEF
2. Ardente*Carioca BB	11,333	ABCDEF
30.GTA dur*Siméto BN	11,333	ABCDEF
1. Ardente BB	11,333	ABCDEF
18. Chen's*Ardente BN	11,667	ABCDEF
9. Carioca BB	12,000	ABCDEF
26. GTA dur*Chen's BB	12,000	ABCDEF
8. Ardente*Siméto BB	12,000	ABCDEF
13. Carioca*GTA dur BB	12,000	ABCDEF
7. Ardente*Siméto BN	12,000	ABCDEF
20. Chen's*GTA dur BN	12,000	ABCDEF
34.Latino*Chen's BB	12,333	ABCDEF
15. Carioca*Siméto BN	12,333	ABCDEF
22. Chen's*Siméto BN	12,667	ABCDEF
21. Chen's*Latino BN	12,667	ABCDEF
6. Ardente*Latino BB	12,667	ABCDEF
35.Latino*Chen's BN	13,000	BCDEF
14. Carioca*Latino BB	13,000	BCDEF
10. Carioca*Ardente BB	13,000	BCDEF
19. Chen's*Carioca BN	13,333	CDEF
17. Chen's BN	13,333	CDEF
42.Siméto*Chen's BN	13,667	DEF
12. Carioca*Chen's BN	14,000	DF
40.Siméto*Ardente BN	14,333	F
43.Siméto*GTA dur BN	14,333	F

**Tableau.84.** Classement des moyennes de la biomasse aérienne (q/ha)

Génotypes	Moyennes	Classement
5. Ardente*GTA dur BB	97,850	A
41.Siméto*Carioca BN	97,867	A
40.Siméto*Ardente BN	99,333	A
33.Latino*Carioca BB	100,800	A
35.Latino*Chen's BN	101,000	A
9. Carioca BB	102,983	A
1. Ardente BB	103,200	A
2. Ardente*Carioca BB	104,133	A
14. Carioca*Latino BB	104,533	A
13. Carioca*GTA dur BB	105,533	A
30.GTA dur*Siméto BN	105,800	A
19. Chen's*Carioca BN	107,033	A
15. Carioca*Siméto BN	108,000	A
16. Carioca*Siméto BB	108,350	A
23. GTA dur BB	108,600	A
4. Ardente*Chen's BB	109,092	AB
38.Latino*Siméto BB	109,733	AB
22. Chen's*Siméto BN	110,067	AB
6 .Ardente*Latino BB	110,800	AB
36.Latino*GTA dur BB	110,867	AB
32.Latino*Ardente BB	111,017	AB
21. Chen's*Latino BN	111,150	AB
27. GTA dur*Chen's BN	115,867	AB
39.Siméto BN	116,167	AB
43.Siméto*GTA dur BN	116,600	AB
17. Chen's BN	116,667	AB
24. GTA dur*Ardente BB	117,100	AB
34.Latino*Chen's BB	117,933	AB
10. Carioca*Ardente BB	118,700	AB
18. Chen's*Ardente BN	119,133	AB
42.Siméto*Chen's BN	119,250	AB
44.Siméto*Latino BN	119,533	AB
7. Ardente*Siméto BN	120,778	AB
29.GTA dur*Siméto BB	122,292	AB
12. Carioca*Chen's BN	126,600	AB
25. GTA dur*Carioca BB	129,028	AB
26. GTA dur*Chen's BB	133,000	AB
3. Ardente*Chen's BN	133,778	AB
8. Ardente*Siméto BB	134,333	AB
28.GTA dur*Latino BB	134,556	AB
20. Chen's*GTA dur BN	142,183	AB
31.Latino BB	142,467	AB
37.Latino*Siméto BN	154,333	BC
11. Carioca*Chen's BB	190,833	C

**Tableau. 85.** Classement des moyennes du poids de mille grains (g)

Génotypes	Moyennes	Classement
9. Carioca BB	51,152	A
27. GTA dur*Chen's BN	53,049	AB
19. Chen's*Carioca BN	53,437	AB
38.Latino*Siméto BB	53,520	AB
4. Ardente*Chen's BB	54,171	AB
5. Ardente*GTA dur BB	54,317	AB
16. Carioca*Siméto BB	54,428	AB
18. Chen's*Ardente BN	54,546	AB
44.Siméto*Latino BN	55,165	AB
34.Latino*Chen's BB	55,298	AB
10. Carioca*Ardente BB	55,704	AB
42.Siméto*Chen's BN	56,287	AB
6 .Ardente*Latino BB	56,705	AB
20. Chen's*GTA dur BN	56,746	AB
3. Ardente*Chen's BN	56,774	AB
26. GTA dur*Chen's BB	57,105	AB
36.Latino*GTA dur BB	57,222	AB
14. Carioca*Latino BB	57,322	AB
37.Latino*Siméto BN	57,620	AB
39.Siméto BN	57,631	AB
15. Carioca*Siméto BN	57,829	AB
25. GTA dur*Carioca BB	57,998	AB
8. Ardente*Siméto BB	58,107	AB
29.GTA dur*Siméto BB	58,225	AB
23. GTA dur BB	58,432	AB
11. Carioca* Chen's BB	59,099	AB
33.Latino*Carioca BB	59,156	ABC
2. Ardente*Carioca BB	59,174	ABC
12. Carioca*Chen's BN	59,273	ABC
43.Siméto*GTA dur BN	59,350	ABC
35.Latino*Chen's BN	59,405	ABC
22. Chen's*Siméto BN	59,859	ABC
24. GTA dur*Ardente BB	60,126	ABC
17. Chen's BN	60,149	ABC
41.Siméto*Carioca BN	60,245	ABC
40.Siméto*Ardente BN	60,698	ABC
32.Latino*Ardente BB	62,216	ABCD
30.GTA dur*Siméto BN	63,307	ABCD
28.GTA dur*Latino BB	63,565	ABCD
1. Ardente BB	63,629	ABCD
31.Latino BB	63,713	ABCD
13. Carioca*GTA dur BB	67,646	BCD
21. Chen's*Latino BN	74,939	CD
7. Ardente*Siméto BN	77,432	D

**Tableau. 86.** Classement des moyennes du rendement en grain (q/ha)

Génotypes	Moyennes
33.Latino*Carioca BB	37,533
43.Siméto*GTA dur BN	38,867
38.Latino*Siméto BB	40,800
23. GTA dur BB	41,000
10. Carioca*Ardente BB	41,400
2. Ardente*Carioca BB	41,600
15. Carioca*Siméto BN	41,733
34.Latino*Chen's BB	42,000
40.Siméto*Ardente BN	42,133
21. Chen's*Latino BN	42,200
16. Carioca*Siméto BB	42,367
6 .Ardente*Latino BB	42,600
4. Ardente*Chen's BB	42,617
30.GTA dur*Siméto BN	43,267
14. Carioca*Latino BB	43,400
8. Ardente*Siméto BB	43,489
41.Siméto*Carioca BN	43,733
27. GTA dur*Chen's BN	44,400
24. GTA dur*Ardente BB	44,500
19. Chen's*Carioca BN	44,800
5. Ardente*GTA dur BB	44,867
44.Siméto*Latino BN	45,067
17. Chen's BN	46,183
29.GTA dur*Siméto BB	46,317
35.Latino*Chen's BN	46,367
28.GTA dur*Latino BB	46,933
9. Carioca BB	46,933
22. Chen's*Siméto BN	47,133
18. Chen's*Ardente BN	47,367
36.Latino*GTA dur BB	47,733
39.Siméto BN	48,083
7. Ardente*Siméto BN	48,533
31.Latino BB	48,717
42.Siméto*Chen's BN	48,767
26. GTA dur*Chen's BB	49,583
11. Carioca* Chen's BB	49,633
37.Latino*Siméto BN	50,200
32.Latino*Ardente BB	51,383
25. GTA dur*Carioca BB	52,956
12. Carioca*Chen's BN	53,133
1. Ardente BB	54,367
20. Chen's*GTA dur BN	54,383
13. Carioca*GTA dur BB	54,889
3. Ardente*Chen's BN	57,044

**Tableau.87.** Classement des moyennes du rendement estimé (q/ha)

Génotypes	Moyennes
9. Carioca BB	66,713
38.Latino*Siméto BB	67,568
30.GTA dur*Siméto BN	76,050
40.Siméto*Ardente BN	78,177
16. Carioca*Siméto BB	78,904
15. Carioca*Siméto BN	80,541
17. Chen's BN	81,476
33.Latino*Carioca BB	83,224
32.Latino*Ardente BB	83,248
27. GTA dur*Chen's BN	83,772
4. Ardente*Chen's BB	84,054
18. Chen's*Ardente BN	86,949
10. Carioca*Ardente BB	87,289
44.Siméto*Latino BN	87,479
2. Ardente*Carioca BB	88,289
12. Carioca*Chen's BN	89,882
14. Carioca*Latino BB	90,011
6 .Ardente*Latino BB	90,556
43.Siméto*GTA dur BN	90,699
39.Siméto BN	91,734
29.GTA dur*Siméto BB	92,703
35.Latino*Chen's BN	93,625
5. Ardente*GTA dur BB	93,813
22. Chen's*Siméto BN	95,635
28.GTA dur*Latino BB	95,961
26. GTA dur*Chen's BB	100,533
24. GTA dur*Ardente BB	103,269
1. Ardente BB	103,449
36.Latino*GTA dur BB	103,471
25. GTA dur*Carioca BB	103,507
8. Ardente*Siméto BB	106,081
41.Siméto*Carioca BN	106,382
34.Latino*Chen's BB	106,826
42.Siméto*Chen's BN	111,054
20. Chen's*GTA dur BN	112,709
3. Ardente*Chen's BN	113,137
19. Chen's*Carioca BN	116,921
23. GTA dur BB	119,792
21. Chen's*Latino BN	123,864
13. Carioca*GTA dur BB	123,988
7. Ardente*Siméto BN	124,031
31.Latino BB	124,682
37.Latino*Siméto BN	129,159
11. Carioca*Chen's BB	142,847

**Tableau.88.** Classement des moyennes de l'indice de récolte

Génotypes	Moyennes
11. Carioca* Chen's BB	0,269
8. Ardente*Siméto BB	0,324
37.Latino*Siméto BN	0,329
43.Siméto*GTA dur BN	0,337
31.Latino BB	0,350
28.GTA dur*Latino BB	0,353
10. Carioca*Ardente BB	0,362
34.Latino*Chen's BB	0,363
23. GTA dur BB	0,375
33.Latino*Carioca BB	0,378
44.Siméto*Latino BN	0,381
29.GTA dur*Siméto BB	0,382
26. GTA dur*Chen's BB	0,383
24. GTA dur*Ardente BB	0,384
27. GTA dur*Chen's BN	0,389
15. Carioca*Siméto BN	0,389
6 .Ardente*Latino BB	0,391
4. Ardente*Chen's BB	0,392
16. Carioca*Siméto BB	0,395
20. Chen's*GTA dur BN	0,396
21. Chen's*Latino BN	0,396
2. Ardente*Carioca BB	0,397
38.Latino*Siméto BB	0,400
18. Chen's*Ardente BN	0,404
17. Chen's BN	0,408
42.Siméto*Chen's BN	0,413
19. Chen's*Carioca BN	0,419
12. Carioca*Chen's BN	0,421
30.GTA dur*Siméto BN	0,425
3. Ardente*Chen's BN	0,429
40.Siméto*Ardente BN	0,431
25. GTA dur*Carioca BB	0,433
36.Latino*GTA dur BB	0,435
14. Carioca*Latino BB	0,437
7. Ardente*Siméto BN	0,441
22. Chen's*Siméto BN	0,456
41.Siméto*Carioca BN	0,459
39.Siméto BN	0,464
5. Ardente*GTA dur BB	0,474
35.Latino*Chen's BN	0,475
9. Carioca BB	0,476
32.Latino*Ardente BB	0,494
1. Ardente BB	0,533
13. Carioca*GTA dur BB	0,558



**Annexe VII : Hétérosis**  
**Tableau 89 : Valeur de l'hétérosis moyen des hybrides F<sub>2</sub>**

Géotypes	RDTes	RDTg	IR	NP/m <sup>2</sup>	NE/m <sup>2</sup>	HT	LCE	LE	LB	ET	EF	ES	NGE	PE	PF	BA	PMG
Ard*Car BB	-29,19	-23,49	-25,02	<b>3,37</b>	-11,09	-4,56	<b>0,02</b>	<b>12,15</b>	<b>6,94</b>	-10,56	-12,73	<b>-10,05</b>	-3,98	-0,68	-1,22	-26,91	-7,12
Car*Ar BB	-29,99	-23,86	-31,65	-1,46	-11,27	-3,04	-7,30	<b>7,09</b>	-7,91	-0,19	-2,06	<b>-15,34</b>	<b>1,27</b>	-2,05	-0,91	-16,68	-12,57
Ard*Che BN	-9,26	<b>4,92</b>	-19,09	-3,71	<b>10,37</b>	-6,65	-10,55	<b>1,99</b>	<b>8,02</b>	-3,89	-3,00	<b>-94,71</b>	<b>2,89</b>	<b>0,00</b>	-0,91	-6,10	-10,89
Arde*Che BB	-32,58	-21,62	-26,11	-9,10	-15,78	-4,37	-11,90	<b>16,18</b>	-0,74	<b>5,74</b>	<b>6,18</b>	<b>-78,84</b>	<b>4,51</b>	<b>1,72</b>	-0,61	-23,43	-14,97
Che*Ard BN	-30,26	-12,88	-23,80	-5,39	-2,07	-1,88	-2,61	-1,51	-6,40	-4,44	-5,62	<b>-31,22</b>	-6,88	-1,37	-1,52	-16,38	-14,38
Ard*GTABB	-15,95	-5,91	<b>4,34</b>	<b>0,40</b>	-6,96	-3,60	-1,94	-3,20	<b>0,68</b>	-4,00	-3,39	<b>-36,84</b>	<b>1,84</b>	<b>0,86</b>	<b>0,15</b>	-7,60	-11,00
GTA*ArdBB	-17,17	-18,15	-27,48	-9,55	-2,98	-0,25	-5,21	<b>1,33</b>	-1,14	-1,30	-2,06	<b>-47,09</b>	<b>0,80</b>	<b>0,69</b>	-0,30	-17,81	-5,63
Ard*Lat BB	-27,37	-21,65	-26,17	8,09	-10,46	-1,63	-4,99	-6,74	<b>0,17</b>	-5,93	-6,93	<b>-41,80</b>	<b>0,51</b>	-1,37	-0,61	-22,23	-11,00
Lat*Ard BB	-33,23	-5,49	-6,72	-6,74	-6,22	-0,75	-4,10	-2,08	-3,95	-4,81	-7,12	<b>-4,76</b>	-18,19	<b>0,35</b>	-0,91	-22,08	-2,35
Ard*Sim BN	-0,52	-10,74	-16,75	2,36	<b>21,91</b>	-1,61	-9,25	-1,29	<b>1,96</b>	-1,48	-1,87	<b>-57,67</b>	-20,41	-1,02	-0,91	-15,23	21,54
Ard*Sim BB	-14,92	-20,01	-38,92	-9,10	<b>11,27</b>	-1,10	-0,49	<b>0,35</b>	-1,85	-3,89	-4,31	<b>-57,67</b>	-6,31	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	-5,71	-8,79
Sim*Ard BN	-37,30	-22,51	-18,64	-1,35	-0,90	-1,23	-8,57	-3,63	-5,32	-5,37	-7,49	<b>-10,05</b>	-25,10	-3,08	-0,61	-30,28	-4,73
Car*Che BB	14,57	-8,71	-49,16	-3,82	<b>40,22</b>	-4,42	-6,88	<b>1,15</b>	<b>1,00</b>	<b>17,59</b>	<b>17,60</b>	<b>-62,96</b>	-1,34	<b>0,35</b>	-0,61	<b>33,95</b>	-7,24
Car*Che BN	-27,91	-2,27	-20,52	-1,80	<b>4,06</b>	-5,99	-7,91	-6,21	-2,73	-10,00	-11,99	<b>-15,34</b>	-16,00	-1,71	<b>0,31</b>	-11,14	-6,96
Che*Car BN	-22,26	-17,60	-20,94	<b>3,03</b>	<b>2,43</b>	-1,13	-8,05	-3,28	-3,38	-7,78	-8,80	<b>-41,80</b>	<b>8,30</b>	-2,05	-0,61	-24,87	-16,13
Car*GTA BB	-0,56	<b>0,95</b>	<b>5,25</b>	-7,53	<b>8,02</b>	-0,65	-5,91	-1,73	-6,60	-2,22	-3,18	<b>-41,80</b>	-2,48	-1,37	-1,22	-25,93	<b>6,18</b>
GTA*Car BB	-16,98	-2,60	-18,21	2,02	<b>6,04</b>	-1,74	-2,58	<b>9,62</b>	-10,30	-1,30	-2,25	<b>-41,80</b>	-1,44	<b>2,74</b>	<b>0,00</b>	-9,44	-8,97
Car*Lat BB	-27,81	-20,18	-17,54	<b>0,22</b>	-11,27	-2,45	-9,09	<b>2,48</b>	-9,50	<b>0,19</b>	-1,50	<b>-20,63</b>	1,89	-1,37	-0,30	-26,63	-10,03
Lat*Car BB	-33,25	-30,97	-28,65	-1,57	-9,65	-6,49	-7,68	-8,16	-7,22	-4,63	-8,05	26,98	-11,01	<b>1,03</b>	-2,13	-29,25	-7,15

*Les cases en gras représentent l'hétérosis supérieur ou égale à la meilleure variété*

Valeur de l'hétérosis moyen des hybrides F<sub>2</sub> (Suite)

Génotypes	RDTes	RDTg	IR	NP/m <sup>2</sup>	NE/m <sup>2</sup>	HT	LCE	LE	LB	ET	EF	ES	NGE	PE	PF	BA	PMG
Car*Sim BN	<b>1,66</b>	-12,16	-17,34	<b>2,06</b>	-0,36	-0,59	-0,43	-0,32	<b>2,68</b>	-3,90	-3,11	<b>-39,13</b>	-4,69	-0,69	<b>0,31</b>	-1,44	<b>6,32</b>
Car*Sim BB	-0,40	-10,82	-16,09	-5,96	<b>0,16</b>	-3,31	-1,50	<b>5,00</b>	<b>2,77</b>	<b>2,00</b>	<b>2,14</b>	<b>-4,35</b>	<b>1,24</b>	<b>0,34</b>	-0,31	-1,12	<b>0,07</b>
Sim*Car BN	<b>34,28</b>	-7,95	-2,32	-4,07	<b>13,13</b>	-1,16	<b>0,02</b>	<b>2,09</b>	<b>3,45</b>	-0,29	-1,17	39,13	<b>7,25</b>	<b>1,03</b>	-0,62	-10,69	<b>10,76</b>
Che*GTA BN	<b>12,00</b>	<b>24,76</b>	<b>1,15</b>	<b>0,87</b>	<b>12,16</b>	0,83	<b>1,85</b>	<b>0,62</b>	<b>5,83</b>	<b>0,48</b>	<b>1,97</b>	<b>-78,95</b>	<b>4,94</b>	-0,17	<b>0,16</b>	<b>26,24</b>	-4,29
GTA*Che BB	-0,10	<b>13,74</b>	-2,16	-13,13	<b>11,07</b>	-1,44	-1,09	<b>0,09</b>	<b>1,58</b>	-2,61	-2,36	<b>-15,79</b>	-5,86	<b>1,91</b>	<b>2,02</b>	<b>18,08</b>	-3,69
GTA*Che BN	-16,76	<b>1,85</b>	-0,59	<b>1,79</b>	-6,24	-1,74	-7,49	-0,98	-0,81	<b>2,03</b>	<b>2,36</b>	<b>-15,79</b>	-0,97	<b>0,17</b>	-0,47	<b>2,87</b>	-10,53
Che*Lat BN	<b>20,16</b>	-11,06	<b>4,51</b>	<b>2,70</b>	<b>7,09</b>	-4,44	-9,56	<b>1,80</b>	<b>0,80</b>	<b>0,48</b>	<b>1,67</b>	<b>-46,15</b>	-8,65	<b>1,05</b>	<b>1,86</b>	-14,21	<b>21,00</b>
Lat*Che BB	<b>3,63</b>	-11,49	-4,17	-6,69	<b>1,47</b>	-4,42	-8,30	<b>1,48</b>	-1,61	-0,48	<b>0,29</b>	<b>-30,77</b>	<b>14,92</b>	<b>1,74</b>	<b>2,17</b>	-8,98	-10,71
Lat*Che BN	-9,17	-2,28	<b>25,41</b>	<b>1,41</b>	-8,20	-2,07	-2,16	<b>3,06</b>	-4,68	<b>3,16</b>	<b>3,83</b>	<b>-23,08</b>	<b>3,33</b>	-0,70	<b>0,62</b>	-22,05	-4,08
Che*Sim BN	<b>10,43</b>	<b>0,00</b>	<b>4,61</b>	<b>2,90</b>	<b>15,74</b>	-3,06	-5,10	-2,52	<b>2,93</b>	-2,70	-3,47	24,14	-7,33	<b>1,05</b>	<b>1,55</b>	-5,45	<b>1,65</b>
Sim*Che BN	<b>28,23</b>	<b>3,47</b>	-5,32	-0,63	<b>25,13</b>	-4,17	-0,99	<b>4,94</b>	<b>4,54</b>	<b>1,16</b>	<b>3,47</b>	<b>-79,31</b>	<b>6,68</b>	<b>0,00</b>	<b>1,55</b>	<b>2,43</b>	-4,42
GTA*Lat BB	-21,50	<b>4,63</b>	-2,54	-10,58	-9,39	<b>1,80</b>	-6,74	<b>0,72</b>	<b>6,36</b>	0,58	<b>1,69</b>	<b>-44,00</b>	-13,95	<b>1,89</b>	<b>1,09</b>	<b>7,19</b>	<b>4,08</b>
Lat*GTA BB	-15,35	<b>6,41</b>	<b>19,94</b>	<b>8,62</b>	-9,15	-1,14	-5,82	-3,01	<b>2,94</b>	-2,53	-3,29	28,00	-1,83	<b>0,52</b>	-0,47	-11,68	-6,31
GTA*Sim BB	-12,35	<b>3,99</b>	-9,08	-9,65	-8,71	<b>0,60</b>	-0,34	<b>6,86</b>	<b>4,39</b>	<b>4,99</b>	<b>7,54</b>	<b>-85,71</b>	-3,36	<b>0,52</b>	<b>0,78</b>	<b>8,82</b>	<b>0,33</b>
GTA*Sim BN	-28,09	-2,86	<b>1,35</b>	-3,70	-23,13	-2,18	-7,42	-1,83	<b>1,77</b>	-0,29	<b>0,50</b>	<b>-28,57</b>	-13,43	<b>0,52</b>	<b>1,40</b>	-5,86	<b>9,09</b>
Sim*GTA BN	-14,24	-12,74	-19,77	<b>1,12</b>	-3,46	<b>0,83</b>	<b>2,92</b>	<b>2,88</b>	<b>4,09</b>	<b>3,23</b>	<b>4,52</b>	<b>-42,86</b>	-10,67	-2,24	<b>1,71</b>	<b>3,75</b>	<b>2,27</b>
Lat*Sim BN	<b>19,36</b>	<b>3,72</b>	-19,13	-17,02	<b>16,16</b>	-3,88	-11,60	<b>14,19</b>	<b>2,53</b>	<b>10,38</b>	<b>12,45</b>	<b>-48,57</b>	<b>8,26</b>	<b>0,69</b>	<b>1,56</b>	<b>19,35</b>	-5,03
Lat*Sim BB	-37,56	-15,70	-1,62	-11,78	-29,12	-2,26	-4,96	<b>3,19</b>	-1,68	<b>0,29</b>	<b>1,81</b>	<b>-42,86</b>	-0,68	<b>1,38</b>	<b>0,62</b>	-15,14	-11,79
Sim*Lat BN	-19,16	-6,89	-6,34	-3,70	-11,03	<b>2,47</b>	-4,52	-0,55	-1,45	-0,48	<b>1,41</b>	<b>-54,29</b>	<b>0,06</b>	<b>0,34</b>	<b>0,93</b>	-7,57	-9,08

*Les cases en gras représentent l'hétérosis supérieur ou égale à la meilleure variété*

Tableau 90 : Valeurs de l'hétérosis par rapport au meilleur parent des hybrides F<sub>2</sub>

Génotypes	RDTes	RDTg	IR	NP/m <sup>2</sup>	NE/m <sup>2</sup>	HT	LCE	LE	LB	ET	EF	ES	NGE	PE	PF	BA	PMG
Ard*Car BB	-14,65	-23,48	-25,48	<b>3,37</b>	-8,53	-5,26	-0,73	<b>11,40</b>	<b>6,06</b>	-10,56	-12,73	70,00	-3,98	-0,68	-1,22	<b>0,90</b>	-7,00
Car*Ar BB	-15,62	-23,85	-32,07	-1,46	-8,72	-3,75	-7,99	<b>6,38</b>	-8,66	-0,19	-2,06	60,00	<b>1,26</b>	-2,05	-0,91	<b>15,02</b>	-12,45
Ard*Che BN	<b>9,37</b>	<b>4,93</b>	-19,58	-2,83	<b>13,54</b>	-8,43	-9,93	<b>2,04</b>	<b>7,14</b>	-3,89	-2,26	<b>-90,00</b>	<b>7,09</b>	<b>0,00</b>	-0,31	<b>14,67</b>	-10,77
Arde*Che BB	-18,75	-21,61	-26,57	-8,28	-13,36	-6,19	-11,29	<b>16,23</b>	-1,55	<b>5,74</b>	<b>6,98</b>	<b>-60,00</b>	<b>8,77</b>	<b>1,71</b>	<b>0,00</b>	-6,49	-14,86
Che*Ard BN	-15,95	-12,88	-24,27	-4,54	<b>0,74</b>	-3,74	-1,93	-1,46	-7,17	-4,44	-4,91	30,00	-3,09	-1,37	-0,92	<b>2,11</b>	-14,27
Ard*GTABB	-21,69	-17,47	-11,14	<b>0,11</b>	-15,08	-4,50	-3,16	-3,33	-2,28	-6,67	-6,04	<b>-40,00</b>	<b>0,50</b>	<b>0,68</b>	-0,61	-9,90	-14,63
GTA*ArdBB	-13,79	-18,15	-27,93	-8,73	-17,61	-0,25	-4,55	<b>1,37</b>	-1,95	-1,30	-1,32	0,00	<b>2,30</b>	<b>0,68</b>	<b>0,31</b>	<b>7,83</b>	-5,50
Ard*Lat BB	-27,37	-21,64	-26,62	<b>9,07</b>	-22,60	-1,82	-9,47	-6,70	-0,65	-5,93	-6,23	<b>-31,25</b>	<b>2,34</b>	-1,37	<b>1,88</b>	-22,23	-11,00
Lat*Ard BB	-33,23	-5,49	-7,29	-5,90	-18,94	-0,94	-8,62	-2,04	-4,74	-4,81	-6,42	12,50	-16,70	<b>0,34</b>	<b>1,56</b>	-22,08	-2,35
Ard*Sim BN	<b>19,90</b>	-10,73	-17,26	<b>0,66</b>	<b>23,70</b>	-1,61	-8,62	-1,24	<b>1,13</b>	-1,48	-1,13	<b>-57,89</b>	-17,04	-1,03	-0,31	<b>3,97</b>	<b>21,69</b>
Ard*Sim BB	<b>2,54</b>	-20,01	-39,30	-10,61	<b>12,90</b>	-1,10	<b>0,20</b>	<b>0,40</b>	-2,65	-3,89	-3,58	<b>-57,89</b>	-2,35	<b>0,00</b>	<b>0,61</b>	<b>15,64</b>	-8,68
Sim*Ard BN	-24,43	-22,50	-19,14	-2,98	<b>0,55</b>	-1,23	-7,94	-3,59	-6,09	-5,37	-6,79	<b>-10,53</b>	-21,93	-3,08	<b>0,00</b>	-14,49	-4,61
Car*Che BB	<b>75,32</b>	<b>5,75</b>	-43,40	-3,82	<b>74,92</b>	-6,24	-7,58	<b>0,48</b>	<b>3,14</b>	<b>18,03</b>	<b>17,60</b>	<b>-30,00</b>	-1,35	<b>0,34</b>	-0,61	<b>63,57</b>	-1,75
Car*Che BN	<b>10,32</b>	<b>13,21</b>	-11,50	-1,80	<b>29,81</b>	-7,77	-8,60	-6,83	-0,67	-9,67	-11,99	60,00	-16,00	-1,71	<b>0,30</b>	<b>8,51</b>	-1,46
Che*Car BN	<b>18,97</b>	-4,55	-11,97	<b>3,03</b>	<b>27,78</b>	-3,01	-8,74	-3,92	-1,34	-7,43	-8,80	10,00	<b>8,29</b>	-2,05	-0,61	-8,26	-11,16
Car*GTA BB	<b>3,50</b>	<b>16,95</b>	<b>17,19</b>	-7,53	-8,27	-1,38	-6,62	-2,38	-3,27	-1,86	-3,18	22,22	-2,48	-1,37	-1,22	-2,82	15,77
GTA*Car BB	-13,59	<b>12,83</b>	-8,93	<b>2,02</b>	-9,95	-2,46	-3,31	<b>8,89</b>	-7,10	-0,93	-2,25	22,22	-1,45	<b>2,74</b>	<b>0,00</b>	<b>18,81</b>	-0,74
Car*Lat BB	-27,81	-10,91	-8,18	<b>0,22</b>	-23,30	-3,16	-13,38	<b>1,81</b>	-7,93	0,56	-1,50	<b>-6,25</b>	<b>1,88</b>	-1,37	-0,30	-26,63	-10,03
Lat*Car BB	-33,25	-22,96	-20,55	-1,57	-21,90	-7,18	-12,03	-8,76	-5,61	-4,28	-8,05	50,00	-11,02	<b>1,03</b>	-2,13	-29,25	-7,15
Car*Sim BN	-12,20	-11,08	-18,36	<b>1,22</b>	-12,17	-1,85	-3,25	-3,48	<b>2,59</b>	-6,13	-6,74	<b>-63,16</b>	-8,56	-1,03	-0,61	-7,03	<b>0,34</b>
Car*Sim BB	-13,99	-9,73	-17,12	-6,74	-11,71	-4,54	-4,28	<b>1,67</b>	<b>2,68</b>	-0,37	-1,69	<b>-42,11</b>	-2,87	<b>0,00</b>	-1,22	-6,73	-5,56
Sim*Car BN	<b>15,97</b>	-6,82	-3,52	-4,86	-0,27	-2,41	-2,81	-1,14	<b>3,36</b>	-2,60	-4,87	<b>-15,79</b>	<b>2,89</b>	<b>0,68</b>	-1,52	-15,75	<b>4,53</b>
Che*GTA BN	-5,91	<b>17,76</b>	-2,90	-0,57	-5,74	-1,06	<b>1,14</b>	<b>0,53</b>	<b>4,18</b>	-0,95	<b>0,58</b>	<b>-80,00</b>	<b>3,64</b>	-1,37	-0,31	<b>21,87</b>	-5,66
GTA*Che BB	-16,08	<b>7,36</b>	-6,08	-14,37	-6,66	-3,28	-1,78	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	-4,00	-3,69	<b>-20,00</b>	-7,04	<b>0,69</b>	1,54	<b>14,00</b>	-5,06
GTA*Che BN	-30,07	-3,86	-4,56	<b>0,34</b>	-21,21	-3,57	-8,13	-1,07	-2,35	0,57	<b>0,97</b>	<b>-20,00</b>	-2,21	-1,03	-0,93	-0,69	-11,80
Che*Lat BN	-0,66	-13,38	-2,90	<b>2,70</b>	-9,35	-5,26	-12,46	<b>0,80</b>	<b>0,61</b>	-0,19	<b>0,39</b>	<b>-56,25</b>	-9,64	<b>0,00</b>	<b>2,50</b>	-21,98	<b>17,62</b>

*Les cases en gras représentent l'hétérosis supérieur ou égale à la meilleure variété*

Valeur de l'hétérosis par rapport au meilleur parent des hybrides F<sub>2</sub> (Suite)

Géotypes	RDTes	RDTg	IR	NP/m <sup>2</sup>	NE/m <sup>2</sup>	HT	LCE	LE	LB	ET	EF	ES	NGE	PE	PF	BA	PMG
Lat*Che BB	-14,32	-13,79	-10,96	-6,69	-14,11	-5,24	-11,24	<b>0,49</b>	-1,79	-1,14	-0,97	<b>-43,75</b>	<b>13,67</b>	<b>0,69</b>	<b>2,81</b>	-17,22	-13,21
Lat*Che BN	-24,91	-4,82	<b>16,51</b>	<b>1,41</b>	-22,29	-2,91	-5,30	<b>2,05</b>	-4,86	<b>2,48</b>	<b>2,52</b>	<b>-37,50</b>	<b>2,22</b>	-1,72	<b>1,25</b>	-29,11	-6,76
Che*Sim BN	<b>4,25</b>	-1,98	-1,78	-0,11	<b>4,94</b>	-4,85	-6,63	-5,08	<b>2,12</b>	-3,81	-5,44	<b>-5,26</b>	-9,36	<b>0,00</b>	<b>1,23</b>	-5,66	-0,48
Sim*Che BN	<b>21,06</b>	<b>1,42</b>	-11,11	-3,54	<b>13,45</b>	-5,94	-2,58	<b>2,18</b>	<b>3,72</b>	<b>0,00</b>	<b>1,36</b>	<b>-84,21</b>	<b>4,35</b>	-1,03	<b>1,23</b>	<b>2,21</b>	-6,42
GTA*Lat BB	-23,04	-3,66	-5,82	-11,86	-10,18	<b>0,75</b>	-10,33	-0,36	<b>4,51</b>	-0,19	<b>1,59</b>	<b>-56,25</b>	-14,09	<b>1,72</b>	<b>0,93</b>	-5,55	-0,23
Lat*GTA BB	-17,01	-2,02	15,91	<b>7,07</b>	-9,95	-2,15	-9,46	-4,05	<b>1,16</b>	-3,28	-3,39	0,00	-2,00	<b>0,34</b>	-0,62	-22,18	-10,19
GTA*Sim BB	-22,61	-3,67	-17,83	-11,05	-16,16	<b>0,57</b>	-1,27	<b>3,96</b>	<b>3,57</b>	<b>4,68</b>	<b>6,79</b>	<b>-89,47</b>	-6,63	<b>0,34</b>	<b>0,62</b>	<b>5,27</b>	-0,35
GTA*Sim BN	-36,51	-10,02	-8,40	-5,19	-29,40	-2,21	-8,28	-4,49	<b>0,97</b>	-0,58	-0,20	<b>-47,37</b>	-16,36	<b>0,34</b>	<b>1,24</b>	-8,92	<b>8,34</b>
Sim*GTA BN	-24,29	-19,17	-27,48	-0,44	-11,33	<b>0,80</b>	<b>1,97</b>	<b>0,09</b>	<b>3,28</b>	<b>2,92</b>	<b>3,79</b>	<b>-57,89</b>	-13,68	-2,41	<b>1,55</b>	<b>0,37</b>	<b>1,57</b>
Lat*Sim BN	<b>3,59</b>	<b>3,04</b>	-29,11	-19,45	<b>7,56</b>	-4,84	-15,76	<b>12,27</b>	<b>1,53</b>	<b>9,85</b>	<b>11,55</b>	<b>-52,63</b>	<b>4,77</b>	<b>0,69</b>	<b>1,24</b>	<b>8,33</b>	-9,56
Lat*Sim BB	-45,81	-16,25	-13,76	-14,36	-34,37	-3,24	-9,44	<b>1,45</b>	-2,63	-0,19	<b>1,00</b>	<b>-47,37</b>	-3,88	<b>1,38</b>	<b>0,31</b>	-22,98	-16,00
Sim*Lat BN	-29,84	-7,49	-17,89	-6,52	-17,61	<b>1,45</b>	-9,02	-2,23	-2,40	-0,97	<b>0,60</b>	<b>-57,89</b>	-3,16	<b>0,34</b>	<b>0,62</b>	-16,10	-13,42

*Les cases en gras représentent l'hétérosis supérieur ou égale à la meilleure variété*

**Tableau 91 : Valeurs de l'hétérosis (économique) par rapport à la meilleure variété**

*Les cases en gras représentent l'hétérosis supérieur ou égale à la meilleure variété*

Géotypes	RDTes	RDTg	IR	NP/m <sup>2</sup>	NE/m <sup>2</sup>	HT	LCE	LE	LB	ET	EF	ES	NGE	PE	PF	BA	PMG
Ard*Car BB	-29,19	-23,49	-25,02	<b>3,37</b>	-11,09	-4,56	<b>0,02</b>	<b>12,15</b>	<b>6,94</b>	-10,56	-12,73	<b>-10,05</b>	-3,98	-0,68	-1,22	-26,91	-7,12
Car*Ar BB	-29,99	-23,86	-31,65	-1,46	-11,27	-3,04	-7,30	<b>7,09</b>	-7,91	-0,19	-2,06	<b>-15,34</b>	<b>1,27</b>	-2,05	-0,91	-16,68	-12,57
Ard*Che BN	-9,26	<b>4,92</b>	-19,09	-3,71	<b>10,37</b>	-6,65	-10,55	<b>1,99</b>	<b>8,02</b>	-3,89	-3,00	<b>-94,71</b>	<b>2,89</b>	<b>0,00</b>	-0,91	-6,10	-10,89
Arde*Che BB	-32,58	-21,62	-26,11	-9,10	-15,78	-4,37	-11,90	<b>16,18</b>	-0,74	<b>5,74</b>	<b>6,18</b>	<b>-78,84</b>	<b>4,51</b>	<b>1,72</b>	-0,61	-23,43	-14,97
Che*Ard BN	-30,26	-12,88	-23,80	-5,39	-2,07	-1,88	-2,61	-1,51	-6,40	-4,44	-5,62	<b>-31,22</b>	-6,88	-1,37	-1,52	-16,38	-14,38
Ard*GTABB	-15,95	-5,91	<b>4,34</b>	<b>0,40</b>	-6,96	-3,60	-1,94	-3,20	<b>0,68</b>	-4,00	-3,39	<b>-36,84</b>	<b>1,84</b>	<b>0,86</b>	<b>0,15</b>	-7,60	-11,00
GTA*ArdBB	-17,17	-18,15	-27,48	-9,55	-2,98	-0,25	-5,21	<b>1,33</b>	-1,14	-1,30	-2,06	<b>-47,09</b>	<b>0,80</b>	<b>0,69</b>	-0,30	-17,81	-5,63
Ard*Lat BB	-27,37	-21,65	-26,17	8,09	-10,46	-1,63	-4,99	-6,74	<b>0,17</b>	-5,93	-6,93	<b>-41,80</b>	<b>0,51</b>	-1,37	-0,61	-22,23	-11,00
Lat*Ard BB	-33,23	-5,49	-6,72	-6,74	-6,22	-0,75	-4,10	-2,08	-3,95	-4,81	-7,12	<b>-4,76</b>	-18,19	<b>0,35</b>	-0,91	-22,08	-2,35
Ard*Sim BN	-0,52	-10,74	-16,75	2,36	<b>21,91</b>	-1,61	-9,25	-1,29	<b>1,96</b>	-1,48	-1,87	<b>-57,67</b>	-20,41	-1,02	-0,91	-15,23	21,54
Ard*Sim BB	-14,92	-20,01	-38,92	-9,10	<b>11,27</b>	-1,10	-0,49	<b>0,35</b>	-1,85	-3,89	-4,31	<b>-57,67</b>	-6,31	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	-5,71	-8,79
Sim*Ard BN	-37,30	-22,51	-18,64	-1,35	-0,90	-1,23	-8,57	-3,63	-5,32	-5,37	-7,49	<b>-10,05</b>	-25,10	-3,08	-0,61	-30,28	-4,73
Car*Che BB	14,57	-8,71	-49,16	-3,82	<b>40,22</b>	-4,42	-6,88	<b>1,15</b>	<b>1,00</b>	<b>17,59</b>	<b>17,60</b>	<b>-62,96</b>	-1,34	<b>0,35</b>	-0,61	<b>33,95</b>	-7,24
Car*Che BN	-27,91	-2,27	-20,52	-1,80	<b>4,06</b>	-5,99	-7,91	-6,21	-2,73	-10,00	-11,99	<b>-15,34</b>	-16,00	-1,71	<b>0,31</b>	-11,14	-6,96
Che*Car BN	-22,26	-17,60	-20,94	<b>3,03</b>	<b>2,43</b>	-1,13	-8,05	-3,28	-3,38	-7,78	-8,80	<b>-41,80</b>	<b>8,30</b>	-2,05	-0,61	-24,87	-16,13
Car*GTA BB	-0,56	<b>0,95</b>	<b>5,25</b>	-7,53	<b>8,02</b>	-0,65	-5,91	-1,73	-6,60	-2,22	-3,18	<b>-41,80</b>	-2,48	-1,37	-1,22	-25,93	<b>6,18</b>
GTA*Car BB	-16,98	-2,60	-18,21	2,02	<b>6,04</b>	-1,74	-2,58	<b>9,62</b>	-10,30	-1,30	-2,25	<b>-41,80</b>	-1,44	<b>2,74</b>	<b>0,00</b>	-9,44	-8,97
Car*Lat BB	-27,81	-20,18	-17,54	<b>0,22</b>	-11,27	-2,45	-9,09	<b>2,48</b>	-9,50	<b>0,19</b>	-1,50	<b>-20,63</b>	1,89	-1,37	-0,30	-26,63	-10,03
Lat*Car BB	-33,25	-30,97	-28,65	-1,57	-9,65	-6,49	-7,68	-8,16	-7,22	-4,63	-8,05	26,98	-11,01	<b>1,03</b>	-2,13	-29,25	-7,15

**Valeurs de l'hétérosis (économique) par rapport à la meilleure variété (Suite)**

Géotypes	RDTes	RDTg	IR	NP/m <sup>2</sup>	NE/m <sup>2</sup>	HT	LCE	LE	LB	ET	EF	ES	NGE	PE	PF	BA	PMG
Car*Sim BN	-35,40	-23,24	-26,67	<b>2,92</b>	-13,44	-1,13	-2,52	-2,84	-0,94	-6,48	-6,74	<b>-62,96</b>	-8,55	-1,02	-0,61	-24,19	-9,23
Car*Sim BB	-36,71	-22,08	-25,56	-5,17	-12,99	-3,83	-3,56	<b>2,35</b>	-0,85	-0,74	-1,69	<b>-41,80</b>	-2,87	<b>0,00</b>	-1,22	-23,95	-14,57
Sim*Car BN	-14,68	-19,56	-13,34	-3,26	-1,71	-1,69	-2,07	-0,49	-0,20	-2,96	-4,87	<b>-15,34</b>	<b>2,90</b>	<b>0,69</b>	-1,52	-31,31	-5,44
Che*GTA BN	-9,60	<b>0,02</b>	-25,32	-2,02	11,00	0,86	-0,66	<b>0,22</b>	<b>2,02</b>	-3,70	-3,00	<b>-89,42</b>	<b>2,12</b>	-1,71	-1,52	-0,20	-10,93
GTA*Che BB	-19,37	-8,80	-27,77	-15,62	<b>9,92</b>	-1,40	-3,53	-0,31	-2,08	-6,67	-7,12	<b>-57,67</b>	-8,39	<b>0,35</b>	<b>0,31</b>	-6,65	-10,37
GTA*Che BN	-32,81	-18,34	-26,61	-1,12	-7,21	-1,70	-9,77	-1,37	-4,38	-2,22	-2,62	<b>-57,67</b>	-3,64	-1,37	-2,13	-18,67	-16,73
Che*Lat BN	-0,65	-22,38	-25,33	-1,69	<b>4,87</b>	-3,42	-8,13	<b>0,31</b>	-1,11	-2,96	-3,18	<b>-62,96</b>	-11,26	-0,68	<b>0,00</b>	-21,98	17,63
Lat*Che BB	-14,32	-22,75	-31,53	-10,68	-0,63	-3,40	-6,85	<b>0,00</b>	-3,47	-3,89	-4,49	<b>-52,38</b>	<b>11,63</b>	<b>0,00</b>	<b>0,31</b>	-17,22	-13,20
Lat*Che BN	-24,91	-14,72	-10,40	-2,92	-10,10	-1,03	-0,61	<b>1,55</b>	-6,48	-0,37	-1,12	<b>-47,09</b>	<b>0,38</b>	-2,39	-1,22	-29,11	-6,76
Che*Sim BN	-23,30	-13,31	-13,95	<b>1,57</b>	<b>3,43</b>	-3,00	-8,29	-5,54	<b>0,00</b>	-6,48	-8,80	<b>-4,76</b>	-12,91	-0,68	<b>0,00</b>	-22,74	-6,04
Sim*Che BN	-10,93	-10,31	-22,12	-1,91	<b>11,81</b>	-4,11	-4,32	<b>1,68</b>	<b>1,56</b>	-2,78	-2,25	<b>-84,13</b>	<b>0,26</b>	-1,71	<b>0,00</b>	-16,30	-11,65
GTA*Lat BB	-23,03	-13,68	-33,37	-13,15	<b>5,77</b>	0,95	-5,90	-0,66	<b>2,73</b>	-4,26	-4,49	<b>-62,96</b>	-15,35	<b>1,37</b>	-1,22	-5,56	-0,23
Lat*GTA BB	-17,01	-12,21	-17,99	<b>5,50</b>	<b>6,04</b>	-1,96	-4,98	-4,34	-0,57	-7,22	-9,18	<b>-15,34</b>	-3,43	<b>0,00</b>	-2,74	-22,18	-10,18
GTA*Sim BB	-25,65	-14,81	-28,01	-9,55	-1,26	-1,26	-4,38	<b>3,63</b>	-0,17	-0,56	<b>0,19</b>	<b>-89,42</b>	-7,99	<b>0,00</b>	-1,22	-14,16	-8,61
GTA*Sim BN	-39,00	-20,42	-19,75	-3,60	-16,86	-3,98	-11,17	-4,79	-2,67	-5,56	-6,37	<b>-47,09</b>	-17,58	<b>0,00</b>	-0,61	-25,74	-0,63
Sim*GTA BN	-27,25	-28,51	-36,47	<b>1,23</b>	<b>4,42</b>	-1,03	-1,24	-0,22	-0,46	-2,22	-2,62	<b>-57,67</b>	-14,95	-2,74	-0,30	-18,16	-6,84
Lat*Sim BN	<b>3,59</b>	-7,67	-37,89	-18,09	<b>24,44</b>	-4,66	-11,60	<b>9,53</b>	-0,20	5,37	<b>4,87</b>	<b>-52,38</b>	<b>2,89</b>	<b>0,00</b>	-0,61	<b>8,33</b>	-9,56
Lat*Sim BB	-45,81	-24,96	-24,44	-12,92	-24,08	-3,06	-4,96	-1,02	-4,29	-4,26	-5,06	<b>-47,09</b>	-5,60	<b>0,69</b>	-1,52	-22,98	-15,99
Sim*Lat BN	-29,84	-17,11	-28,07	-4,94	-4,69	1,64	-4,52	-4,61	-4,07	-5,00	-5,43	<b>-57,67</b>	-4,90	-0,34	-1,22	-16,10	-13,41

*Les cases en gras représentent l'hétérosis supérieur ou égale à la meilleure variété*

**Tableau 92 : Valeurs de l'hétérosis global (Moyenne des hybrides par rapport à la moyenne des variétés)**

	RDTes	RDTg	IR	NP/m <sup>2</sup>	NE/m <sup>2</sup>	HT	LCE	LE	LB	ET	EF	ES	NGE	PE	PF	BA	PMG
HG =	-0,45	-3,38	-6,72	-2,13	2,94	-2,28	-4,91	1,61	0,53	-0,04	0,16	-8,75	-1,87	0,27	0,55	2,48	-0,42

## Annexe VIII

**Tableau 93. Matrice de corrélations entre les différents paramètres (Analyse diallèles)**

	NP/m <sup>2</sup>	épi/m <sup>2</sup>	HT	LCE	LE	LB	ET	EF	ES	NGE	PE	PF	PE-F	BA	PMG	RDTe	RDTg	IR
<b>p/m<sup>2</sup></b>	<b>1.0000</b>																	
<b>épi/m<sup>2</sup></b>	-0.120	<b>1.0000</b>																
<b>HT</b>	-0.009	-0.117	<b>1.0000</b>															
<b>LCE</b>	0.126	-0.069	<b>0.531***</b>	<b>1.0000</b>														
<b>LE</b>	-0.278	0.002	-0.163	-0.045	<b>1.0000</b>													
<b>LB</b>	-0.003	0.273	-0.152	0.0279	0.132	<b>1.0000</b>												
<b>ET</b>	-0.276	<b>0.315*</b>	-0.075	-0.188	<b>0.441*</b>	-0.019	<b>1.0000</b>											
<b>EF</b>	<b>-0.306*</b>	<b>0.323*</b>	-0.043	-0.175	<b>0.467**</b>	0.056	<b>0.983***</b>	<b>1.0000</b>										
<b>ES</b>	0.261	-0.167	-0.131	0.011	<b>-0.311*</b>	<b>-0.391*</b>	<b>-0.309*</b>	<b>-0.478**</b>	<b>1.0000</b>									
<b>NGE</b>	-0.070	-0.008	-0.056	0.103	<b>0.394*</b>	-0.003	0.264	<b>0.298*</b>	-0.282	<b>1.0000</b>								
<b>PE</b>	<b>-0.347*</b>	0.046	-0.208	-0.065	0.267	0.062	0.196	0.196	-0.082	0.136	<b>1.0000</b>							
<b>PF</b>	-0.134	0.031	-0.125	-0.193	0.190	0.029	0.110	0.152	-0.265	-0.031	-0.005	<b>1.0000</b>						
<b>PE-F</b>	0.208	-0.020	0.100	-0.056	-0.111	-0.034	-0.098	-0.075	-0.082	-0.129	<b>-0.824***</b>	<b>-0.570***</b>	<b>1.0000</b>					
<b>BA</b>	<b>-0.340*</b>	<b>0.710***</b>	-0.050	-0.030	0.179	0.271	<b>0.549***</b>	<b>0.564***</b>	-0.294	0.099	0.143	0.100	-0.061	<b>1.0000</b>				
<b>PMG</b>	0.050	<b>0.340*</b>	0.090	-0.080	-0.129	0.159	0.010	-0.010	0.100	<b>-0.500***</b>	-0.067	0.045	0.080	0.023	<b>1.0000</b>			
<b>RDTe</b>	-0.118	<b>0.894***</b>	-0.088	-0.028	0.122	0.275	<b>0.383*</b>	<b>0.392*</b>	-0.207	0.234	0.079	0.007	-0.0613	<b>0.598***</b>	<b>0.465**</b>	<b>1.0000</b>		
<b>RDTg</b>	-0.108	<b>0.436*</b>	0.099	0.047	0.027	0.215	0.122	0.156	-0.223	0.056	0.079	0.087	-0.015	<b>0.418*</b>	0.163	<b>0.430*</b>	<b>1.0000</b>	
<b>IR</b>	0.281	<b>-0.326*</b>	0.145	0.054	-0.197	-0.168	<b>-0.30*</b>	<b>-0.32**</b>	0.182	-0.090	-0.062	-0.038	0.030	<b>-0.63***</b>	0.183	-0.206	<b>0.38*</b>	<b>1.0000</b>

*En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,050 (test bilatéral)*



## Annexe IX

### Tableaux d'analyse de la variance AGC et ASC Méthode 3 (F<sub>2</sub> + les réciproques) modèle aléatoire

**Tableau 94: Tableau d'analyse de la variance du nombre de pieds par m<sup>2</sup>**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	Fobs.	signification	Fobs/Bt
Traitements (Génotypes)	29	60907,29	2100,25	1,184	ns	1,18
Blocs	2	3518,16	1759,08	0,992		0,99
Interactions Bt	58	102863,84	1773,51			
Total	89	167289,29				

**Tableau 95: Tableau d'analyse de la variance du nombre d'épis par m<sup>2</sup>**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	Fobs.	signification	Fobs/Bt
AGC	5	41287,58	8257,52	7,903	**	5,74
ASC	9	56058,35	6228,71	3,772	*	4,33
Effets réciproques généraux	5	21442,78	4288,56	8,546	**	2,98
Effets réciproques spécifiques	10	45298,06	4529,81	2,563	*	3,15
Traitements	29	164086,77	5658,16	3,932	***	3,93
Blocs	2	1047,80	523,90	0,364		0,36
<b>Interactions</b>						
BAGC	10	10448,67	1044,87			
BASC	18	29725,20	1651,40			
Bgénéraux	10	5018,31	501,83			
Bspécifique	20	35342,36	1767,12			
Bt	58	83459,53	1438,96			
Total	89	248594,10				

**Tableau 96: Tableau d'analyse de la variance de la hauteur de la tige**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	Fobs.	signification	Fobs/Bt
Traitements (Génotypes)	29	178,13	6,14	0,777	ns	0,78
Blocs	2	475,65	237,83	30,067		30,07
Interactions Bt	58	458,77	7,91			
Total	89	1112,56				

**Tableau 97: Tableau d'analyse de la variance de la longueur du col de l'épi**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	Fobs.	signification	Fobs/Bt
Traitements (Génotypes)	29	35,03	1,21	0,658	ns	0,66
Blocs	2	25,68	12,84	6,993		6,99
Interactions Bt	58	106,48	1,84			
Total	89	167,19				

**Tableau 98: Tableau d'analyse de la variance de la longueur de l'épi**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	Fobs.	signification	Fobs/Bt
Traitements (Génotypes)	29	11,01	0,38	1,072	ns	1,07
Blocs	2	1,84	0,92	2,601		2,60
Interactions Bt	58	20,54	0,35			
Total	89	33,39				

**Tableau 99: Tableau d'analyse de la variance de la longueur des barbes**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	Fobs.	signification	Fobs/Bt
Traitements (Génotypes)	29	21,88	0,75	1,217	ns	1,22
Blocs	2	14,26	7,13	11,504		11,50
Interactions Bt	58	35,96	0,62			
Total	89	72,11				

**Tableau 100: Tableau d'analyse de la variance du nombre total d'épillets**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	Fobs.	signification	Fobs/Bt
Traitements (Génotypes)	29	29,54	1,02	1,239	ns	1,24
Blocs	2	16,54	8,27	10,056		10,06
Interactions Bt	58	47,70	0,82			
Total	89	93,78				

**Tableau 101: Tableau d'analyse de la variance du nombre d'épillets fertiles**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	Fobs.	signification	Fobs/Bt
AGC	5	3,26	0,65	1,406	ns	0,96
ASC	9	7,34	0,82	1,129	ns	1,20
effets réciproques généraux	5	6,81	1,36	2,300	ns	2,01
effets réciproques spécifiques	10	15,92	1,59	1,888	ns	2,35
traitement	29	33,32	1,15	1,695	*	1,70
blocs	2	10,52	5,26	7,762		7,76
<b>Interactions</b>						
BAGC	10	4,63	0,46			
BASC	18	12,99	0,72			
Bgénéraux	10	5,92	0,59			
Bspécifique	20	16,86	0,84			
Bt	58	39,31	0,68			
Total	89	83,15				

**Tableau 102: Tableau d'analyse de la variance du nombre d'épillets stériles**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	Fobs.	signification	Fobs/Bt
Traitements (Génotypes)	29	2,96	0,10	1,358	ns	1,36
Blocs	2	0,37	0,19	2,469		2,47
Interactions Bt	58	4,36	0,08			
Total	89	7,68				

**Tableau 103: Tableau d'analyse de la variance du nombre de grains par épi**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	Fobs.	signification	Fobs/Bt
Traitements (Génotypes)	29	1384,81	47,75	1,207	ns	1,21
Blocs	2	25,18	12,59	0,318		0,32
Interactions Bt	58	2294,60	39,56			
Total	89	3704,60				

**Tableau 104: Tableau d'analyse de la variance de la précocité à l'épiaison**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	Fobs.	signification	Fobs/Bt
Traitements (Génotypes)	29	133,82	4,61	1,160	ns	1,16
Blocs	2	57,22	28,61	7,191		7,19
Interactions Bt	58	230,78	3,98			
Total	89	421,82				

**Tableau 105: Tableau d'analyse de la variance de la précocité à la floraison**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	Fobs.	signification	Fobs/Bt
Traitements (Génotypes)	29	50,89	1,75	0,617	ns	0,62
Blocs	2	12,42	6,21	2,184		2,18
Interactions Bt	58	164,91	2,84			
Total	89	228,22				

**Tableau 106: Tableau d'analyse de la variance de la durée épiaison – floraison**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	Fobs.	signification	Fobs/Bt
Traitement	29	217.96	7.52	1.275	ns	1.27
Blocs	2	16.69	8.34	1.415		1.42
Interaction Bt	58	341.98	5.90			
Total	89	576.62				

**Tableau 107: Tableau d'analyse de la variance du poids de mille grains**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	Fobs.	signification	Fobs/Bt
Traitements (Génotypes)	29	2655,14	91,56	0,841	ns	0,84
Blocs	2	120,56	60,28	0,554		0,55
Interactions Bt	58	6312,85	108,84			
Total	89	9088,55				

**Tableau 108: Tableau d'analyse de la variance de la biomasse aérienne**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	Fobs.	signification	Fobs/Bt
AGC	5	5175,11	1035,02	2,635	ns	1,79
ASC	9	10035,85	1115,09	1,947	ns	1,93
Effets réciproques généraux	5	6768,68	1353,74	4,506	*	2,34
Effets réciproques spécifiques	10	9682,49	968,25	1,194	ns	1,67
Traitement	29	31662,13	1091,80	1,886	*	1,89
Blocs	2	15157,59	7578,79	13,091		13,09
<b>Interactions</b>						
BAGC	10	3927,47	392,75			
BASC	18	10310,27	572,79			
B généraux	10	3004,09	300,41			
B spécifique	20	16224,90	811,24			
Bt	58	33578,76	578,94			
Total	89	80398,48				

**Tableau 109: Tableau d'analyse de la variance de l'indice de récolte**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	Fobs.	signification	Fobs/Bt
Traitements (Génotypes)	29	0,26	0,01	1,313	ns	1,31
Blocs	2	0,25	0,13	18,656		18,66
Interactions Bt	58	0,39	0,01			
Total	89	0,90				

**Tableau 110: Tableau d'analyse de la variance du rendement en grain parcellaire**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	Fobs.	signification	Fobs/Bt
Traitements (Génotypes)	29	1999,88	68,96	1,031	ns	1,03
Blocs	2	711,60	355,80	5,322		5,32
Interactions Bt	58	3877,88	66,86			
Total	89	6589,36				

**Tableau 111: Tableau d'analyse de la variance du rendement en grain estimé**

Sources de variation	ddl	SCE	CM	Fobs.	signification	Fobs/Bt
AGC	5	4066,56	813,31	3,123	ns	2,26
ASC	9	5218,86	579,87	1,774	ns	1,61
Effets réciproques généraux	5	3513,60	702,72	2,508	ns	1,95
Effets réciproques spécifiques	10	9457,81	945,78	3,207	*	2,63
Traitements	29	22256,83	767,48	2,130	**	2,13
Blocs	2	245,56	122,78	0,341		0,34
<b>Interactions</b>						
BAGC	10	2604,39	260,44			
BASC	18	5882,45	326,80			
B généraux	10	2802,00	280,20			
B spécifique	20	5897,47	294,87			
Bt	58	20895,11	360,26			
Total	89	43397,50				



## Résumé

La présente étude a pour objectifs l'étude de l'interaction génotype x environnement de quelques lignées de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et l'étude de comportement des F<sub>2</sub> provenant de croisement diallèles de blé dur dans le but de commencer une sélection des meilleurs croisements et des meilleurs individus pour la création de nouvelle variétés performantes.

Pour la première partie d'étude, les analyses statistiques ont montré que les génotypes Ardente x Waha L1, Ardente x Saadi L3, Siméto, Ardente x Siméto L4, Ardente x Vitron L1 et Vitron sont les génotypes qui ont présenté une bonne stabilité et une bonne adaptation pour l'ensemble des caractères étudiés à travers les différents environnements. Les paramètres de stabilité ( $b_i$ ,  $S^2_{di}$ ,  $W^2_i$  et  $\sigma^2_i$ ) sont significativement liés avec le rendement. L'exploitation positive de l'interaction a permis un gain génétique de rendement en grain.

Pour la deuxième partie d'étude, l'analyse de la variance a montré une différence significative entre les génotypes pour le nombre d'épis/m<sup>2</sup>, le nombre total d'épillets, le nombre d'épillets fertiles, la biomasse et le poids de mille grains. D'après les coefficients de détermination, la présence d'une variabilité génétique du rendement est due principalement à la variabilité de l'indice de récolte, de la biomasse aérienne, du nombre d'épillets fertiles et du poids de mille grains. L'analyse de la variance des aptitudes à la combinaison réalisée selon le modèle de Griffing fait ressortir des effets d'AGC et d'ASC significatifs pour le nombre d'épis par mètre carré c'est-à-dire les actions géniques additives et de dominance sont toutes deux importantes dans le contrôle de ce caractère. Le rapport AGC / ASC est faible pour les caractères : biomasse aérienne, rendement en grain estimé et nombre d'épillets fertiles, pour ces caractères les effets non additifs sont prédominants. La détermination de l'effet hétérotique par rapport au parent moyen met en évidence les écarts à l'additivité (dominance partielle et totale) et la référence au meilleur parent souligne les effets de superdominance.

**Mots clés :** Blé dur (*Triticum durum* Desf.), interaction génotype x environnement, stabilité, adaptation, gain génétique, croisement diallèles, F<sub>2</sub>, création variétale, variabilité génétique, aptitude générale à la combinaison, aptitude spécifique à la combinaison, AGC/ASC, additivité, dominance et hétérosis.

## Summary

The present study aims at the study of the interaction genotype x environment of some durum wheat lines (*Triticum durum* Desf.) and the study of behavior of F2 coming from diallel crossing of durum wheat with an aim of beginning a selection of the best crossings and better individuals for the creation of new powerful varieties.

For the first part of study, the statistical analyzes showed that the genotypes Ardente x Waha L1, Ardente x Saadi L3, Siméto, Ardente x Siméto L4, Ardente x Vitron L1 and Vitron are the genotypes which presented a good stability and a good adaptation for the unit of the characters studied through the various environments. The parameters of stability ( $bi$ ,  $S^2_{di}$ ,  $W^2_i$  and  $\sigma^2_i$ ) are significantly dependant with the yield. Positive exploitation of the interaction allowed a genetic profit of yield in grain.

For the second part of study, the analysis of the variance showed a significant difference between the genotypes for the number of ears per square meter, the full number of epilletts, the number of fertile epilletts, the biomass and the weight of thousand grains. According to the coefficients of determination, the presence of a genetic variability of the yield is due mainly to the variability of the index of harvest, the air biomass, the number of fertile epilletts and the weight of thousand grains. The analysis of the variance of the aptitudes for the combination carried out according to the model of Griffing emphasizes effects of AGC and ASC significant for the parameter number of ears per square meter i.e. the actions genic additive and of predominance are both important in the control of this character. Ratio AGC/ASC is weak for the characters: air biomass, number of ears per square meter, yield estimated in grain and number of fertile epilletts, for these characters the non additive effects are prevalent. The heterotic determination of the effect compared to the average relative highlights the variations at additivity (dominance partial and total) and the reference to the best relative underlines the effects of ultra dominance.

**Key words:** Durum wheat (*Triticum durum* Desf.), interaction genotype x environment, stability, adaptation, genetic profit, diallel crossing, F2, varietal creation, genetic variability, general aptitude for the combination, specific aptitude to the combination, AGC/ASC, additivity, dominance and heterosis.

تهدف هذه الدراسة لتحليل التفاعل بين البيئة و النمط الوراثي لبعض السلالات من القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.) ، ودراسة سلوك الجيل الثاني الناتج من التصلب المزدوج بين بعض سلالات القمح الصلب من أجل البدء في اختيار أحسن وأفضل الأفراد من أجل خلق أصناف جديدة عالية المردود.

بالنسبة للجزء الأول من الدراسة أظهر التحليل الإحصائي أن الأنماط الوراثية Ardente x Waha L1 , Siméto Ardente x Siméto L4, Ardente x Saadi L3, Ardente x Vitron L1, Vitron هي المورثات التي أظهرت نوعاً من الاستقرار وتكيف جيد لجميع الصفات المدروسة في بيئات مختلفة. معالم الاستقرار ( $bi, S^2_{di}, W^2_i, \sigma^2_i$ ) متصلة بشكل ملحوظ بالمردود. استغلال الإيجابي للتفاعل بين البيئة و النمط الوراثي يضمن زيادة المكتسبات الوراثية في محصول الحبوب.

بالنسبة للجزء الثاني من الدراسة أظهر تحليل التباين فرقاً كبيراً بين الأنماط الوراثية لعدد السنابل في المتر المربع، والعدد الإجمالي للسنابلات ، عدد السنابل الخصبية ، والكتلة الحيوية فوق الأرض و وزن ألفة حبة قمح. وفقاً لمعامل التحديد ، فإن وجود التباين الوراثي في المردود يرجع أساساً إلى التغير في مقياس الحصاد و الكتلة الحيوية فوق الأرض و عدد السنابل الخصبية ووزن ألفة حبة قمح. تحليل التباين للقدرة على الارتباط المحسوب وفقاً لنموذج Griffing تظهر قدرة عامة وقدرة خصوصية على الارتباط معتبرتين لعدد السنابل في المتر المربع الواحد وهذا يعني أن آثار الجينات المضافة والسائدة تعتبر هامة على حد سواء لمراقبة هذه الصفة. تقرير المعامل بين القدرة العامة والقدرة الخصوصية على الارتباط منخفض لعدد السنابل في المتر المربع الواحد وهذا يعني أن آثار الجينات الغير مضافة تعتبر هامة لمراقبة هذه الصفة. تحديد مدى تأثير التهجين بالنسبة للوالد المتوسط يسلط الضوء على الاختلافات في الجمع (الصفة السائدة جزئية أو كلية) والمقارنة مع أفضل والد يسلط الضوء على آثار الصفة الأكثر سيادة.

الكلمات الرئيسية : القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.)، لدراسة التفاعل بين البيئة و النمط الوراثي، الاستقرار، التكيف، المكتسبات الوراثية، التصلب المزدوج، الجيل الثاني، خلق أصناف جديدة، التباين الوراثي، القدرة العامة على الارتباط، القدرة الخصوصية على الارتباط، المعامل بين القدرة العامة والقدرة الخصوصية على الارتباط، الجمع، الصفة السائدة و التهجين.

