

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MENTOURI – CONSTANTINE-
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA NATURE

N° d'ordre. 98 / T. E/ 2005.
Série 10/ NAT/ 2005

THESE
Présentée pour obtenir le diplôme de Doctorat d'Etat
En Biologie végétale
Option : Génétique et Amélioration des plantes

Présentée par : MR. BENMAHAMMED AMAR

THEME
HETEROSIS, TRANSGRESSIONS ET EFFICACITE DE LA
SELECTION PRECOCE ET RETARDEE DE LA BIOMASSE,
DU NOMBRE D'EPIS ET UTILISATION DES INDICES CHEZ
L'ORGE (*Hordeum vulgare* L.)

SOUTENUE LE : 19/ 11/ 2005.

Devant le jury :

Président	D. KHELIFI	Prof. Univ. Mentouri. Constantine
Rapporteur	A. DJEKOUN	Prof. Univ. Mentouri. Constantine
Examineurs	M. KAABACHE	Prof. Univ. Ferhat Abbes Sétif
	H. BOUZERZOUR	Prof. Univ. Ferhat Abbes Sétif
	N. YEKHLEF	M.C. Univ. Mentouri. Constantine
	A. YAHIA	M C. C. Univ. Larbi BenMehidi O. E. B

Année Universitaire 2004/2005

Sommaire	
Remerciements	
Résumé	
Listes des tableaux	
Listes des figures	
Listes des abréviations	

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I. Revue bibliographique

1.1. Généralité sur l'espèce orge	4
1.2 La sélection de l'orge	6
1.2.1 La sélection pour améliorer la productivité	6
1.2.2 La sélection pour améliorer l'adaptation	13
- La phénologie	13
- La morphologie de la plante	14
- La physiologie	16
- La réponse globale de la plante	22
1.2.3 Le choix des parents pour concilier production et adaptation	25
1.2.4 La sélection assistée par des marqueurs	28

CHAPITRE II. Matériels et méthodes

2.1. Description du site expérimental	30
2.2. Le climat	30
- La pluviométrie	30
- La température	32
2.3. Dispositif expérimental	33
2-3-1- Matériel végétal mis en place	33
2-3-1-1- Valeurs propres parentales et degré d'expression de l'hétérosis..	33
2-3-1-2- Etude de l'efficacité de la sélection précoce	35
2-3-1-3- Etude de l'efficacité de la sélection retardée sur indices	35
2-3-2- Notations et mesures	36
2-3-3- Analyses des données	38
2-3-3-1- Valeurs propres parentales et degré d'expression de l'hétérosis..	38
2-3-3-2- Etude de l'efficacité de la sélection précoce	40
2-3-3-3- Etude de l'efficacité de la sélection retardée sur indices	41

CHAPITRE III. Résultats et discussion

3.1. Valeurs propres parentales et degré d'expression de l'hétérosis	44
3.1.1. Etudes des hybrides F1 et des lignées parentales.	44
3.1.1.1. Analyse des performances	44
3.1.1.2. Analyse des liaisons inter- caractères	47
3.1.1.3. Régression à parent constant	50
3.1.2. Etudes des générations F2 et F3	52
3.1.2.1. Etude des performances et degré d'hétérosis	52
3.1.2.2. Etude des liaisons inter-caractères en F2 et F3.	53
3.1.2.3. Degré de ressemblance entre apparentés et héritabilité	55
3.2. Etude de l'efficacité de la sélection précoce	60
3.2.1. Réponse à la sélection des épis et de la biomasse aérienne	60
3.2.1.1.L'effet moyen génération	60
3.2.1.2.L'effet moyen génotype et la réponse globale à la sélection	64
3.2.2. L'interaction génotype- environnement et la réponse à la sélection par génération	66
3.2.2.1.Variation intra- groupe	67
3.2.2.2.Corrélations inter- générations et héritabilités au sens étroit	69
3.3. Réponse du rendement à la sélection directe et sur la base des variables liées ...	70
3.4. Pourquoi la sélection précoce des épis ou de la biomasse est elle peu efficace....	72
3.5. Etude de l'efficacité de la sélection retardée sur la base des indices	78
3.5.1. Sélection sur la base de l'indice S	80
3.5.2. Sélection sur la base de l'indice P	82
3.5.3. Sélection sur la base de la réponse à la variation environnementale	83
3.5.4. Sélection sur la base d'une architecture génotypique	86
CONCLUSION	91
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.	

REMERCIEMENTS

Je tiens à présenter mes sincères remerciements :

Au Professeur Djekoun A. Recteur de l'Université de Constantine, pour avoir accepté de diriger ce travail et pour lui avoir consacré son temps malgré ses multiples charges. Qu'il me permette de lui exprimer mon respect et gratitude.

Au Professeur Bouzerzour H. pour ses conseils, son aide et encouragement qui ont été très précieux pour terminer ce travail.

Mes plus vifs remerciements et ma profonde gratitude s'adressent au Professeur Khelifi Douadi, d'avoir bien voulu accepter de présider le jury et de juger ce travail. Au Professeur Kaâbache Mohamed, Docteur Yekhlef Nadia et Docteur Yahia Abdelwahab pour avoir pris sur leur temps, pour examiner et juger ce travail.

Mes remerciements vont aussi au Directeur, sélectionneurs et ouvriers de la Station Expérimentale Agricole (ITGC) de Sétif, pour l'aide apportée au suivi de l'expérimentation. Je n'oublie pas de remercier aussi Docteur Kribaâ Mohamed de l'INES Biologie du Centre Universitaire de Oum El-Bouaghi pour ses encouragements et les moyens matériels qu'il a mis à ma disposition.

Ma reconnaissance va aussi à ma mère Megdouda et en particulier ma femme Nadia, mes enfants Anissa, Yacine, Imène et Messaoud, pour leur soutien moral.

Amar Benmahammed

الملخص

تهدف هذه التجربة التي أجريت ما بين 1994/95 و 1998/99 على مستوى محطة التجارب الزراعية للمعهد التقني للمحاصيل الكبرى (ITGC) بسطيف إلى دراسة درجة التعبير عن تعاضم القدرة على النمو و فعالية الانتخاب المبكر و المتأخر على أساس الدلائل عند الشعير (*Hordeum vulgare* L.) في المناطق الشبه الجافة. المادة النباتية المستعملة ذات مصادر مختلفة (محلية، سورية و أوروبية) خضعت لمخطط عشوائي كامل بثلاث تكرارات. الغلة الحبية للأجيال المبكرة (F3, F2, F1) مرتبطة بعدد السنابل و الكتلة الحيوية الهوائية. الاتحادات التهجينية الناتجة من أباء ذو قيم خاصة ضعيفة، تظهر أعلى تعاضم في القدرة على النمو، مما يجعل من الصعب التنبؤ بكفاءة الهجين من القيم الخاصة بالأباء، المختارة على أساس التنوع الجغرافي. الانتخاب المبكر المباشر و الغير مباشر يظهر بأنه قليل الفعالية، بسبب تأثيرات تفاعل النمط الوراثي مع البيئة الذي يلغي أي تقدم وراثي. الانتخاب المتأخر على أساس معامل الارتداد أو معامل التفوق الوراثي يقلص فرق المردود بين البيئات النهائية (استقرار) و الحصول على أعلى مردود تحت الظروف اللائمة (إنتاجية).

الكلمات المفتاحية: الشعير - الانتخاب - تعاضم القدرة على النمو - القيم الخاصة بالأباء - الشبه الجافة - دليل.

Résumé

L'expérimentation, conduite entre 1994/95 et 1998/99 sur le site de la Station Expérimentale Agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif, avait pour objectifs d'étudier le degré d'expression de l'hétérosis et l'efficacité de la sélection précoce et retardée sur indices chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi-aride. Le matériel végétal utilisé, d'origine diverse (locale, syrienne et européenne) est conduit dans un dispositif en blocs complètement randomisés avec trois répétitions. Le rendement en grains des générations précoces (F1, F2 et F3) est fortement déterminé par le nombre d'épis et la biomasse aérienne. Les combinaisons hybrides F1, issues des parents de faibles valeurs propres, présentent l'hétérosis le plus élevé, rendant difficile la prédiction des performances rendement de l'hybride F1 à partir des valeurs propres parentales, choisis sur la base de la diversité géographique. La sélection précoce directe ou indirecte se montre peu efficace à cause des effets de l'interaction Génotype x Environnement qui annule tout progrès génétique. La sélection retardée basée sur le coefficient de régression ou sur l'indice de supériorité génotypique minimise la différence de rendement entre les environnements extrêmes (Stabilité) et tout en maximisant le rendement en grains sous conditions favorables (Productivité).

Mots clés : *Hordeum vulgare* – Sélection- Hétérosis- Valeurs propres parentales- Semi-aride- Indice.

Summary

The experiment, conducted from 1994/95 to 1998/99, at the ITGC-Agricultural Experimental Station of Sétif, had the objective to study heterosis expression and the efficiency of early and late selection based on associated traits and indices in barley (*Hordeum vulgare L.*) under semi-arid conditions. Plant material used, from diverse origin (Local, Syrian et European) is conducted in a complete blocks design with three replications. Early generation grain yield (F1, F2, F3) was highly determined by the number of spikes and above ground biomass. Hybrid combinations, issued from parents with low values, presented higher heterotic effect, leading to a poor prediction of the hybrid performances based on mean parental values, chosen on the basis of geographical diversity. Direct as well as indirect early selection was poorly efficient due to the effect of genotype x environment interaction which inhibited any genetic progress. Delayed selection based on genotype regression coefficient or on genotypic superiority indice minimizes yield difference between environments extreme (Stability), while maximizing grain yield under favorable growth conditions (Productivity).

Key words : *Hordeum vulgare* – Selection- Heterosis- Parental values- Semi-arid- Indice.

LISTE DES TABLEAUX

Ordre	Titre
Tab. 1.	Production des céréales et de l'orge en Algérie de 1901 à 2002.
Tab. 2.	Pluviométrie et températures mensuelles des années d'étude et la moyenne pluriannuelle (1961/1999).
Tab. 3.	Code et Pedigrees des lignées parentales utilisées en croisements.
Tab. 4.	Liste des combinaisons hybrides réalisées entre les différents parents.
Tab. 5.	Carrés moyens des écarts de l'analyse de variance des hybrides F1 et des lignées parentales.
Tab. 6.	Valeurs propres des lignées parentales utilisées en croisement
Tab. 7.	Valeurs moyennes des hybrides (F1) et degré d'hétérosis (h1) en % du parent moyen.
Tab. 8.	Corrélations inter- caractères mesurées chez les hybrides (au dessus de la diagonale, n = 39) et chez les lignées parentales (au dessous de la diagonale, n = 20).
Tab. 9.	Corrélations entre les performances de l'hybride F1, le degré d'hétérosis d rendement (h1) observé et les caractères mesurés chez les parents (n = 39).
Tab. 10.	Carrés moyens des écarts de l'analyse de variance des F2 et des lignées parentales.
Tab. 11.	Valeurs moyennes des générations F2 et F3
Tab. 12.	Corrélations inter- caractères mesurées en F2 (au dessus de la diagonale) et en F3 (au dessous de la diagonale, n = 39).
Tab. 13.	Corrélations entre les performances des F2 et le degré d'hétérosis (h2) observées pour les caractères mesurés (n = 39).
Tab. 14.	Liste des dix meilleurs croisements classés sur la base de la moyenne de rendement des trois générations et écart relatif au standard Tichedrett
Tab. 15.	Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance du rendement des lignées parentales pour les trois années.
Tab. 16.	Caractéristiques des groupes homogènes de la classification hiérarchique des parents
Tab. 17.	Analyse de la variance du nombre d'épis et de la biomasse aérienne mesurés sur les lignées sélectionnées en F2 sur la base des épis et de la biomasse aérienne chez trois croisements d'orge et évaluées de la F3 à la F6 sur le site expérimental de la station ITGC de Sétif au cours des campagnes 1994/95 à 1997/98.
Tab. 18.	Moyennes du nombre d'épis/m ² et de la biomasse aérienne, en valeurs réelles et en % de celles de Tichedrett mesurées chez les trois croisements étudiées au cours des générations F3 à la F6.

- Tab. 19.** Réponse globale des épis/m` à la sélection sur la base des épis /plante (F2) du croisement Alpha/Tichedrett (moyenne de 4 générations)
- Tab. 20.** Valeurs moyennes prises par les critères de sélection chez les groupes divergents (H et L) des générations F3 à la F6 et réponse à la sélection par génération RS .
- Tab. 21.** Ecart par rapport à la moyenne générale des moyennes observées chez les génotypes constituant le groupe H, ajustées pour l'effet génération.
- Tab. 22.** Corrélations inter-génération (r) et degré d'héritabilité au sens étroit des deux critères de sélection, calculées pour les différentes générations suivies.
- Tab. 23.** Analyse de la variance du rendement en grains mesurés sur les lignées sélectionnées en F2 sur la base des épis, de la biomasse aérienne et du rendement en grains chez trois croisements d'orge et évaluées de la F3 à la F6 sur le site expérimental de la station ITGC de Sétif au cours des campagnes agricoles 1994/95 à 1997/98.
- Tab. 24.** Réponses corrélatives RC et directe du rendement en grains à la sélection faite sur la base des épis, de la biomasse aérienne et du rendement en grains.
- Tab. 25.** Corrélations phénotypiques, génotypiques et environnementales du nombre d'épis aux caractères mesurés par génération chez les trois croisements étudiés.
- Tab. 26.** Corrélations phénotypiques , génotypiques et environnementales liant le critère de sélection biomasse aérienne aux caractères mesurés par génération chez les trois croisements étudiés.
- Tab. 27.** Moyennes des rendements des groupes, de cinq génotypes chaque, sélectionnés sur la base des indices.
- Tab. 28.** Caractéristiques des lignées sélectionnées sur la base de faibles valeurs de P et de fortes valeurs de b

LISTE DES FIGURES

Numéro	Titre
Fig. 1	Distribution fréquentielle des rendements des céréales à paille en Algérie des 132 dernières années (1870/2002) (ITGC, 2002)
Fig. 2	Cumul des écarts pluviométriques mensuels des cinq campagnes concernées par l'étude comparativement à la moyenne de la période 1961/1999
Fig. 3	Variation des cumuls des températures relativement à la moyenne 1961/99 des cinq campagnes étudiées
Fig. 4	Relations entre le rendement de l'hybride, du parent moyen et le degré d'hétérosis
Fig. 5	Rendement de l'hybride et de celui du parent variable pour le parent constant ASP 803
Fig. 6	Rendement de l'hybride et de celui du parent variable pour le parent constant 50-5145
Fig. 7	Moyennes génotypiques du rendement des trois années et amplitude entre années extrêmes
Fig. 8	Variation du nombre d'épis/m ² et de la biomasse aérienne mesurés chez les lignées parentales suivies au cours des quatre années
Fig. 9	Effet de consanguinité observé pour le nombre d'épis/m ² et la biomasse aérienne chez les croisements Alpha/Tichedrett, Saida/Jaidor et Aths /Lignée 686//Rebelle ; suivis au cours des générations F3 à F6
Fig. 10	Relation entre les valeurs prises par les indices S et P des 186 lignées dérivées de la F2
Fig. 11	Relation entre les valeurs prises par le rendement moyen et le coefficient de régression b des 186 lignées dérivées de la F2
Fig. 12	Relation entre les valeurs prises par l'indice S et le coefficient de régression b des 186 lignées dérivées de la F2
Fig. 13	Relation entre les valeurs prises par l'indice P et le coefficient de régression b des 186 lignées dérivées de la F2
Fig. 14	Corrélations des variables mesurées avec les axes principaux de l'ACP
Fig. 15	Relation entre les rendements observés sur le site favorable et l'information apportée par l'axe 1 de l'analyse en composantes principales
Fig. 16	Relation entre les rendements observés sur le site favorable et l'information apportée par l'axe 2 de l'analyse en composantes principales
Fig. 17	Relation entre les rendements observés sur le site favorable et l'information apportée

par l'axe 3 de l'analyse en composantes principales

Fig. 18 Comparaison des performances de rendement en grains des sélections faites sur la base des différents indices

LISTE DES ABREVIATIONS

ICARDA :	International Center for Agricultural Research in the Dry Areas
ITGC :	Institut Techniques des Grandes Cultures
ASP :	Algerian Selection Plot
PVG :	Période de la phase végétative
BIO et HT:	Biomasse aérienne par m ² et hauteur de la plante
NE , NGE et PMG :	Nombre d'épis/m ² , nombre de grains par épi et le poids de mille grains
RDT:	Rendement en grains par m ²
HI	Indice de récolte
H:	Fortes valeurs
L:	Faibles valeurs
IC:	Intégrité cellulaire
TRE:	Teneur relative en eau
SF:	Surface foliaire
RS et RC:	Réponse à la sélection et réponse corrélative
r:	Corrélation phénotypique
rg :	Corrélation génétique
re :	Corrélation environnementale
S²di :	Variance résiduelle
GxE :	Interaction Génotype x Environnement
h²ns:	Héritabilité au sens étroit
ACP:	Analyse en composantes principales
S :	Indice de sensibilité à la contrainte climatique
P :	Indice de supériorité génotypique
b :	Coefficient de régression
h1:	Degré de dominance de la F1

h2: Degré de dominance de la F2

X1=AT: Alpha /Tichedrett

X2=SJ: Saida/Jaidor

X3=ALR: Aths/Lignée 686//Rebelle

INTRODUCTION



Benmahammed A. (2005). Hétérosis, transgressions et efficacité de la sélection précoce et retardée de la biomasse, du nombre d'épis et utilisation des indices chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.)

Introduction

La sélection consciente, des génotypes plus performants que les variétés mises en culture, a commencé dès le XIX^{ième} siècle. A ses débuts, elle se limitait au tri des plantes dans les parcelles des agriculteurs. Le concept de lignée pure ne datait, en fait que de 1860 (Harlan, 1975). La progression des rendements n'est devenue perceptible et régulière que depuis le début de la deuxième moitié du siècle passé (Berger, 1985). La moyenne des rendements en milieux favorables a atteint les 6 t/ha et augmente de 1% par an. Le progrès génétique participe à hauteur de 50% à cette amélioration (Slaffer et Andrade, 1990).

Ce progrès a émergé suite à l'utilisation des gènes de nanisme. Le raccourcissement de la paille s'est accompagné par toute une série de changements de l'architecture de la plante qui a permis l'amélioration des rendements (Berger, 1985). La mise en culture de milieux plus favorables à l'expression du potentiel de production des nouvelles variétés, ainsi que l'amélioration de l'itinéraire technique, devenue possible, ont grandement aidé à l'augmentation de la productivité par unité de surface de sol (Slaffer et Andrade, 1990).

En milieux variables, l'apport des nouvelles obtentions a été, par contre, peu perceptible voire nul (Bouzerzour et Benmahammed, 1994). Des effets négatifs ont même été rapportés (Ceccarelli *et al.* 1991). La réduction de la hauteur des plantes et les changements qui l'ont accompagnés, ne se sont pas fait sans des effets négatifs sur le comportement de la plante en milieux variables. La production céréalière des zones pluviales sèches restait faible et très irrégulière dans l'espace et le temps (Ceccarelli *et al.* 1991). La recherche d'une meilleure adaptation à la variation environnementale est devenue une nécessité pour stabiliser les rendements de ces régions.

La variation des rendements en grains est engendrée par la sensibilité des nouveaux cultivars aux divers stress climatiques qui caractérisent le milieu de production. Richard *et al.* (1997) suggèrent, dans ce contexte, que les approches physiologiques sont les plus recommandées pour sélectionner dans de tels environnements. La recherche sur les mécanismes qui contrôlent l'adaptation et la tolérance des génotypes est donc de plus en plus à jour.

Les difficultés liés à cette recherche résident, cependant, dans le grand nombre de facteurs qui semblent conditionner ces caractéristiques. Ces facteurs agissent à plusieurs niveaux organisationnels, partant de la cellule jusqu'à l'échelle de la plante entière. Il est difficile

d'identifier celui qui est le plus opérant et qui permet de faire le meilleur progrès possible dans un environnement donné (Acevedo, 1992, Araus *et al.* 1998).

Blum (1988) explique que l'inefficacité de l'approche analytique, réside dans la variabilité des liaisons entre les caractères ciblés et la production dans les environnements contraignants. Cette approche n'est pas assez fiable ni assez simple pour être applicable à des centaines voire des milliers de plantes sous sélection.

Les sélectionneurs restent donc assez convaincus que les approches physiologiques n'arrivent pas à donner de meilleurs résultats comparativement aux méthodes empiriques qu'ils utilisent jusqu'ici. Ces méthodes se montrent, en effet, plus efficaces, dans la mesure où des gains appréciables de rendements sont obtenus dans les environnements favorables. Ils montrent donc peu d'engouement à utiliser les approches physiologiques en sélection.

La sélection classique utilise les caractères liés au rendement en grains et ceux qui favorisent l'adaptation comme critères de sélection dans les environnements variables (Ceccarelli *et al.* 1991). Ces critères doivent satisfaire à certaines conditions pour avoir une applicabilité quelconque en sélection, où de nombreuses lignées sont criblées.

Parmi ceux-ci il y a le coefficient d'héritabilité qui doit être plus élevé que celui qui caractérise le rendement en grains. On doit avoir des corrélations génétiques significatives avec l'augmentation et la stabilité du caractère principal à améliorer ainsi que des liaisons de cause à effet avec la réduction du rendement. La facilité de mesure de ces variables avec précision et celle de pouvoir les appliquer tôt dans le cycle de la plante et celui du processus de sélection pour en assurer une meilleure efficacité sont aussi des conditions nécessaires à l'applicabilité de ces critères.

Le caractère, le plus utilisé en sélection est le rendement lui-même. Cette sélection directe s'est révélée, le plus souvent, inefficace dans l'identification de génotypes adaptés (Roseille et Hamblin, 1981). Celle sur la base des composantes l'a été encore moins. Et si elle se montre efficace dans l'amélioration du rendement, elle reste inefficace en ce qui concerne la stabilité. Les caractères qui favorisent l'adaptation sont nombreux et variables en fonction des environnements.

Ceccarelli *et al.* (1992) sélectionnent pour la précocité aux stades épiaison et à maturité pour assortir le cycle de développement à la période la plus favorable à l'expression du potentiel génétique. Bouzerzour *et al.* (1998b) montrent les limites d'une telle stratégie dans les régions

sujettes au gel tardif. Austin *et al.* (1980) mentionnent que la biomasse aérienne produite et sa répartition mesurée par l'indice de récolte sont des caractéristiques qui renforcent la performance et l'adaptation au milieu d'un génotype donné.

La présente contribution vise l'atteinte des objectifs suivants:

⇒ Etudier la relation qui existe entre les valeurs propres parentales et le niveau d'expression de l'hétérosis chez les hybrides F1, pour mieux cibler les parents à croiser afin de concilier adaptation et productivité.

⇒ Etudier l'efficacité de la sélection précoce sur la base du nombre d'épis/m² et sur la base de la biomasse aérienne comparativement à la sélection sur la base du rendement en grains chez 3 populations d'orge (*Hordeum vulgare* L.) dérivées de la F2.

⇒ Etudier l'efficacité de la sélection retardée sur la base des indices pour améliorer simultanément le niveau et la régularité du rendement en grains.

**REVUE
BIBLIOGRAPHIQUE**



Benmahammed A. (2005). Hétérosis, transgressions et efficacité de la sélection précoce et retardée de la biomasse, du nombre d'épis et utilisation des indices chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.)

Chapitre I : Revue Bibliographique.

1-1- Généralités sur l'espèce orge (*Hordeum vulgare* L.).

L'orge cultivée (*Hordeum vulgare* L.) de constitution génomique diploïde ($2n=14$), est aussi ancienne que les origines de l'agriculture elle-même. Des orges à 2 rangs remontant au néolithique (7000 ans avant Jésus Christ) ont été trouvées dans le croissant fertile, au Moyen Orient. Elles sont considérées comme étant les restes les plus anciens de l'orge cultivée.

L'orge est issue de formes sauvages d'*Hordeum spontaneum* que l'on trouve encore aujourd'hui au Moyen Orient. Jestin (1992) rapporte que *Hordeum spontaneum*, orge à deux rangs, très répandue depuis la Grèce jusqu'au Moyen Orient, est reconnue comme étant la forme ancestrale de l'orge cultivée, avec laquelle, elle est parfaitement inter-fertile.

L'orge est une monocotylédone, appartenant à la famille des graminées. Sa classification est basée sur la fertilité des épillets latéraux, la densité de l'épi et la présence ou l'absence des barbes (Grillot, 1959). Au stade herbacée, elle se distingue principalement des autres céréales par un feuillage vert clair, la présence d'une ligule très développée, des oreillettes glabres et un fort tallage herbacé.

L'inflorescence est un épi, le plus souvent barbu. Le rachis porte sur chaque article trois épillets mono-flore, un médian et deux latéraux. Le grain est vêtu par des glumelles qui ne s'en séparent pas lors du battage, ce qui améliore la teneur en cellulose brute.

La culture de l'orge est pratiquée, en Algérie, essentiellement sur les haut plateaux. Les superficies qui lui sont consacrées varient de 200 milles hectares en 2000 à 1,6 millions hectares en 1991. La production se caractérise par une grande irrégularité allant de 1,6 à 18 millions quintaux/an en 2000 et 1991 respectivement (Tableau 1).

Tableau 1: Production des céréales et de l'orge en Algérie de 1900 à 2002 (ITGC, 2002)

Année	Production (10^6 q)			Superficie (10^6 ha) Orge	RDT (q/ha) Orge
	Totale	Orge	%		
1901-1910	19.2	9.2	48	1.4	6.6
1920	18.2	7.9	43	1.3	6.1
1930	16.8	7.0	42	1.1	6.4
1940	17.8	6.9	39	1.2	5.7
1950	14.8	5.6	37	1.0	5.6
1960	21.3	7.8	37	1.3	6.0
1970	18.3	4.7	26	0.6	7.8
1980	18.8	4.9	26	0.8	6.1
1990	16.2	8.3	51	1.1	7.5
2000	23.4	7.8	33	0.8	9.8
2001	26.6	5.7	21	0.5	11.4
2002	19.5	4.2	22	0.9	4.7
Moyenne	19.2	6.7	35	1.0	6.7

Sur 102 années (1900 à 2002) la moyenne de rendement de l'orge stagne à une valeur de 6,7 q/ha (Tableau 1). Elle varie en fonction des années de 1,3 q/ha (1945) à 13.8 q/ha (1996), comparativement à la moyenne de rendement du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) est de 6,9 q/ha et varie de 2,3 à 11,2 q/ha. Celle du blé dur (*Triticum durum* Desf.) est de 5,5 q/ha avec des variations allant de 1,6 à 11,0 q/ha (ITGC, 2002).

Les coefficients de variation du rendement en grains sont de 26,6 %, 24,5 et 22,7% respectivement pour l'orge , le blé dur et le blé tendre, indiquant que l'orge est moins régulière, probablement parce qu'elle occupe les zones les moins favorables (Hakimi, 1989). Pour la même période, les cinq plus mauvaises années de récolte pour l'orge ont été 1945, 1940, 1947, 1881 et 1920 avec respectivement 1,3; 2,5; 3,0; 3,0; et 3, 0 q/ha; alors que les cinq meilleures années ont été 1996, 2001, 1991, 1999 et 1985 avec 13.8; 11.4 ; 11.2; 10.2 et 9,6 q/ha respectivement. La distribution fréquentielle des rendements en grains de ces trois espèces au cours des 102 années est donnée en figure 1.

L'orge est une espèce très adaptée aux systèmes de cultures pratiqués en zones sèches. Cette adaptation est liée à un cycle de développement plus court et à une meilleure vitesse de croissance en début du cycle. La culture de l'orge, de par ses caractéristiques, s'insère bien dans les milieux caractérisés par une grande variabilité climatique où elle constitue avec l'élevage ovin l'essentiel de l'activité agricole (Hakimi, 1989 ; Ceccarelli *et al.* 1998).

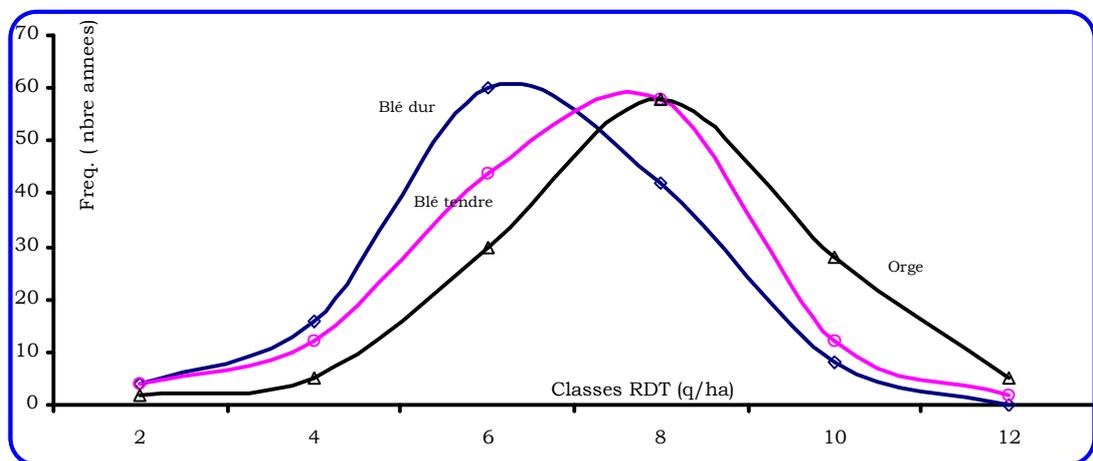


Figure 1: Distribution fréquentielle des rendements des céréales à paille en Algérie au cours des 102 dernières années (1900/2002) (ITGC, 2002).

Elle est exclusivement à destination fourragère. Deux variétés locales, Saida et Tichedrett couvrent l'essentiel des superficies qu'occupent cette espèce. Des variétés nouvelles ont fait leur apparition en milieux producteurs, mais elles n'occupent toutefois que des superficies limitées suite à leur faible adaptabilité à l'environnement de production. Elles sont irrégulières et produisent peu de paille, sous stress (Bouzerzour et Monneveux, 1992). La sélection de nouvelles variétés relativement mieux adaptées et plus productives reste donc un important objectif de recherche dans les régions semi-arides où de faibles progrès ont été faits en la matière (Ceccarelli *et al.* 1998).

1-2- La sélection de l'orge

L'objectif de la sélection est l'identification de nouvelles lignées qui portent un ensemble de caractéristiques désirables leur permettant d'être adoptées comme variétés agricoles, sans de grands risques pour les producteurs. Elles doivent produire plus pour réduire les coûts de production au niveau de l'exploitation et surtout doivent se distinguer par une meilleure régularité des rendements en grains et une nette amélioration de la qualité du produit récolté (Bonjean et Picard, 1990). La diminution des coûts de production, en zones sèches et variables, passe par l'adoption de variétés relativement plus plastiques et plus adaptées qui valorisent des itinéraires techniques moins intensifs, et tolèrent un climat de nature variable (Bouzerzour *et al.* 1998b).

1-2-1- La sélection pour améliorer la productivité.

La productivité est définie comme la capacité de produire plus. C'est une notion relative. En sélection, elle désigne souvent le rendement en grains. Une variété productive ne l'est, en fait que par rapport à une autre variété qu'elle remplace et à laquelle elle est comparée. Cette dernière est alors utilisée comme témoin de référence. L'amélioration de la productivité ou du rendement en grains est généralement abordée de manière directe ou indirecte. La sélection directe utilise le rendement lui-même qui est mesuré après la mort de la plante. La sélection indirecte utilise les composantes du rendement en grains (Yap et Harvey, 1972) et certains caractères liés qui conditionnent la réalisation de hauts rendements (Bouzerzour *et al.* 1998a; Benmahammed *et al.*, 2003)

Olmeda-Arcega *et al.* (1995) mentionnent que, depuis la domestication des céréales, l'amélioration du rendement en grains est le plus vieux problème posé à la recherche agronomique. Ils notent que de grands efforts ont été accomplis dans la sélection de variétés avec une meilleure amélioration de la résistance aux maladies, une nette amélioration de la tendance à la verse et une précocité accrue pour échapper aux effets de la sécheresse et des hautes températures de fin de cycle. Ils font remarquer que l'amélioration du rendement en grains s'est faite souvent de manière directe, sans de grandes préoccupations sur comment ce rendement en grains a été obtenu, ni les changements réalisés sur les caractères non concernés par la sélection.

Le rendement en grains, mesuré après la mort de la plante, est synonyme productivité. Il est la résultante des différents mécanismes qui ont permis l'obtention d'un tel rendement. La sélection sur la base du rendement en grains, pratique généralisée en sélection, n'est efficace que si les conditions de milieu qui ont permis la réalisation d'un rendement en grains donné, se répètent de façon régulière (Ceccarelli *et al.* 1998). En milieux relativement plus stables, les progrès de la sélection directe sont, donc plus évidents, qu'ils ne le sont en milieux variables où les interactions génotype x environnements amenuisent le gain génétique réalisé (Bouzerzour et Djekoun, 1996, Cattivelli *et al.* 2002)

La variation climatique des environnements favorables est, en effet assez faible puisque la sélection directe s'est avérée efficace et a permis l'amélioration de la production dans des proportions assez importantes (Slaffer et Andrade, 1990). Dans les environnements à climats variables, la sélection directe a été très peu efficace (Ceccarelli *et al.* 1992 ; Sharma, 1993; Benmahammed 1995; Bouzerzour *et al.* 1998a). Dans de telles situations le recours à la sélection indirecte, utilisant d'autres caractères, est tenté pour améliorer et stabiliser le rendement en grains.

Bouzerzour et Dekhili (1995) montrent que la sélection directe sur la base des données d'une seule année n'est pas efficace en milieux très contrastés, suite au faible coefficient de l'héritabilité du rendement en grains et à sa variation selon les environnements. L'inefficacité de la sélection directe est expliquée par des interactions génotypes x lieux qui réduisent la variance génotypique et le coefficient de l'héritabilité (Sharma, 1993; Pecetti et Annicchiarico 1993; Bouzerzour et Djekoun, 1996). Ceci amène certains auteurs à proposer d'autres caractères comme critères de sélection (Acevedo *et al.* 1991; Ali Dib et Monneveux, 1992).

Yap et Harvey (1972) préconisent l'utilisation des composantes du rendement en grains comme critères de sélection. Ils justifient cette pratique par le fait que les composantes du rendement en grains sont sous un contrôle génétique simple et de nature additive. Rasmusson et Cannel (1970) ainsi que Grafius (1978) font remarquer pour que la sélection indirecte soit efficace, il faut que le caractère utilisé comme critère de sélection soit fortement lié au rendement en grains.

O'Brien *et al.* (1978) rapportent qu'une corrélation positive et significative entre les lignées sélectionnées et leurs descendances est une condition nécessaire pour que la sélection soit efficace. Ils notent aussi que l'efficacité de la sélection est meilleure lorsque la variabilité d'origine génétique est plus importante. Ces auteurs pratiquent la sélection en F3 chez 4 populations de blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Le caractère sélectionné est le rendement en grains des épis-lignées. La réponse à la sélection est déterminée en F4 et en F5. La réponse était positive et significative chez deux des populations étudiées qui se caractérisent par une forte variabilité génétique. Ils observent un effet milieu et des interactions génotype x lieu très élevées.

Ils concluent que la réponse à la sélection est due aux effets génétiques qui persistent malgré l'effet de la variation climatique et se transmettent d'une génération à une autre et aux effets génétiques qui ne s'expriment que dans des conditions environnementales spécifiques à un lieu donné. Lorsque le premier type d'effet est prépondérant, la sélection se montre toujours efficace; mais lorsque c'est le second type d'effet qui est plus important, alors la réponse à la sélection est dépendante de l'environnement de sélection.

Rasmusson et Cannel (1970) déterminent les corrélations phénotypiques en F4 et en F5 et entre F4/F5 pour les caractères utilisés comme critères de sélection. Ils notent que les liaisons F4/F5, pour un même caractère, sont non significatives et sont variables entre paires de caractères d'une génération à l'autre. Ils concluent que les liaisons entre caractères dans de telles situations sont purement d'origine environnementale. Bouzerzour (1998) arrive aux mêmes conclusions.

Balkema-Boomstra (1988) sélectionne sur la base du nombre d'épis/m² chez trois croisements de blé tendre (*Triticum aestivum* L.). La réponse à la sélection n'était positive et statistiquement significative que chez deux populations sur les trois étudiées. La réponse corrélative du rendement en grains n'était pas significative. Cantrell et Haro-Arias (1986) sélectionnent sur la base de la fertilité des épillets chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). La réponse à la sélection est positive et significative conduisant à l'amélioration concomitante de la

fertilité des épillets et celle de l'épi. Cependant l'effet indirect sur le rendement en grains était non significatif, ils notent une réduction du poids spécifique et du poids moyen de 1000 grains chez les lignées sélectionnées sur la base de cette caractéristique.

McNeal *et al.* (1978) sélectionnent sur la base de chacune des composantes du rendement: le nombre de grains par épi, le poids moyen du grain, le nombre d'épis par unité de surface, le nombre de grains par épillets et le rendement en grains, au cours de sept générations (F2-F8). Ils obtiennent une réduction du rendement en F4 suite à la sélection du rendement; réduction qui se maintient jusqu'en F8.

La sélection du poids moyen du grain améliore le poids de 1000 grains de la F4 à la F8, alors que la sélection du nombre de grains par épi aboutit à peu d'amélioration de ce caractère en F8, mais engendre des effets positifs sur le rendement en grains et sur le poids de 1000 grains, dès la F6. La sélection du nombre d'épis améliore ce caractère en F4 et F5 puis devient inefficace de la F6 à la F8. Seule la sélection du nombre d'épillets par épi améliore ce caractère et le nombre d'épis par unité de surface en F5 et F6, où ils se stabilisent. Ces auteurs conclurent que l'amélioration du rendement en grains ne peut venir que de l'amélioration obtenue simultanément sur plusieurs composantes à la fois.

Busch et Kofoed (1982) mènent une sélection récurrente pour améliorer le poids moyen du grain, chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Après 4 cycles de sélections, à l'intérieur d'un croisement diallèle à dix parents, ils obtiennent un gain moyen de 7% par cycle de sélection. Ils font remarquer que la variabilité génétique ne diminue pas en fonction des cycles de sélection et notent que la durée du cycle et la fertilité diminuent à mesure que le poids de 1000 grains s'améliore, avec cependant un effet nul sur le rendement en grains.

Olmedo-arcega *et al.* (1995) effectuent une sélection récurrente sur blé dur (*Triticum durum* Desf.). Ils n'observent pas d'effets indirects indésirables. La variance génétique restait stable, après deux cycles de sélection. Le poids moyen de 1000 grains et le nombre de grains par épi augmentent avec l'amélioration du rendement en grains.

Puri *et al.* (1982) font remarquer que la sélection sur la base des composantes est peu efficace à cause des phénomènes de compensation entre composantes. Ils mentionnent aussi le fait que la variation environnementale favorise l'expression d'une composante une année puis celle d'une autre composante, l'année suivante, ce qui réduit de l'efficacité de la sélection.

Ils mentionnent qu'à cause des variations des conditions de croissance d'une année à l'autre, les corrélations phénotypiques sont très peu fiables pour être utilisées dans l'identification des caractères clés qui déterminent le rendement en grains sous climats variables. Ils suggèrent d'utiliser l'analyse des effets directs et indirects pour identifier les caractères qui sont à privilégier le plus en sélection.

Sharma et Smith (1986) sélectionnent sur la base de l'indice de récolte dans trois populations F3. Ils trouvent des valeurs pour le coefficient de l'héritabilité réalisée qui varient de 40 à 60% avec des réponses positives et significatives pour le critère de sélection. La sélection d'un meilleur indice de récolte s'accompagne d'une réduction de la hauteur des plantes, de la durée semis- épiaison et de la biomasse aérienne produite au stade maturité.

La corrélation génétique entre l'indice de récolte et le rendement en grains était faible et variait de 0,04 à 0,23. La corrélation phénotypique était, par contre forte en F3 et devenait plus faible en F4. La corrélation inter-génération, F3/F4 était significative pour l'indice de récolte et non significative pour le rendement en grains. Ces auteurs conclurent que l'utilisation de l'indice de récolte seul, comme indice de sélection, est peu efficace pour améliorer indirectement le rendement en grains.

Bouzerzour *et al.* (1998a) étudient l'efficacité de la sélection sur la base de la biomasse aérienne et celle de l'indice de récolte chez l'orge. Ils notent que cette sélection n'est pas efficace à cause des effets dus à la variation de la durée semis- épiaison. Ils observent une variation des caractères et de leurs niveaux de contribution à la réalisation de la biomasse aérienne. Ainsi certaines années, les épis/m² contribuent le plus à la biomasse aérienne, en années favorables, alors qu'en années sèches, ce rôle est plutôt dévolu à la hauteur de paille.

Loffler et Busc (1982) trouvent une corrélation positive entre le rendement et la biomasse aérienne et entre le rendement et l'indice de récolte. Ils observent que la biomasse aérienne était positivement corrélée à une longue durée de la phase levée- épiaison. Ceci indique que la sélection de la biomasse aérienne améliore le rendement en grains mais allonge la durée du cycle de la plante. L'allongement de la durée levée - épiaison n'est souvent pas désirable, lorsqu'on cherche à échapper aux stress de fin de cycle. Ces auteurs fixent la durée levée - épiaison à l'optimum qui convient à l'environnement pour lequel la sélection est envisagée, puis sélectionnent sur la base de la biomasse aérienne à l'intérieur des génotypes retenus sur la base du degré de précocité au stade épiaison.

Bahlouli (1998) étudie l'efficacité de la sélection sur la base de la durée au stade épiaison. Ils observent que l'efficacité de cette sélection reste soumise à la variation climatique inter-annuelle. Ils notent aussi que l'efficacité de cette sélection est subordonnée à l'existence de la tolérance génétique au froid tardif chez le matériel sélectionné, dans le cas où on cherche à éviter la sécheresse de fin de cycle et à l'existence de la tolérance au déficit hydrique, si on cherche à éviter le gel printanier.

Abbassenne *et al.* (1998) préconisent de sélectionner, pour les zones semi-arides d'altitude, des génotypes tardifs à l'épiaison, précoces à maturité, qui se caractérisent par une bonne production d'épis par unité de surface et une bonne fertilité de l'épi. Ces deux composantes induisent un bon indice de récolte. De tels génotypes arrivent à compenser la courte phase de remplissage, induite par la tardiveté au stade épiaison, par une meilleure vitesse de remplissage des grains produits par unité de surface et réussissent à donner des rendements acceptables.

Miller et Fehr (1979), en cherchant à améliorer le rendement et le pourcentage de protéines du soja (*Glycine max.* L.) utilisent trois méthodes de sélection. Dans la première méthode et pour éviter de changer fortement le degré de maturité, ils regroupent des lignées selon le degré de précocité, puis sélectionnent à l'intérieur de chaque groupe de précocité pour le rendement et le pourcentage de protéines.

Ils utilisent dans la seconde méthode la régression linéaire du rendement et du pourcentage de protéine sur la maturité, pour tenir compte de l'effet de la différence de maturité. Le coefficient d'ajustement prend la forme de:

$$x_{ij} - b_j(M_i - M..), \quad \text{avec}$$

x_{ij} est la performance de la lignée i pour le caractère j

b_j est le coefficient de régression du caractère j sur le degré de maturité,

M_i est le degré de maturité de la lignée i

$M..$ est la moyenne du degré de maturité de la population de base.

Dans la troisième méthode ils utilisent un index de sélection dont la forme est:

$$x_{ij} - (Cov.jm/\sigma^2_m)M_i, \quad \text{avec}$$

x_{ij} est la performance de la lignée i pour le caractère j

$Cov.jm$ est la covariance entre le caractère j et la maturité

σ^2_m est la variance génétique de la population pour le caractère maturité

Mi est la maturité de la lignée i.

Martin *et al.* (1982) mentionnent que le recours à la sélection sur index est utile lorsque le sélectionneur cherche à faire évoluer plusieurs caractères à la fois ou lorsque la sélection sur la base d'un seul caractère amène des changements des autres caractères, non concernés par la sélection, dans le sens non désiré. Il y a perte de gain sur les caractères non sélectionnés. Le calcul de l'index nécessite d'avoir les variances et covariances phénotypiques et génétiques des caractères à inclure dans l'index. Il faut aussi avoir l'information concernant l'ordre d'insertion des caractères et ceux à qui il faut donner plus de poids dans l'équation de l'index.

Martin *et al.* (1982) estiment que la sélection sur index est en théorie plus efficace que la sélection mono-caractère ou la sélection par niveaux indépendants. Cependant cette méthode est peu utilisée. Les raisons essentielles résident dans les difficultés pour avoir des estimations précises des variances et covariances, la variation des paramètres de l'index en fonction des cycles de sélection et la difficulté de statuer sur l'importance des caractères à intégrer dans l'index. Parfois le calcul des variances donne des valeurs négatives ce qui ne permet le calcul de l'index.

L'utilisation de l'index en sélection a été cependant efficace dans certaines situations, comme pour améliorer le nombre de feuilles tout en réduisant la hauteur des plantes chez le tabac (*Nicotiana tabacum* L.) (Matzinger *et al.*, 1976). Comme c'est aussi le cas de l'amélioration du rendement en grains de l'avoine (*Avena sativa* L.) sans amener de grands changements de la hauteur de paille et de la précocité au stade maturité (Roseille et Frey 1975).

Kervalla *et al.* (1991) font remarquer qu'ils existent peu de cas où le caractère sélectionné ne soit corrélé à aucun autre caractère. La sélection multi- caractères est donc la seule capable de contrôler un ensemble de caractères et d'obtenir un progrès généralisé sur plus d'un caractère à la fois.

La sélection directe, comme la sélection indirecte sur la base des composantes et des caractères phéno-morphologiques, peut se révéler efficace dans certaines situations et pas dans d'autres, lorsque les interactions génotype avec l'environnement de sélection sont présentes. La sélection multi- caractères se révèle souvent plus efficace que celle basée sur un seul caractère, parce qu'elle contrôle mieux la variation des caractères d'intérêt qui aident à une meilleure adaptation du génotype à la variabilité climatique de l'environnement de production. L'aspect adaptation doit donc être pris en compte dans le processus de sélection en milieux variables.

1-2-2- La sélection pour améliorer l'adaptation.

L'adaptation fait suite à l'action modificatrice des facteurs extérieurs qui influencent le comportement et la structure de la plante. L'adaptation est définie aussi comme la capacité d'une plante à croître et à donner des rendements satisfaisants dans des zones sujettes à des stress de périodicités connues (Papadakis, 1938).

La notion d'adaptation se confond parfois avec celles de résistance et de tolérance au stress. En fait l'adaptation n'est que la résultante de la tolérance aux contraintes. Une plante adaptée est donc celle qui tolère ou résiste à un stress donné et réussit à produire à un niveau satisfaisant par rapport à une autre plante qui sera dite non adaptée (Ceccarelli, 1987).

La sélection pour l'adaptation ou pour la tolérance aux stress abiotiques de nature hydrique et calorique suit plusieurs voies dont entre l'utilisation de la phénologie (Acevedo *et al.*, 1991), la morphologique (Hanson *et al.* 1985; Sharma et Smith, 1986) et la physiologique (Farquhar *et al.* 1994, Richards *et al.* 1997, Araus *et al.* 1998), ainsi que le comportement global de la plante vis à vis de la variation environnementale (Finlay et Wilkinson, 1963; Eberhart et Russel, 1966). Ces différents mécanismes permettent à la plante d'échapper, d'esquiver ou de tolérer le stress.

⇒ La phénologie

Les stades repères qui découpent le cycle de la plante en phases de développement, plus ou moins distinctes, sont l'épi-1cm, l'épiaison et la maturité physiologique. Parmi les changements qualitatifs que subit la plante pendant sa vie, le plus important de tous est certainement l'épiaison. La durée semis-épiaison dépend presque exclusivement de la température et de la luminosité (Fischer, 1985).

On distingue deux actions de la température. La première est dite positive parce qu'elle accélère l'avènement de l'épiaison. Elle tend donc à raccourcir la durée de la phase semis-épiaison. La seconde a tendance, au contraire, à allonger la durée de cette phase de développement, parce que la plante a besoin d'accumuler une somme donnée de basses températures vernales (Kirby et Appleyard 1981).

Il est fort probable que c'est l'action conjuguée des effets positifs et négatifs de la température, combinées à l'effet de la photopériode qui déterminent et expliquent mieux la

variation de la durée d'une phase de développement donnée (Fowler, 1978; Worland *et al.* 1994).

Les différences d'épiaison relative, d'année en année, sont plus courtes lorsque l'hiver est rigoureux et deviennent plus importantes lorsque l'hiver est doux (Bouzerzour *et al.* 1998b). Elles sont plus grandes chez les variétés insensibles à la photopériode et à la vernalisation et plus faibles pour les variétés sensibles à la photopériode qui tendent à épier à plus ou moins une date fixe (Hadjichristodoulou, 1987 ; Worland *et al.*, 1994, Bahlouli, 1998).

Mossad *et al.* (1995) remarquent que les génotypes photo-insensibles mais vernalisants épient très tardivement, alors les génotypes sensibles à la photopériode et à la vernalisation ne réussissent pas à compléter normalement le développement de leurs épis sous stress thermique. Les génotypes photo- et thermo-insensibles, capables d'épier tôt, sont donc plus aptes à s'adapter aux milieux caractérisés par des stress abiotiques en fin de cycle.

En conditions méditerranéennes, la sélection vers une plus grande précocité aux stade épiaison et à maturité a été la stratégie la plus utilisée pour minimiser les effets du stress sur le déroulement de la phase de remplissage du grain. Cette stratégie s'est révélée peu payante dans les zones où le gel tardif limite de l'utilisation de génotypes précoces (Bouzerzour *et al.* 1998b)

⇒ La morphologie de la plante

Le développement de la plante comporte une suite de changements de dimensions et de formes. Ces changements ont pour origine la croissance-développement. Le développement quantitatif ou croissance est un changement de dimensions, alors que le développement qualitatif, ou développement proprement dit, est essentiellement un changement de formes (Kirby et Appleyard, 1981).

La hauteur de paille est souvent rapportée comme étant une caractéristique bénéfique en cas de déficit hydrique (Nachit et Jarrah, 1986). Blum (1988) explique cette liaison entre la hauteur de paille et l'adaptation par le transfert des assimilats stockés dans la tige vers le grain et la réalisation de ce fait d'un niveau de rendement acceptable sous stress abiotiques.

Subbiah *et al.* (1970) trouvent qu'une hauteur de paille important, en cas de déficit hydrique, est liée à la capacité de croissance du système racinaire en profondeur à la recherche d'une humidité du sol qui commence à faire défaut en surface. Une hauteur de paille plus importante est donc une caractéristique désirable en zone semi aride, parce qu'elle est liée à un

système racinaire capable d'aller en profondeur, à une production de biomasse plus importante et à la capacité de transférer les assimilats stockés.

Fischer et Maurer (1978), Nachit et Jarrah (1986) et Ali Dib *et al.* (1990) montrent que la hauteur de paille est positivement corrélée à la longueur du col de l'épi. C'est la différence de longueur du col de l'épi qui fait la différence de hauteur de paille entre géotypes contrastés pour cette caractéristique.

La capacité de produire une biomasse aérienne acceptable à maturité est une caractéristique désirable en zones semi-arides suite à la variabilité climatique. Dans ces zones, l'eau reste le facteur limitant le plus l'obtention de rendements acceptables. Le géotype intéressant est celui qui adopte un rythme de développement qui lui permet de valoriser au mieux les quantités pluie reçues. Une forte biomasse aérienne à maturité est la résultante de différentes vitesses de croissance et de la contribution des différentes parties de la plante (Bahlouli 1998).

Un taux de croissance élevé, dès la levée, nécessite une insensibilité aux températures froides. Il améliore l'utilisation des pluies hivernales et permet l'obtention d'une biomasse acceptable à maturité. Cependant ce type de croissance entraîne souvent une précocité excessive au stade épiaison. Il fait donc courir les risques de destruction des organes floraux par le gel tardif en zones d'altitudes. Il contribue, cependant, à l'évitement de la sécheresse et des hautes températures de fin de cycle.

La sensibilité plus ou moins élevée aux températures basses induit une vitesse de croissance relativement plus lente en début du cycle. Les géotypes qui possèdent cette caractéristique ont tendance à végéter en hiver. Ils couvrent complètement le sol, limitent l'évaporation et leur croissance ne devient active et rapide, qu'une fois leurs besoins en froid ou en photopériode sont satisfaits.

En général ces géotypes sont tardifs au stade épiaison, ils sont souvent moins touchés par le gel tardif. Comme la tardiveté au stade épiaison se répercute en général au stade maturité, ils sont donc plus soumis aux effets de la sécheresse et des hautes températures de fin de cycle.

Le géotype adapté semble être celui qui accumule de la matière sèche, assez vite, tôt en début du cycle et en même temps, se développe assez lentement pour arriver à épier après que le risque de gel tardif soit acceptable et avant que les risques de la sécheresse et des hautes températures ne deviennent assez conséquent. Il est relativement tardif à l'épiaison et précoce à maturité (Abbassenne *et al.* 1998).

Bahlouli (1998) montre que, d'une manière générale, la biomasse accumulée au stade épilcm détermine largement celle produite à maturité. La sélection de génotypes qui accumulent rapidement beaucoup de matière sèche tôt, en début du cycle et réussissent à donner des rendements en grains acceptables et réguliers, est donc intéressante. Turner et Nicolas (1987) notent qu'un taux de croissance élevé, en début de cycle, est déterminant du rendement grains, en zones où l'eau en fin de cycle est un facteur limitant de la production.

Whan *et al.* (1981) montrent que le taux de croissance de la post-anthèse, était plus corrélé au rendement en grains qu'à la biomasse aérienne accumulée au stade maturité. Ils rapportent aussi une corrélation significative entre la biomasse aérienne produite tôt dans le cycle et celle produite au stade épiaison.

Bahlouli (1998) observe qu'une vitesse de production de la matière sèche élevée en début de cycle n'est pas forcément associée à une précocité au stade début montée. Ils concluent qu'il est possible de sélectionner des génotypes qui valorisent mieux l'eau en début du cycle, grâce à une vitesse de croissance élevée et en même temps, sont assez tardifs à la montée pour éviter le gel de printemps.

Giunta *et al.* (1995) montrent que le cultivar de blé Tanit (*Triticum aestivum* L.) investit plus de matière sèche dans les épis en situation favorable (sous irrigation) et privilégie les talles en situation de stress hydrique. L'investissement de plus de matière sèche dans les talles est donc une caractéristique de tolérance au stress.

La phénologie intervient dans l'adaptation parce qu'elle aide à un meilleur ajustement du cycle de développement de la plante pour l'assortir au climat de l'environnement de production. Le type de croissance permet l'obtention d'une biomasse assez suffisante pour obtenir un rendement acceptable pour le milieu de production. La hauteur de paille intervient le plus souvent par ses stocks de substrats qui sont utilisés pour la finition du grain, lorsque les conditions climatiques prévalants au cours de la phase de remplissage font défaut.

⇒ La physiologie.

La recherche sur la tolérance physiologique aux stress a pour objectif d'améliorer les capacités génétiques de production des plantes sous des conditions qui sont, en générale, moins favorables à l'expression du potentiel. Cette approche se justifie par le fait que certaines variétés sont plus tolérantes aux stress que d'autres. Le comportement caractéristique des variétés-populations

locales, comparativement aux variétés améliorées, illustre bien cette situation et il est souvent avancé comme exemple (Bouzerzour et Hadj Sahraoui, 1989).

Cette approche reste cependant tributaire de l'identification des mécanismes qui permettent à la plante de surmonter le stress pour produire de manière satisfaisante et du transfert de ces mécanismes à d'autres fonds génétiques plus intéressants pour d'autres caractéristiques. L'identification de ces mécanismes repose essentiellement sur les méthodes de criblage qui doivent être simples et reproductibles, pour pouvoir les appliquer au tri d'un nombre important de lignées en ségrégations.

Parmi les facteurs qui influent sur la croissance du végétal, celui dont l'importance est primordiale, est l'équilibre qui s'établit entre l'eau absorbée par les racines et celle transpirée par les feuilles. Cet équilibre doit être maintenu par l'absorption continue de l'eau par les racines, autrement la croissance est perturbée et la plante est alors stressée.

Le déséquilibre réduit de la turgescence du feuillage, les stomates tendent de se fermer, les échanges gazeux se réduisent et la photosynthèse s'annule, il n'y a plus ou peu d'assimilation nette. La croissance active au cours d'une période donnée est donc dépendante, avant tout de l'équilibre d'eau qui s'instaure lors de cette période. Lorsque l'eau vient à manquer au point que la croissance et la production s'en ressentent, la période est dite période critique pour l'eau.

La transpiration et l'assimilation sont généralement deux fonctions indépendantes. La transpiration par unité de surface foliaire dépend avant tout du déficit de saturation de l'atmosphère en eau et du degré d'ouverture des stomates. L'assimilation par unité de surface foliaire dépend, par contre, de la température ambiante, de la qualité de la lumière, du degré de turgescence des feuilles, du degré d'ouverture des stomates et de l'alimentation minérale mise à la disposition de la plante (Simane *et al.* 1993).

Lorsque l'atmosphère devient favorable à l'évaporation, suite à une forte demande climatique causée par la sécheresse de l'air ambiant, la transpiration tend à suivre cette demande. La réponse à la demande climatique par la feuille a pour but de rafraîchir la plante dont la température s'élève. Une demande climatique élevée est, en générale, due entre autres à l'élévation de la température de l'air. L'augmentation de la transpiration dans ce cas n'est pas accompagnée d'une amélioration de l'assimilation.

L'eau est consommée pour rafraîchir la plante, mais elle n'est pas entièrement utilisée pour fabriquer de la matière sèche. C'est le prix payé par la plante pour survivre lorsqu'il fait très

chaud et que l'eau existe. Ce type d'adaptation coûte de l'énergie à la plante et cette énergie est dérivée de la part qui est destinée à la production de la matière sèche donc du rendement (Taylor, 1989).

En absence d'irrigation et dans les milieux où ce type de stress est fréquent, il reste donc à savoir s'il existe des différences génotypiques de comportement vis à vis de ce stress. Ces différences permettent aux génotypes dits tolérants de maintenir un niveau de production acceptable sous ses conditions limitantes, grâce à une meilleure utilisation de l'eau disponible pour produire la matière sèche (Richard *et al.* 1997).

Baldy (1974) rapporte qu'un déficit hydrique au cours du stade tallage induit le développement du système racinaire en profondeur. Le nombre de racines émises est lié à la capacité d'émission de nouvelles talles. Lorsque le tallage herbacé est inhibé, l'émission de nouvelles racines l'est aussi. Des différences génotypiques semblent, cependant, exister en ce qui concerne la capacité de croissance des racines sous stress hydrique.

Cette croissance n'est possible que grâce aux substrats carbonés produits et transférés par la partie aérienne. Le génotype tolérant au stress hydrique est donc celui qui réussit à maintenir la croissance des racines et l'activité photosynthétique, sous stress.

Morgan (1984) suit le potentiel chimique de l'eau, la fermeture des stomates et l'activité photosynthétique chez 6 variétés de blé. Il note qu'à mesure que le potentiel chimique de l'eau diminue, l'activité photosynthétique variait selon les cultivars. Les génotypes répondaient différemment au stress hydrique. La fermeture des stomates intervient à différent niveau de stress, suggérant des réponses très variables en fonction des variétés. Le maintien de l'activité photosynthétique et de l'ouverture des stomates sous stress peut être utilisé comme critère pour sélectionner des génotypes tolérants au déficit hydrique.

Fellah *et al.* (2002) observent des différences génotypiques dans le temps mis par les stomates pour fermer sous stress. Ils notent aussi des différences assez conséquentes dans la teneur relative pour laquelle les stomates se ferment. L'élévation de la température, tard dans le cycle et particulièrement après l'anthèse, est considérée comme une contrainte à l'augmentation des rendements en zones arides et semi-arides (Slafer et Andrade, 1990). Wardlaw *et al.* (1989) montrent que la température optimale pour le développement et le remplissage du grain variait de 12 à 15 °C chez de nombreux génotypes.

Ils montrent aussi que le poids du grain diminue de 3 à 5% pour chaque degré centigrade d'augmentation à partir des températures de base des 12 à 15 °C. Pour ce type de stress thermique terminale, Wardlaw *et al.* (1989) montrent aussi que la baisse du rendement en grains est positivement corrélée à une réduction du poids de 1000 grains et à la variation du nombre de grains produit par unité de surface.

La tolérance génotypique peut donc avoir comme origine une augmentation du taux de remplissage du grain, sur une durée plus réduite, ou bien le maintien du taux de remplissage et l'allongement de la durée du remplissage du grain, grâce à une durée de vie de la dernière feuille plus longue (Fischer, 1985). Tashiro et Wardlaw (1989) notent que la tolérance au stress thermique dans la plage des 25 à 30 °C, est liée à la capacité du génotype d'augmenter le taux de remplissage du grain, lorsque la température augmente.

La capacité de rétention de l'eau par le feuillage est très utilisée pour déterminer la résistance des plantes vis à vis du stress hydrique. Clarke et Mc Craig (1982) rapportent que la mesure du contenu relatif en eau du feuillage est un bon indicateur de la résistance d'un génotype au déficit hydrique. Ces auteurs recommandent cette technique pour cribler tout germoplasme destiné aux zones sèches. Rascio *et al.* (1987) notent que les variétés avec une faible résistance au déficit hydrique se caractérisent par un contenu relatif en eau très faible.

La capacité de rétention de l'eau au niveau du feuillage conduit au maintien de la turgescence qui est nécessaire à la poursuite des activités métaboliques de la plante. Ce mécanisme est due à l'accumulation de divers osmotocums. Les substances accumulées à cette fin sont des amino-acides, des acides organiques, des ions inorganiques comme les ions Na, K et Cl et des sucres solubles (Morgan, 1984).

Dedio (1975) évalue l'utilité des mesures du potentiel chimique de l'eau, du déficit de saturation, le contenu relatif en eau et la vitesse de déperdition de l'eau par les feuilles excisées. Le déficit de saturation en eau variait de 14,7 à 37,7% sous conditions de stress modéré. Le cultivar Pitic 62 a le plus faible déficit et il présente aussi les plus fortes valeurs du contenu relatif en eau. Le contenu relatif en eau du feuillage était plus indicatif de la capacité d'un cultivar à tolérer le stress hydrique comparativement au déficit de saturation. Ces tests étaient conduits sur des plantules âgées de trois semaines. Les corrélations avec le stade adulte étaient significatives (Dedio, 1975).

Dedio (1975) étudia la descendance F2 d'un croisement, réalisé entre le cultivar Pitic 62, très résistant à la sécheresse et la lignée Acef 125, très sensible au déficit hydrique et qui se caractérise par un faible contenu relatif en eau. Les moyennes du contenu relatif en eau étaient de 75,5% pour Acef 125 ; 54,2 % pour Pitic 62 et 56,7% pour la génération F2. La distribution fréquentielle des moyennes des individus de la F2 montre deux pics correspondant aux lignées parentales. Le pic correspond au parent Pitic 62 était plus important suggérant que Pitic 62 porte les gènes dominants et que le contenu relatif en eau est sous un contrôle génétique simple.

Farshadfar *et al.* (1995) notent que l'osmo-régulation est une importante et effective composante de la tolérance au déficit hydrique dont les conséquences sont une tendance à avoir une turgescence plus élevée et une vitesse de déperdition d'eau assez faible. Utilisant les lignées de substitutions, ils montrent que les gènes qui contrôlent la turgescence foliaire et la vitesse de déperdition de l'eau par le feuillage sont essentiellement localisés sur les chromosomes 1A, 5A, 7A, 1B, 4B, 5B 3D et 5D du blé tendre (*Triticum aestivum* L.).

Kaul (1974) note que le cultivar Pélissier, lignée issue de la variété population Hedba 3, se montre très résistant à la sécheresse. Les feuilles excisées de ce cultivar sont très résistante à la dessiccation. Hurd (1974) note que Pélissier possède la capacité de développer un système racinaire très important. Il préconise que des génotypes soient triés sur la base du développement racinaire au stade plantule.

Shanahan *et al.* (1990) trouvent une corrélation positive et significative entre la capacité des plantules de blé à survivre à un choc thermique de six heures de durée, leur pourcentage de germination dans le manitol (-15 bars) et leur degré de survie à un stress hydrique d'une durée de deux semaines. La turgescence foliaire est corrélée positivement à la présence de cire, à la présence de la glaucescence et à la présence de pilosité du feuillage des génotypes de blé dur (Rascio *et al.* 1987).

Hurd (1974) mentionne que l'enroulement du feuillage chez le blé joue un rôle important dans la réduction de la transpiration sans réduction de l'activité photosynthétique. La morphologie et la surface des feuilles sont des caractéristiques liées à la réduction des pertes d'eau par la plante. Cette régulation est rythmée par l'ouverture et le nombre de stomates par unité de surface foliaire.

La réduction du taux d'extension de la feuille est un autre mécanisme utilisé par la plante pour s'adapter au stress. En effet la réduction de la surface foliaire lorsque le stress hydrique

s'installe est une stratégie développée par les plantes pour réduire de leurs besoins et pertes en eau (O' Toole et Cruz, 1980). L'enroulement du feuillage, le plus exposé à l'éclairement, réduit de près de 40% de la transpiration. Il réduit aussi la surface exposé au soleil, évitent des surchauffes inutiles. Cette stratégie permet à la plante des économies en eau qui seront utilisées pour la survie au cours du stress et s'adapter à un environnement peu favorable.

La durée de la surface verte ou la stabilité de la chlorophylle est une autre caractéristique qui est utilisée en sélection pour la tolérance et l'adaptation au stress thermique (Acevedo 1991). La concentration en chlorophylle de la feuille étandard, mesurée deux semaines après l'anthesis montre une corrélation significative avec le rendement en grains sous stress thermique (Reynolds *et al.* 1994). Dans de tels environnement, la réduction de l'activité photosynthétique des géotypes peu productifs est corrélée à la réduction de la concentration chlorophyllienne de la dernière feuille.

Reynolds *et al.* (1994) montrent l'existence d'une différence de 5°C entre la température de l'air et celle de la canopée de certains géotypes de blé tendre conduits sous stress thermique. Il observe des écarts de température allant jusqu'à 10°C au dessous de la température de l'air pour certaines lignées. Il suggère que la température du couvert végétal peut être un excellent outil de sélection pour la résistance et à l'adaptation au stress thermique.

L'intégrité cellulaire est aussi recommandée comme une technique qui promet en matière de sélection vis à vis des stress thermiques. Ce test donne une mesure de la quantité relative d'électrolytes qui s'échappent de la cellule soumise au stress thermique. Les résultats de ce test sont corrélés avec la productivité sous stress thermique (Fokar *et al.* 1998). Reynolds *et al.* (1994) trouvent une forte corrélation entre le pourcentage de dégâts cellulaires causés par le choc thermique et la réduction de la productivité des géotypes testés.

Bouzerzour *et al.* (1998b) notent que les valeurs du test de l'intégrité cellulaire sont négativement corrélées au poids des épis mesuré au stade maturité, au rendement en grains et à l'indice de récolte. Ils rapportent que la tolérance au stress thermique est positivement corrélé à la productivité à l'intérieur de l'échantillon de géotypes évalués.

Ces résultats rejoignent ceux rapportés par Bensalem et Da Silva (1990) et par Fokar *et al.* (1998) qui trouvent une corrélation négative entre le rendement en grains et les valeurs du test de l'intégrité cellulaire. Saadalla *et al.* (1990) ne trouvent pas de relations consistantes entre les valeurs du test de l'intégrité cellulaire et la productivité chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.).

Il en est de même chez le sorgho (*Sorghum bicolor* Moesch) d'après les résultats de Sullivan et Ross (1979).

Chen *et al.* (1982) trouvent que les valeurs de ce test sont fortement dépendantes du degré d'endurcissement auquel les génotypes sont soumis avant la réalisation du test. Ils suggèrent que les génotypes évalués soient réellement stressés pour pouvoir trouver des différences génotypes assez larges pour être utilisables en sélection.

Saadalla *et al.* (1990) ne trouvent pas de grandes différences génotypiques chez les plantes non endurcies. Les différences deviennent plus importantes chez le même matériel végétal qui a été soumis, durant 120 heures à des températures de 34°C, avant la réalisation du test. Dans le premier cas les lectures varient de 87 à 99%, alors que dans le second cas, elles varient de 37 à 80%.

⇒ La réponse globale de la plante

Lorsque la sélection uni ou multi- caractères n'arrive pas à réduire des effets des interactions des génotypes avec l'environnement de sélection, les sélectionneurs ont recours à des indices pour sélectionner des variétés plus adaptées. Cette sélection cherche à cumuler productivité et stabilité chez le génotype sélectionné. Elle est basée sur la réponse globale de la plante à la variation de l'environnement de sélection (Roseille et Hamblin, 1981).

Plusieurs modèles statistiques ont été développés à cette fin. Ces modèles sont basés sur trois concepts qui sont la stabilité, l'adaptabilité et la prévision. La stabilité phénotypique est définie comme la capacité d'un génotype de maintenir un rendement supérieur à la moyenne de rendement des génotypes auxquels il est comparé sur toute une série d'environnements très différents (Lin *et al.* 1986). Un tel génotype se caractérise par une adaptation générale. Par contre un génotype avec une adaptation spécifique donne des rendements élevés dans certains environnements seulement mais pas dans d'autres.

L'adaptation spécifique utilise favorablement l'interaction G x E, alors que l'adaptation générale tend à en minimiser les effets de sorte que ces deux concepts s'opposent. La prévision est définie comme la répétition systématique de la réponse à la variation environnementale. Becker et Leon (1988) citent deux types de stabilité, la stabilité statique et la stabilité dynamique. La première est l'équivalente de l'adaptation générale, elle est aussi dite stabilité biologique. Un

génotype stable dans le sens dynamique se distingue par une déviation nulle de part et d'autre de sa réponse moyenne à la variation environnementale. C'est la stabilité agronomique.

Cette stabilité est cherchée pour améliorer simultanément le niveau et la régularité des rendements des zones variables. Le concept statique est surtout utilisé en sélection pour la résistance aux maladies et pour améliorer la qualité qui doivent rester à des niveaux constants quelque soit l'environnement de production (Becker et Léon, 1988).

Roseille et Hamblin (1981) font remarquer que la sélection pour la productivité est équivalente à la sélection pour améliorer $(Y1 + Y2)/2$, alors que la sélection pour l'adaptation ou la tolérance est celle qui cherche à minimiser la différence $(Y1 - Y2)$, avec $Y1$ et $Y2$, étant les rendements en grains obtenus, par un génotype donné, dans les environnements favorable et contraignant respectivement.

Ces auteurs rapportent que la condition nécessaire, pour que les lignées sélectionnées soient tolérantes et productives, est que la variance génétique de l'environnement contraignant soit plus élevée que celle observée dans l'environnement favorable. Bouzerzour *et al.*, (2000) trouvent qu'il y a une meilleure expression de la variabilité phénotypique en milieu favorable qu'en milieu limitant.

Les statistiques utilisées pour évaluer la stabilité d'un génotype donné sont décrites par Lin *et al.* (1986). Finlay et Wilkinson (1963) rapportent qu'un génotype qui a une moyenne générale de rendement en grains élevée, associée à un coefficient de régression (b) égale à 1,0, est stable. Ce type de variété est désirable parce qu'il se caractérise par une large adaptation.

Eberhart et Russel (1966) proposent qu'un cultivar, qui se distingue par un coefficient de régression (b) égale à l'unité et une résiduelle de la régression (S^2_{di}) nulle, est stable et désirable. Fatunla et Frey (1976) ajoutent que la reproductibilité du coefficient de régression en fonction des milieux est une condition nécessaire pour qu'un génotype soit déclaré comme étant stable. La reproductibilité du b mesure la capacité de ce coefficient, estimé d'après les données d'une série d'environnements, de rester représentatif du même génotype dans une autre série d'environnements.

Shukla (1972) propose de décomposer la somme des carrés des écarts de l'interaction ($SCE_{G \times E}$) en autant de variance individuelle (σ^2) liée à chaque génotype et de sélectionner les génotypes qui se distinguent par une faible variance (σ^2). Helms (1993) trouve que la sélection pour une faible valeur de la σ^2 identifie des génotypes qui se distinguent par des b et S^2_{di} de

faibles valeurs, indiquant une stabilité acceptable, mais ces sélections se distinguent, en moyenne, par de faibles rendements en grains.

Helms (1993) mentionne que la sélection pour de faibles valeurs de la σ^2 était équivalente à la sélection sur la base de faible valeur de la S^2_{di} , du point de vue stabilité et niveau de rendement en grains. Cet auteur montre que b a une meilleure reproductibilité comparativement aux variances S^2_{di} et σ^2 . Il trouve un coefficient de corrélation de rang élevé entre b et le rendement en grains, alors que celui entre S^2_{di} et le rendement comme celui entre σ^2 et le rendement étaient de faibles valeurs.

Il mentionne que les variétés, sélectionnées sur la base des indices, étaient stables et produisent nettement mieux, mais qu'elles ne produisent pas autant que les lignées sélectionnées sur la base de la moyenne globale du rendement en grains. Il conclut, que la sélection sur la base des indices, identifie des variétés qui sont stables mais moins productives.

Langer *et al.* (1978) rapportent aussi une corrélation positive et significative entre b et le rendement en grains par génotype. Eagles *et al.* (1977) rapportent que le b du rendement en grains, comme le rendement en grains a un faible coefficient de l'héritabilité. Eberhart et Russell (1966) rapportent que le b du rendement en grains du maïs (*Zea Maydis* L.) a une aptitude générale à la combinaison élevée.

Simmonds (1991) note que les variétés qui se distinguent par un b inférieur à l'unité sont certes très stables mais elles valorisent peu le milieu de production, lorsque celui-ci tend à s'améliorer, à l'inverse celles qui se démarquent par un $b > 1$ sont irrégulières mais elles répondent mieux à l'amélioration des conditions de croissance, elles sont plus adaptées aux environnements favorables.

Simmonds (1991) ainsi que Bouzerzour *et al.*, (2000) trouvent que la sélection dans les environnements favorables identifie des génotypes avec un $b > 1$, alors que la sélection dans des environnements contraignants, identifie des génotypes avec un $b < 1$. Srivastava *et al.*, (1983) mentionnent que la sélection, dans les environnements contraignants, n'est pas en mesure de discriminer entre les génotypes tolérants et ceux qui ont un faible potentiel génétique de production; alors que la sélection, dans les environnements favorables, n'est pas non plus en mesure de discriminer entre un génotype tolérant et celui qui est sensible aux stress.

La détermination de la stabilité d'un cultivar donné, selon les méthodes décrites par Finlay et Wilkinson (1963) et par Eberhart et Russell (1966), nécessite la mise en place d'un

nombre assez important de sites d'évaluation. Elle nécessite du temps et de l'argent. Pour ces raisons, certains chercheurs ont proposé d'autres indices plus simples à calculer et qui complètent les statistiques ci-dessus mentionnées.

Fisher et Maurer (1978) proposent un indice (S) qui est basé sur l'estimation de la réponse du génotype au stress en comparant le rendement, obtenu sous stress, à celui réalisé en l'absence du stress. Ehdaie *et al.* (1988) mentionnent que $S < 1$ indique un degré élevé de tolérance au stress. Ils trouvent aussi que la valeur du S, pour un génotype donné, change en fonction des environnements.

Fischer et Maurer (1978) font remarquer que S, spécifique à un génotype donné, varie peu en fonction de la variation des milieux. Ehdaie *et al.* (1988) ainsi que Bouzerzour *et al.* (2000) montrent que S ne discrimine pas entre les génotypes qui possèdent la capacité génétique de produire mieux sous stress, parce qu'ils sont tolérants et adaptés, et ceux qui ont un faible potentiel génétique.

Lin et Binns (1985) proposent un indice P qui tient compte de la productivité dans chaque environnement participant aux tests. Crossa *et al.* (1990) font une critique de ces indices et propose l'utilisation de l'analyse en composantes principales pour mieux comprendre et gérer au mieux les interactions G x E, en sélection.

1-2-3- Le choix des parents pour concilier productivité et adaptation

Vu que les parents transmettent leurs gènes à leur descendance et que le comportement de la descendance est lié aux différents gènes qu'elle porte, plusieurs études ont tenté de prédire le comportement de la descendance en fonction de celui des parents. Ces tentatives ont été couronnées de succès dans le domaine du transfert de la résistance aux maladies cryptogamiques et de la qualité technologique, mais elles ont été peu concluantes en ce qui concerne le rendement et d'une manière générale tous les caractères à hérédité complexe.

Selon Murphy *et al.* (1982), lorsque l'objectif est d'améliorer le rendement en grains, le choix des lignées parentales à croiser doit tenir compte des caractéristiques suivantes :

- la diversité génétique
- la diversité géographique
- l'aptitude générale à la combinaison
- la valeur propre pour les caractères d'intérêt

Une différence phénotypique élevée entre les parents pour le ou les caractères d'intérêt est indicatrice d'un contrôle polygénique. La descendance du croisement entre de tels parents montre une plus grande variabilité phénotypique, ce qui rend la sélection plus aisée (He Zhong, 1991).

La caractérisation des géniteurs potentiels est donc nécessaire pour aider au choix des parents à croiser. La diversité génétique est déterminée par des analyses multi-variées comme l'analyse en composantes principales, l'analyse factorielle discriminante ou l'analyse en grappe (cluster analysis) qui mesurent la distance phénotype entre les différentes lignées ou groupes de génotypes utilisables comme géniteurs (Bhatt, 1973, He Zhong, 1991).

He Zhong (1991) compare les performances de la descendance des parents divergents, choisis parmi les groupes issus de l'analyse multi-variée faite sur 12 caractères mesurés, sur les caractères jugés comme étant essentiels par le sélectionneur, et sur la base des caractères qui ont un coefficient de l'héritabilité élevé.

Il note que la descendance des parents qui se distinguent par de bonnes valeurs agronomiques et sont bien adaptés produit un hétérosis très élevé malgré une distance génétique assez faible. Le degrés d'expression de l'hétérosis est donc plus dépendant, dans certaines situations de la combinaison hybride que de la distance génétique qui sépare les parents croisés.

Bhatt (1973) compare quatre méthodes de choix des parents. Dans la première, un parent est choisi sur la base de ses performances et le second le complète pour l'adaptation au milieu de production. Dans la seconde, le choix est basé sur la distance génétique mesurée par le D^2 de Malahanobis.

Les parents, dans la troisième méthode, sont géographiquement très divergents et dans la quatrième, ils sont sélectionnés au hasard parmi les géniteurs potentiels. Il observe que les parents très distants génétiquement donnent une descendance qui se distingue par une large variabilité phénotypique et produisent des lignées F5 transgressives au meilleur parent.

Murphy et al. (1982) suggèrent l'aptitude générale à la combinaison des parents à choisir au fin de croisements, doivent être significatives, ou à la limite leur somme doit être significative et dans le sens désiré de l'amélioration du caractère. Sampson (1976) note que la valeur propre du parent moyen prédit suffisamment celle de la descendance et de ce fait, il suggère que cette caractéristique doit être utilisée pour choisir les parents à croiser.

Selon Busch *et al.* (1974) une meilleure fréquence de lignées transgressives est associée aux croisements faits entre des parents qui se distinguent par de bonnes valeurs propres

comparativement aux croisements fait entre un parent de bonne valeur propre et un parent aux performances médiocres.

Pour améliorer le rendement en grains, le choix des parents est généralement fait sur cette base ou sur celle des composantes du rendement. Pour améliorer l'adaptation, le choix est plus complexe, suite au nombre des paramètres phéno-morpho-physiologiques qui semblent intervenir dans ce phénomène. L'adaptation est associée aux performances de rendement en grains sous stress. Sayre *et al.* (1997) trouvent qu'un haut rendement en grains sous stress est associée avec une nette précocité à maturité et une moindre variation de la hauteur des plantes en fonction des environnements.

Blum et Pnuel (1990) trouvent que, sous stress hydrique et thermique, c'est la variation du nombre d'épis/m² qui est la cause de l'instabilité du rendement en grains. Ils observent que les variétés qui possèdent la capacité de compenser la variation du nombre d'épis/m² par le nombre de grains par épi sont plus stables et mieux adaptées sous stress.

Shpiler et Blum (1991) montrent que le nombre de grains par épi est positivement corrélé avec le valeur, mesurée en degrés -jours, et le degré de stabilité de la durée de la phase levée - stade double ride. La stabilité du nombre de grains par épi sous stress est donc un indicateur de la tolérance aux stress hydrique et calorique et que cette tolérance est opérationnelle dès les premières semaines après la levée.

Fellah *et al.* (2002) montrent que la productivité sous stress comme sous conditions favorables est conditionnée par le nombre de grains produit par unité de surface. Ils observent par contre que sous stress, c'est le nombre de grains par épi qui détermine le nombre de grains produit par unité de surface.

Ils notent aussi qu'un meilleur indice de remplissage sous stress est associé à une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau pour produire du grains ou de la biomasse aérienne sous stress. Ykhlef *et al.* (1998) trouvent eux aussi que sous stress la capacité d'utilisation de l'eau est positivement liée au rendement en grains.

Borojevic et Williams (1982) indiquent que la durée de remplissage du grains est le principal déterminant du niveau et de la stabilité du rendement en grains sous stress. Abbassenne *et al.* (1998) ainsi que Fellah *et al.* (2002) notent que les génotypes qui se distinguent par une vitesse ou indice de remplissage du grain plus élevé, minimisent la baisse de rendement en grains sous stress.

Blum *et al.* (1991) font remarquer que deux sources contribuent simultanément au remplissage du grains, les substrats carbonés, produits avant l'anthèse et qui sont stockés dans le col de l'épi et ceux produit au cours de la phase de remplissage du grains. La première source est une caractéristique adaptative alors que la seconde ne l'est pas, elle est liée à la durée de vie de la dernière feuille.

Wallace *et al.* (1993) ainsi que Annichiarico et Perenzin (1994) notent que la phénologie est un des principaux caractères qui conditionne l'adaptation d'un génotype donné. La phénologie est aussi la source des interactions G x E (Hadjichristodoulou, 1987, Bouzerzour *et al.* 1998b, Bahlouli 1998). Bouzerzour et Benmahammed (1994) trouvent une corrélation positive entre la tolérance au gel tardif et la tardiveté au stade épiaison. Pour tenter d'améliorer le niveau et la régularité du rendement en grains, le choix des parents doit être fait sur la base de plusieurs caractéristiques dont le rendement en grains, la phénologie, la hauteur de paille, l'efficacité d'utilisation de l'eau, le nombre de grains par épi, et la vitesse de remplissage du grain.

1-2-4- La sélection assistée par des marqueurs

La découverte des marqueurs moléculaires de l'ADN nucléaire ouvre une nouvelle aire pour la sélection classique. En rendant possible l'identification et l'étiquetage de certains gènes, cela permet de rendre plus efficace la gestion et la manipulation de la variabilité génétique pour construire des génotypes cumulant des gènes ou des associations de gènes favorables. Grâce aux marqueurs nucléaires, il devient, en effet possible, d'une part, de mieux lire le génotype à travers le phénotype et, d'autre part, de contrôler les recombinaisons entre locus en cause.

Ceci est d'autant plus intéressant que les marqueurs moléculaires sont relativement peu influencés par la fluctuation environnementale. Ils sont aussi indépendant de l'organe mesuré ou analysé et du stade de développement du sujet concerné (Gallais, 1994 ; Eagle *et al.* 2001 ; Najimi *et al.* 2003). La sélection assistée par des marqueurs (SAM) devient de plus en plus un complément nécessaire aux schémas de sélection classique d'amélioration des céréales (Hospital, 2001).

Cette technique concerne différents domaines :

- l'identification des génotypes pour des caractères mono-géniques très influencés par le milieu.
- Le contrôle de la recombinaison, par l'identification d'une part des individus les plus complémentaires à croiser entre eux, et d'autres part, des transgressants les plus favorables.

- La gestion de la variabilité des ressources génétiques.
- La prédiction des valeurs génotypiques pour des caractères complexes.
- La prédiction de la valeur d'un croisement à partir d'informations sur les parents.

Cette technique a été utilisée de manière avantageuse dans l'amélioration de la résistance aux maladies et aux insectes (Langridge *et al.* 2001). Les marqueurs sont, en effet, considérés comme des caractères liés au caractère principal à sélectionner. Paterson *et al.* (1991) montrent l'existence de QTL (quantitative traits loci) spécifiques pour l'adaptation à certains milieux. Pour obtenir donc, des variétés stables, il faut accumuler dans un même fond génétique, le maximum de QTL d'adaptation. La SAM devrait permettre de construire plus rapidement et avec plus de sécurité de tels génotypes.

Selon Gallais (1994), en présence d'interaction génotype x milieu, l'introduction des marqueurs permettra d'augmenter la valeur de l'héritabilité dans chaque lieu test et permet de voir les adaptations spécifiques et de repérer donc les QTL d'adaptation. Il devient donc possible de sélectionner simultanément et efficacement sur la performance moyenne et sur la stabilité des performances.

MATERIEL ET METHODES

Benmahammed A. (2005). Hétérosis, transgressions et efficacité de la sélection précoce et retardée de la biomasse, du nombre d'épis et utilisation des indices chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.)

Chapitre –II- Matériel et méthodes

2-1- Description du site expérimental

L'expérimentation a été conduite à la ferme expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC), située à 4 km au sud-ouest de la ville de Sétif. Le site expérimental se trouve en partie dans la petite vallée de l'oued Boussalem. Il est pratiquement soumis au régime climatique des hauts plateaux qui se caractérisent par des hivers froids, une pluviométrie irrégulière, des gelées printanières très fréquentes et des vents chauds et desséchants en fin de cycle de la céréale. L'altitude moyenne est voisine de 1080 m. La plus part des sols du site expérimental appartient à la catégorie des sols steppiques de la classification française (Perrier et Soyer, 1970).

La densité apparente est de $1,34 \text{ g/cm}^3$. les trois horizons qui délimitent les 60 premier cm de la couche (0-20, 20-40 et 40-60 cm) ont une texture argileuse pour le premier et limono-argileuse pour le second et le troisième. Ces horizons sont faiblement humifères avec un taux de matière organique qui varie de 1,32 à 2,4% Le calcaire total est de 35% alors que le calcaire actif est de 27%. Le pH eau est basique et a une valeur moyenne de 8,2 (Chenafi, 1996).

2-2- Le climat

⇒ La pluviométrie

Des cinq campagnes au cours desquelles l'étude a été menée, trois ont un cumul pluviométrique de septembre à juin qui est supérieur au cumul de la période 1961/99. Les campagnes 1996/97 et 1998/99 ont enregistré des cumuls inférieurs à celui de la normale (Tableau 2). En plus de la variation observée pour les cumuls de la période septembre à juin qui correspond au cycle de la plante, il y a aussi une forte variation des quantités enregistrées par mois et pour tous les mois concernées. Ces quantités varient de 3,7 mm à plus de 100 mm pour le mois de mai et de 18,8 à plus de 120 mm pour le mois de septembre (Tableau 2).

En prenant les moyennes pluviométriques mensuelles de la période 1961/99 comme base 100, le cumul des écarts par rapport à cette normale est donné en figure 2 pour les cinq campagnes concernées par l'étude. La campagne 1996/97 a été déficitaire de septembre au mois de juin où elle accumule un déficit de 185 mm. La campagne 1997/98, au contraire a été excédentaire tout le long du cycle de développement de la plante. Elle accumule un excédent de 100 mm à la fin du mois de juin 1998 (Figure 2).

Tableau 2 .Pluviométrie et températures mensuelles des années d'étude et la moyenne pluriannuelle (1961/1999).

Mois	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	Total
Pluviométrie											
61/99	56.0	34.4	36.4	36.0	44.7	36.4	29.7	36.7	42.4	22.9	375.6
94/95	77.3	55.0	5.6	16.4	94.0	25.7	63.0	41.9	3.7	61.8	444.4
95/96	44.5	37.1	22.3	25.2	62.0	91.8	47.9	52.9	69.2	22.9	475.8
96/97	18.8	9.2	10.7	29.7	32.4	7.7	4.5	37.3	20.3	20.0	190.6
97/98	84.5	45.1	69.4	43.7	9.6	39.8	13.1	52.0	101.2	19.4	477.8
98/99	120.0	16.5	57.9	23.2	65.3	15.9	19.4	8.4	4.3	22.2	353.1
Températures											
61/99	21.5	15.2	10.3	6.6	6.3	7.1	9.4	12.4	18.8	24.1	
94/95	21.0	15.4	10.8	7.3	6.0	8.9	9.0	10.0	17.0	20.8	
95/96	21.5	17.2	10.8	8.4	7.7	5.5	10.8	14.1	17.8	22.4	
96/97	20.5	15.4	10.8	8.0	7.5	9.2	10.9	13.7	19.5	27.0	
97/98	22.1	16.0	9.2	6.5	6.1	7.8	10.0	14.2	20.0	29.2	
98/99	22.7	13.5	9.2	5.7	6.3	5.3	9.8	14.4	23.9	27.8	

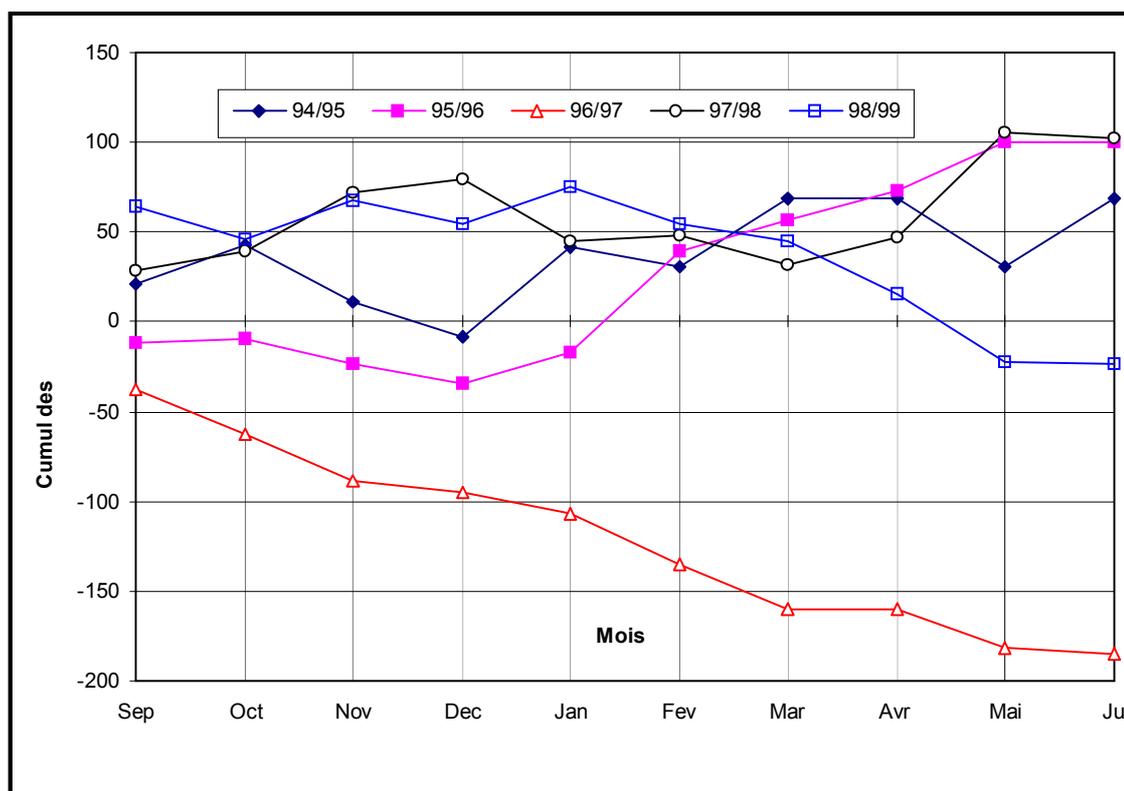


Figure : 2. Cumul des écarts pluviométriques mensuels des cinq campagnes concernées par l'étude comparativement à la moyenne de la période 1961/99

La campagne 1995/96 a été légèrement déficitaire au cours de l'automne et une partie de l'hiver, puis elle est devenue excédentaire pour finir au même niveau que celui de la campagne 1997/98. La campagne 1998/99, au contraire de celle qui précède, démarre excédentaire tout le long de l'automne, l'hiver et même une partie du printemps, puis elle devient déficitaire à partir du mois d'avril jusqu'au mois de juin où elle accuse un déficit de 22,5 mm (Figure 2).

La répartition du cumul des écarts pluviométrique de la campagne 1994/95 laisse apparaître que cette dernière se rapproche de la campagne 1997/98 vu qu'elle est excédentaire tout le long de la période étudiée (Figure 2). Cette variation imprévisible des quantités de pluie, d'un mois à l'autre et d'une année à l'autre, est une des caractéristiques de la région qui appartient au bioclimat semi-aride froid avec une période sèche qui peut durer plus de 4 mois.

⇒ La température

Les températures moyennes mensuelles des campagnes en question, restent assez proches de celles calculées pour la période 1961/99. Seules les moyennes du mois de juin sont plus variables, allant de 20,8 à 29,2°C selon les années (Tableau 2). Le cumul des écarts des degrés-jours par rapport à la période 1961/99 montre, là aussi comme pour la pluviométrie, une forte variation selon les années et les mois considérés (Figure 3).

La campagne 1998/99 a été la plus froide, du mois d'octobre au mois d'avril, puis elle devient brusquement plus chaude que la normale et enregistre un excès de 200°C-jours vers la fin du mois de juin. Les campagnes 1995/96, 1996/97 et 1997/98 ont été, à quelques variations près, plus chaude que la normale. Les excès thermiques sont plus prononcés en fin de la campagne. La campagne 1994/95 diffère des autres, puisqu'elle a été relativement plus douce de septembre au mois de mars, puis elle s'est rafraîchie brusquement (Figure 3).

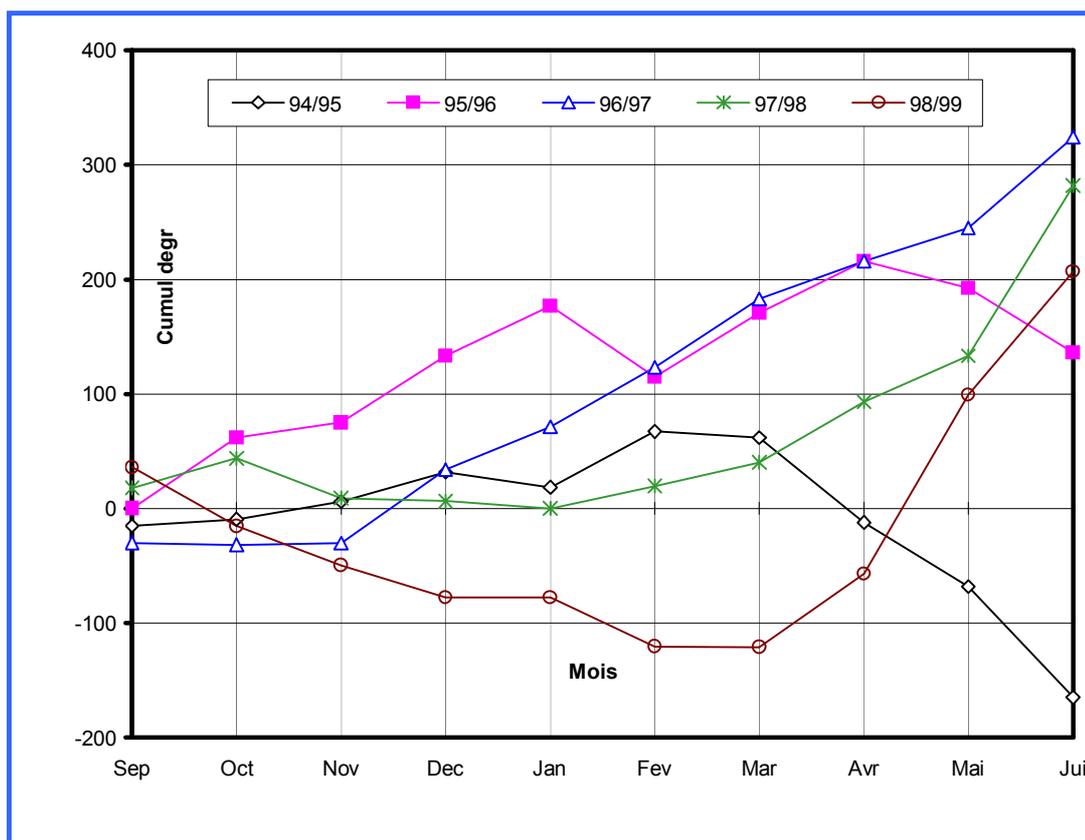


Figure 3 : Variation des cumuls de températures relativement à la moyenne 1961/99 des cinq campagnes étudiées.

2-3- Dispositif expérimental.

2-3-1- Matériel végétal mis en place

2-3-1-1- Valeurs propres parentales et degré d'expression de l'hétérosis

Trente neuf combinaisons hybrides ont été réalisées à partir de vingt parents de diverses origines: locale, syrienne, européenne (Tableaux 3 et 4). Le choix des parents a été basé sur la diversité géographique, l'adaptation au milieu et les valeurs propres prises par les caractères qui sont désirables en milieu variable tels que la hauteur de la plante, le degré de précocité aux stades critiques, la biomasse et le rendement en grains.

Les générations F1, F2, F3 plus les parents ont été mises en place, respectivement au cours des campagnes agricoles 1996/97, 1997/98 et 1998/99 dans un dispositif en blocs avec trois répétitions. La parcelle élémentaire fait un rang de 1 m de long pour la F1 et 2 rangs de 2,5 m de long pour la F2 et F3.

Tableau 3. Code et pedigrees des lignées parentales utilisées en croisement

Code	Pedigree
P1	Arar/Rihane03
P2	Lignée527//Bahtim/DI71/3/Api/3Cm67//Mzq/4/ Lignée527// Chaaran01// Lignée640/Badia
P3	Algerian selection Plot 803/3/Cm67/Apro//Sv02109/Maris
P4	As47/Kitchin
P5	50-5145/N-Acc4000-301-80
P6	Algerian selection Plot 706/3/Deir Alla106//Mzq/DI71
P7	Deir Alla106/Api/EB
P8	Pld10342//cr115/Pro/3/Bahtim9/4/Ds/ Apro/5/Wi2291/6/Rihane08
P9	Tichedrett
P10	Kenya Research Belle/As46//Aths*2
P11	80-5013/5/Cr115/Pro//Bc/3/Api/Cm67/4/ Giza120/6/CI08887/Ci05761//Lignée640
P12	Rihane
P13	ICB. 88-611
P14	Sinis 28
P15	Bégonia
P16	CMB 86A-1181C
P17	Acsad 176
P18	ZDM 939
P19	Steptoe
P20	ICB 85-225

Les croisements réalisés sont données au tableau 4.

Tableau 4. Liste des différentes combinaisons hybrides réalisées entre les différents parents.

N°	Croisement								
1	P1 x P2	2	P1 x P3	3	P1 x P4	4	P1 x P5	5	P1 x P6
6	P1 x P7	7	P8 x P1	8	P8 x P2	9	P8 x P3	10	P8 x P4
11	P8 x P5	12	P8 x P6	13	P8 x P9	14	P3 x P2	15	P3 x P4
16	P3 x P5	17	P3 x P6	18	P3 x P10	19	P3 x P11	20	P5 x P2
21	P5 x P4	22	P5 x P6	23	P5 x P10	24	P4 x P2	25	P4 x P6
26	P4 x P10	27	P4 x P11	28	P4 x P9	29	P4 x P7	30	P12 x P13
31	P12 x P7	32	P14 x P15	33	P16 x P17	34	P16 x P7	35	P17 x P13
36	P17 x P18	37	P9 x P19	38	P9 x P11	39	P20 x P7		

2-3-1-2- Etude de l'efficacité de la sélection précoce

Les quatre générations, F3 à la F6 étudiées, ont évolué à partir des trois croisements effectués durant la campagne 1991/1992 à la Station Expérimentale Agricole de Sétif (ITGC), entre Alpha et Tichedrett; Saida et Jaidor et entre Aths/Lignée 686 et Rebelle (Benmahammed, 1995). Les semences F0 pour F1 de ces croisements ont été semées, au mois de novembre 1992, sur un rang de 1m de long par croisement. Au mois de novembre 1993, la génération F2 de chaque croisement a été mise en place sur 4 rangs de 3 m de long, dans un dispositif en blocs avec trois répétitions.

Au mois de juin 1994, des groupes contrastés (H et L) pour la biomasse aérienne, le nombre d'épis/m² et le rendement en grains ont été sélectionnés par croisement (Benmahammed , 1995). Chaque groupe (H et L) est constitué de 10 lignées soit un total de 60 lignées par croisement, qui ont évolué ainsi de la F3 à la F6.

Le groupe H désigne les génotypes ayant de fortes valeurs pour le caractère sélectionné, et L celui des lignées qui ont de faibles valeurs. Le passage d'une génération à une autre se fait par la prise d'une quantité de semence juste suffisante pour semer les trois parcelles élémentaires par lignée.

Les parents sont semés à chaque génération avec les groupes de lignées divergentes pour les caractères utilisés comme critère de sélection, le tout dans un dispositif en blocs à trois répétitions, durant les campagnes agricoles 1994/95 à 1998/99. La parcelle élémentaire est constituée de 2 rangs de 3 mètres de long espacés de 20 cm entre rangs.

2-3-1-3- Etude de l'efficacité de la sélection retardée sur indices

Le matériel végétal utilisé est constitué des lignées issues des groupes H et L des trois croisements qui ont été décrites précédemment, plus les parents croisés. La subdivision entre groupes contrastés et croisements a été abandonnée et le matériel végétal est considéré comme étant une seule population de lignées qui ont été sélectionnées par plante en F2, sur la base d'un critère spécifique et puis qui ont été semées ensemble en F3 et conduites selon la méthode de sélection bulk, jusqu'à la génération F6.

La génération F7 est constituée de lignée pures. Elle a été obtenue en prenant un épi au stade maturité de chaque lignée F5. Les épis ainsi collectés ont été semés en parallèle au semis de la génération F6 et dont le produit a servi de semence au semis de la génération F7. Cette

méthode, dite bulk-pedigree, est largement utilisée par les Centres Internationaux de sélection des plantes comme l'Icarda, qui travaille en milieux variables (Ceccarelli et Grando, 1989).

2-3-2- Notations et mesures

Les notations et mesures ont été réalisées par parcelle élémentaire et ont porté sur la détermination de:

- La durée de la phase végétative (PVG, j) est notée comme la durée, en jours calendaires, comprise entre la levée et la date de sortie de 50% des épis par parcelle élémentaire.
- La biomasse aérienne (BIO, g/m²), a été déterminée au stade maturité à partir du poids des bottillons provenant de la récolte d'un segment de rang de 1 m de long par parcelle élémentaire. Ces mêmes bottillons ont servi aussi à la détermination du nombre d'épis (NE/ m²) produit par unité de surface et du rendement en grains (RDT, g/m²).
- Le poids de 1000 grains (PMG, g) a été déterminé sur la base du poids de 250 graines comptées par parcelle élémentaire.
- La hauteur des plantes (HT, cm), prise du sol jusqu'au sommet de l'épi, barbes non incluses.
- Les nombres de grains par épi (NGE) et de grains par m² ont été déduits par calcul, en utilisant les données relatives au rendement en grains, au poids de 1000 grains et au nombre d'épis produit par unité de surface:

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

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

où

NGM² = nombre de grains produits par m²

RDT = rendement en grains (g/m²)

PMG = poids de 1000 grains (g)

NE = nombre d'épis comptés par m²

NGE = nombre moyen de grains par épi

Au stade épiaison 10 feuilles étendards sont échantillonnées de chaque lignée pour déterminer

- La surface foliaire (SF, cm²) déterminée à partir de la longueur (L) et la largeur (l) moyennes de la feuille étendard basées sur les mesures de 10 feuilles qui est calculée par :

$$\text{SF (cm}^2\text{)} = 0.536 (L \times l)$$

- La teneur relative en eau de 10 feuilles étendards (TRE%), est déterminée, en suivant la procédure décrite par Araus *et al.* (1992). Le poids frais (PF, g) est déterminé juste après excision. Ces feuilles sont mises dans des tubes à essai contenant de l'eau et placées à l'obscurité. Au bout de 6 heures, elles sont retirées des tubes essuyées de leur excès d'eau, et pesées de nouveau pour avoir le poids turgescence (PT, g). Ensuite les 10 feuilles sont mises dans une étuve pendant 48 h à une température de 90 C° pour avoir le poids sec (PS, g). La teneur relative en eau est calculée par la formule :

$$\text{TRE (\%)} = 100[(\text{PF} - \text{PS}) / (\text{PT} - \text{PS})]$$

- L'intégrité cellulaire (IC %) a été déterminée en suivant la procédure décrite par Saadallah *et al.* (1990). Quatre feuilles étendards, par lignée sont lavées à l'eau courante puis découpées en morceaux de 1 cm de long. Vingt morceaux sont placés dans un tube à essai auquel on ajoute 10 centimètres cubes d'eau déminéralisée, on lave vigoureusement les morceaux de feuilles pour éliminer les impuretés. Dix centimètres cubes d'eau déminéralisée sont ajoutés à chaque tube à essai qui sont mis dans le bain marie à 50 C°. Les tubes séjournent pendant 30 minutes puis ils mis à refroidir à l'air libre, avec quoi la conductance est lue avec un conductivimètre (lecture T1). Les tubes sont remis, dans le bain marie à 100C°, pendant 1 heure, puis sortis du bain marie et mis à refroidir pendant 2 heures pour la lecture finale (lecture T2). Le pourcentage des cellules endommagées par le choc thermique est estimé par :

$$\text{IC (\%)} = 100 (T1/T2) \quad \text{avec}$$

T1= La conductivité lue à 50 C°

T2= La conductivité lue à 100 C°.

2-3-3- Analyses des données

2-3-3-1- Valeurs propres parentales et degré d'expression de l'hétérosis

L'analyse a été faite sur les moyennes parcelles vu que l'étude met plus en relief les différences inter-croisements que la variabilité phénotypique intra-croisement qui distingue les générations F2 et F3. Une analyse de la variance à un seul critère de classification a été conduite pour déterminer l'effet croisement assimilé à l'effet génotype, selon le modèle additif suivant:

$$Y = \mu + G_i + B_j + e_{ij} \quad \text{avec}$$

Y= est la moyenne observée pour un caractère donné

μ = la moyenne générale de l'essai pour un caractère donné

G_i = est l'effet du génotype i

B_j = est l'effet du bloc j

e_{ij} = est la résiduelle associée au génotype i dans le bloc j (Steel et Torrie , 1980).

Ce n'est qu'une fois l'effet croisement est significatif que l'étude du déterminisme du caractère considéré est poursuivie sur les moyennes observées des générations F1, F2 et F3.

Le degré de dominance (h) est calculé, en F1 et F2, comme la déviation relativement au parent moyen pour un caractère donné (Romero et Frey, 1973), comme suit:

$$h = (X_{Fn} - X_{PM}) / X_{PM} \quad \text{avec}$$

h : degré de dominance

X_{Fn} : est la moyenne observée de la génération Fn.

X_{PM} : est la moyenne observée des deux parents.

La distance phénotypique (D) séparant les lignées parentales a été déterminé par:

$$D = (X_{P2} - X_{P1}),$$

avec

X_{P2} : est la valeur propre du parent supérieur pour le caractère considéré.

X_{P1} = est la valeur propre du parent inférieur pour le même caractère.

Ces formules reposent sur les hypothèses restrictives suivantes :

- tous les gènes contrôlant le caractère ont le même effet.
- Un parent (P1) porte tous les gènes récessifs et l'autre parent (P2) tous les gènes dominants.
- L'absence de liaisons entre gènes non allèles (linkage) et d'interaction non allélique (épistasie).
- Le degré de dominance des gènes est équivalent pour tous les gènes dominants.

Les coefficients de corrélations phénotypiques sont calculés entre paires des caractères mesurés chez les différents croisements par génération et chez les lignées parentales, pour déterminer la nature des liaisons qui existent chez les combinaisons hybrides.

Le coefficient de l'héritabilité au sens étroit (h^2_{ns}) a été déterminé comme le coefficient de la régression de la descendance sur les lignées parentales (Cox et Frey, 1984):

$$Y = bx + a$$

où

Y= rendement de la génération Fn

b= coefficient de régression

x= rendement de la génération Fn-1

a= constante

avec

$$h^2_{ns} = b$$

Le degré de ressemblance entre apparentés est aussi déterminé par régression des valeurs des hybrides à parent constant sur celles des parents variables.

$$Y = bx + a$$

où

Y= rendement de l'hybride

b= coefficient de régression qui mesure le degré de ressemblance entre l'hybride et le parent variable

x= rendement du parent variable

a= constante

Le degré de ressemblance entre apparentés est aussi déterminé par le calcul du coefficient de corrélation entre les génération successives (Cox et Frey, 1984).

$$r = W_{x,y} / \sqrt{\sigma^2_x \cdot \sigma^2_y}$$

où

W_{xy} = covariance entre la variable de la génération Fn et celui de la génération Fn-1

σ^2_Y = variance de la variable de la génération Fn-1

σ^2_x = variance de la variable de la génération Fn

2-3-3-2- Etude de l'efficacité de la sélection précoce

Les données collectées à partir des mesures des différentes variables ont été soumises à une analyse de la variance à deux facteurs étudiés, l'effet lignée, avec 20 lignées plus les deux parents par critère de sélection et l'effet génération, avec 4 générations de la F3 à la F6, dont l'effet génération est confondu avec l'effet année, et leur interaction. Cette analyse de la variance a été faite par croisement et par critère de sélection selon le modèle additif suivant :

$$y_{ijk} = \mu + E_j + G_i + G \times E_{ij} + B(E)_{jk} + e_{ijk}$$

avec

y_{ijk} = valeur observée sur le génotype i , l'environnement j et le bloc k

μ = moyenne générale de l'essai

G_i = l'effet du génotype i

E_j = l'effet de l'environnement j

$G \times E_{ij}$ = interaction du génotype i dans l'environnement j

$B(E)_{jk}$ = effet bloc k hiérarchisé à l'environnement j

e_{ijk} = résiduelle associée au génotype i , l'environnement j et le bloc k . (Steel et Torrie, 1980).

La réponse globale à la sélection (RS), par critère a été déterminée en faisant la différence entre la moyenne globale des lignées issues des plantes H déduite de la moyenne globale des lignées issues des plantes L :

$$RS = X_H - X_L$$

où

RS= réponse globale à la sélection

X_H = moyenne globale des lignées du groupe H

X_L = moyenne globale des lignées du groupe L (Falconer, 1982, Borghi *et al.* 1989).

La réponse à la sélection a été aussi déterminée par génération lorsque l'interaction lignées x générations est statistiquement significative (McInstosh, 1983).

Les corrélations phénotypiques inter-générations et inter-caractères (r), génétiques (r_g) et environnementales (r_e) ont été calculées pour le caractère utilisé comme critère de sélection et pour le rendement en grains qui est le caractère objectif de la sélection, pour déterminer le degré

de reproductibilité de ces variables en fonction des années et l'effet du milieu de sélection (Falconer, 1982).

Les coefficients de corrélation génétique (rg) et environnemental (re) ont été déduit de la manière suivante :

$$rg = Wg_{X,Y} / \sqrt{\sigma^2g_X \cdot \sigma^2g_Y}$$

où

$Wg_{X,Y}$ = covariance génétique entre les variables X et Y, elle est déduite de l'analyse multivariée (Anacov) par $(CMPE_{g\acute{e}notype} - CMPE_{erreur})/r$, avec r = nombre de répétitions

σ^2g_X = variance génétique de la variable X, déduite de l'analyse de la variance de la variable X par $(CME_{g\acute{e}notype} - CME_{r\acute{e}siduelle})/r$

σ^2g_Y = variance génétique de la variable Y déduite de l'analyse de la variance de la variable X par $(CME_{g\acute{e}notype} - CME_{r\acute{e}siduelle})/r$

$$re = We_{X,Y} / \sqrt{\sigma^2e_X \cdot \sigma^2e_Y}$$

où

$We_{X,Y}$ = covariance environnementale entre les variables X et Y, elle est égale à la résiduelle de l'analyse multivariée (Anacov)

σ^2e_X = variance résiduelle de la variable X

σ^2e_Y = variance résiduelle de la variable Y

Le coefficient de l'héritabilité au sens étroit (h^2ns) a été déterminé comme le coefficient de la régression, standardisé en unité d'écart type, de la descendance sur les lignées parentales:

$$h^2ns = \text{régression } Fn/Fn-1 \quad (\text{Cox et Frey, 1984}).$$

Les calculs statistiques ont été réalisés sur logiciel Statitcf version 5.0 (1989).

2-3-3-3- Etude de l'efficacité de la sélection retardée sur indices

La sélection, à l'issue des 4 générations de suivi (F4 à la F7) a été faite sur la base de différents indices qui donnent une mesure de la réponse globale de la plante à la variation environnementale. La sélection a été faite pour ne retenir que les cinq lignées extrêmes par indice de sélection. Les différents indices utilisés sont l'indice (S) de la sensibilité à la contrainte climatique de Fischer et Maurer (1978), l'indice (P) de la supériorité génotypique de Lin et Binns (1985), le coefficient (b) de la régression conjointe de Finlay et Wilkinson, (1963), la résiduelle

de la régression (S^2_{di}) d'Eberhart et Russel (1966) et les axes (PCA) de l'analyse en composantes principales (Annichiarico et Perenzin 1994 ; Oosterom *et al.* 1993).

Ces indices sont calculés comme suit:

- Le calcul de l'indice de sensibilité à la contrainte climatique (S) de Fisher et Maurer (1978) :

$$S = (1 - RDT_{nf}/RDT_f)/(1 - RDT_{NF}/RDT_F) ,$$

avec

S = représente l'indice de sensibilité à la contrainte climatique.

RDT_{nf} = rendement moyen en grains réalisé par la lignée considérée dans l'environnement non favorable à l'expression du potentiel.

RDT_f = rendement moyen en grains réalisé par la lignée considérée dans l'environnement favorable à l'expression du potentiel.

RDT_{NF} = moyenne des rendements en grains réalisés par toutes les lignées soumises à la sélection dans l'environnement non favorable à l'expression du potentiel.

RDT_F = moyenne des rendements en grains réalisés par toutes les lignées soumises à la sélection dans l'environnement favorable à l'expression du potentiel.

- Le calcul de l'indice de supériorité génotypique (P) de Lin et Binns (1985) :

$$P_i = \{\sum (RDT_{ij} - RDT_j)\}^2 / 2n,$$

P_i = représente la supériorité de performance du génotype i.

RDT_{ij} = est la moyenne du rendement en grains du génotype i sur le site j,

RDT_j = représente le meilleur rendement en grains sur le site j,

n = représente le nombre d'environnements testés.

Cet indice prend en considération la performance du meilleur génotype sur chaque site comme un point de référence du potentiel productif du site d'évaluation. L'avantage de son utilisation est qu'il permet de ne pas perdre de vue la productivité qui est l'objectif principal de tout programme de sélection.

La réponse de chaque génotype à la variation environnementale a été déterminée par régression selon la méthode proposée par Eberhart et Russell (1966). L'indice du milieu a été calculé par la différence entre le rendement moyen de toutes lignées dans un lieu et la moyenne générale de tous les lieux tests. Les moyennes du rendement en grains réalisées par chacun des

génotypes soumis à la sélection dans les différents environnements (années) ont été régressées sur les valeurs de l'indice du milieu.

Le modèle de la régression utilisé par Eberhart et Russell (1966) pour décrire la réponse à la variation environnementale a été utilisé. Ce modèle a la forme suivante:

$$Y_{ij} = \mu_i + b_j I_j + \delta_{ij}$$

avec

Y_{ij} = est la moyenne de la lignée i dans l'environnement j .

μ_i = est la moyenne générale de la lignée i des j environnements.

b_j = est le coefficient de régression qui mesure la réponse de la lignée i à la variation des j environnements.

I_j = est l'indice du milieu, il est estimé par la moyenne de toutes les lignées soumises à la sélection dans un environnement donné. Il donne une mesure du potentiel productif de l'environnement de sélection.

δ_{ij} = est la résiduelle de la régression de la lignée i dans le milieu j . Elle est l'estimation de la statistique S^2_{di} qui mesure l'écart entre la réponse prédite par la régression linéaire et la réponse observée. C'est une mesure de l'interaction génotype x milieu spécifique à la lignée évaluée.

L'hypothèse que chaque coefficient de régression (b) est égale à ou différent de l'unité ($b = 1$ vs $b \neq 1$) est testé par un test t , en utilisant l'écart type du b en correspondant:

$$t_{obs} = b/e.t_b \quad (\text{Steel et Torrie, 1980}).$$

La signification de la statistique S^2_{di} est faite par rapport à la résiduelle de l'analyse de la variance des lignées évaluées sur les j environnements (Langer *et al.* 1978).

L'analyse en composantes principales (ACP) présente l'avantage de caractériser un génotype donné par une valeur numérique, liée à un axe donné, représentant un ensemble de caractères qui sont spécifiques à ce génotype. Ces valeurs numériques peuvent être prises comme étant un indice intégrateur de plusieurs caractéristiques génotypes étudiés (Oosterom *et al.* 1993).

RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre III. Résultats et discussion

3-1- Valeurs propres parentales et degré d'expression de l'hétérosis

3-1-1- Etude des hybrides F1 et des lignées parentales

3-1-1-1- Analyse des performances

Un effet génotype significatif est noté pour les caractères mesurés des hybrides et des lignées parentales soumis à l'analyse de la variance (Tableau 5). Les différences entre hybrides et entre parents sont, en partie, d'origine génétique. Les valeurs moyennes prises par les caractères des hybrides sont assez proches de celles notées chez les lignées parentales.

Tableau 5. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des F1 et des lignées parentales

Source	ddl	RDT	NE	PMG	BIO	HT	PVG
Génotypes	58	49824.3**	11844.9**	42.9**	0.23**	77.2**	45.3**
Résiduelle	116	1955.1	340.5	0.76	0.00	11.0	0.78

RDT= rendement en grains (g/m²), NE= nombre d'épis/m², PMG= poids de 1000 grains (g), BIO= biomasse (kg/m²), HT= hauteur de la chaume (cm) et PVG= période végétative (j)

Les 39 hybrides présentent des moyennes voisines de celles des parents qui les ont générés, exception faite pour le nombre d'épis/m² pour lequel les parents s'expriment nettement mieux (Tableaux 6 et 7). Ces résultats concordent avec ceux de Oury *et al.* (1990) qui trouvent que les valeurs maximales prises par l'hybride sont de même ordre de grandeur que celles mesurées chez les parents pour les nombres de grains par m², par épi et pour le poids de 1000 grains. Les lignées parentales présentent, par contre, les plus fortes valeurs pour le nombre d'épis /m².

Le coefficient de variation indique une variabilité relativement plus large chez les hybrides que les parents pour le rendement, le nombre d'épis par unité de surface et la biomasse aérienne (Tableaux 6 et 7). Pour la hauteur et le poids de mille grains les hybrides sont moins variables que leurs parents et présentent le même degré de variabilité phénotypique pour la durée de la phase végétative.

Onze hybrides réalisent une moyenne de rendement égale ou supérieure à celle de la meilleure lignée parentale Arar/Rihane3 qui fait 582,1g/m². Cinq hybrides ont, par contre un rendement équivalent à celui de la lignée parentale la moins productive, Zdm939 qui fait 365,0 g/m². Le meilleur rendement théorique attendu, représenté par le parent moyen, est donné par la combinaison entre Arar/Rihane03 et Lignée527//Bahtim avec 577.7 g/m². Le parent moyen le

moins performant est représenté par la combinaison entre Acsad176 et la lignée Zdm939 avec un rendement de 400,5 g/m².

Tableau –6- Valeurs propres des lignées parentales utilisées en croisement

Parents	RDT	NE	PMG	BIO	HT	PVG
P1=1	582.1	479.0	47.7	2.0	79.7	101.3
P2=3	573.3	466.7	35.2	1.2	61.0	104.0
P3=5	542.1	369.3	44.8	1.3	71.7	105.3
P4=7	503.9	460.0	38.3	1.2	72.3	105.0
P5=9	473.3	392.7	38.0	1.1	66.7	109.0
P6=11	448.0	396.0	35.7	0.9	56.0	103.0
P7=13	550.7	668.7	43.0	1.2	57.0	110.3
P8=14	559.3	450.0	38.0	1.2	64.7	101.7
P9=22	549.3	375.0	43.3	1.2	66.0	107.0
P10=28	434.3	289.0	42.3	0.9	65.7	102.3
P11=30	373.1	350.0	35.0	0.6	62.3	102.3
P12=41	539.0	450.0	37.0	1.2	64.0	100.0
P13=43	491.7	416.0	38.3	1.1	70.0	100.0
P14=45	574.3	367.0	44.0	1.2	65.7	107.7
P15=47	525.3	425.0	35.0	1.1	55.0	115.0
P16=48	554.3	471.3	37.3	1.2	55.3	103.3
P17=50	436.0	441.3	39.3	1.0	60.0	101.0
P18=54	365.0	350.0	36.3	0.9	70.0	103.0
P19=56	451.7	291.0	47.0	1.0	60.7	115.0
P20=58	569.0	433.7	40.3	1.2	67.3	103.0
Moyenne générale	504.8	402.1	39.8	1.1	64.6	104.9
CV	12.9	13.7	9.9	22.6	9.6	4.1
Ppds5%	11.5	4.8	0.2	0.0	0.9	0.2

Quatre hybrides sur les trente neuf analysés, présentent un hétérosis positif par rapport au parent supérieur et ou au parent moyen, pour les six caractères étudiés. Il s'agit de ASP 803/ASP 706, 50-5145/ASP706, Rihane 03/ICB.88-611et ICB.85-225/Deir Alla106. Six hybrides sur les trente neuf présentent un hétérosis positif pour cinq caractères sur six. Il s'agit de ASP803/50-5145, 50-5145/ Kenyan Research belle, CMB 86A-1181C/Acsad 176, Acsad 176/ICB.88-611, Tichedrett/Steptoe et Tichedrett/80-5013.

Six hybrides sur les trente neuf analysés présentent un hétérosis pour quatre caractères sur les six étudiés, il s'agit de Arar/Rihane03//As47/Kitchin, Asp803//Lignée527/Bahtim, Asp803/ Kenya Research Belle, As47/Kitchin//80-5013, As47/Kitchin //Deir Alla 106et Acsad 176/ZDM 939. Quatre hybrides présentent un hétérosis positif pour trois caractères, il s'agit de Pld 10342/ 50-5145, Pld 10342/Asp706, 50-5145/Lignée527 et 50-5145/As47/Kitchin. Le reste des hybrides

présentent un hétérosis positif pour un ou deux caractères. Un seul hybride, As47/Kitchin // Kenya Research Belle, ne représente pas d'hétérosis pour les six caractères étudiés.

Tableau-7- Valeurs moyennes des hybrides (F1) et degré d'hétérosis (h1) en % du parent moyen

Hybrides	RDT	h1(%)	NE	h1(%)	PMG	h1(%)	BIO	h1(%)	HT	h1(%)	PVG	h1(%)
P1/P2	435.5	-24.6	382.0	-19.2	46.0	11.1	0.9	-41.3	66.7	-5.2	104.3	1.6
P1/P3	661.2	17.6	365.0	-13.9	47.3	2.3	1.3	-16.5	75.0	-0.9	102.0	-1.3
P1/P4	674.3	24.2	498.7	6.2	46.3	7.8	1.8	11.0	71.7	-5.7	102.7	-0.5
P1/P5	473.2	-10.3	295.0	-32.3	44.3	3.5	1.0	-33.5	66.7	-8.9	106.3	1.1
P1/P6	369.3	-28.3	289.7	-33.8	42.7	2.4	0.9	-37.8	60.7	-10.6	101.7	-0.5
P1/P7	627.3	-6.9	348.3	-17.8	47.7	5.3	1.1	-33.1	64.0	-6.4	104.0	-1.7
P8/P1	645.0	13.0	391.3	-15.7	44.3	3.5	1.2	-24.3	70.0	-3.0	101.0	-0.5
P8/P2	419.7	-25.9	366.0	-20.1	38.7	5.7	0.9	-24.5	59.3	-5.6	103.7	0.8
P8/P3	435.7	-20.9	380.3	-24.7	41.0	-1.0	0.9	-19.6	64.7	-5.1	105.3	1.8
P8/P4	389.3	-26.8	316.0	-30.5	36.0	-5.7	0.8	-31.2	61.0	-11.0	103.7	0.3
P8/P5	541.7	4.9	460.7	9.3	36.0	-5.3	1.1	0.4	65.0	-1.0	104.0	-1.3
P8/P6	500.0	-0.7	350.0	-17.3	39.0	5.9	1.0	-2.1	60.7	0.6	106.0	3.6
P8/P9	435.0	-21.5	358.7	-13.0	40.0	-1.6	1.0	-19.4	68.3	-4.6	102.7	-1.6
P3/P2	629.0	12.8	450.0	7.7	41.0	2.5	1.2	2.2	65.0	-2.1	103.0	-1.6
P3/P4	519.0	-0.8	325.0	-21.6	39.7	-4.6	1.1	-14.4	66.3	-7.9	105.7	0.5
P3/P5	591.7	16.5	450.0	18.1	41.7	0.6	1.3	11.9	70.0	1.2	106.0	-1.1
P3/P6	579.3	17.0	434.0	13.4	45.3	12.6	1.1	10.0	69.3	8.6	104.7	0.5
P3/P10	576.0	18.0	482.3	46.5	42.0	-3.6	1.3	25.3	65.0	-5.3	108.0	4.0
P3/P11	362.7	-20.7	391.0	8.7	36.7	-8.1	0.8	-5.0	63.3	-5.5	102.0	-1.8
P5/P2	361.7	-30.9	400.0	-6.9	38.0	3.9	0.9	-23.3	55.0	-13.8	112.3	5.5
P5/P4	348.3	-28.7	438.0	2.7	39.0	2.2	0.9	-22.4	68.0	-2.2	107.7	0.6
P5/P6	648.0	40.7	446.7	13.3	45.0	22.2	2.4	141.4	70.0	14.1	113.0	6.6
P5/P10	553.7	22.0	308.7	-9.4	40.0	-0.4	1.2	16.4	70.0	5.8	108.0	2.2
P4/P2	409.3	-24.0	366.0	-21.0	40.3	9.7	0.9	-25.4	60.0	-10.0	106.3	1.3
P4/P6	415.3	-12.7	275.0	-35.7	40.0	8.1	1.0	-8.2	60.7	-5.5	101.7	-2.2
P4/P10	361.3	-23.0	316.0	-15.6	31.0	-23.1	0.8	-29.2	65.0	-5.8	102.3	-1.3
P4/P11	477.0	8.8	334.0	-17.5	36.0	-1.8	1.0	6.6	63.3	-5.9	104.0	0.3
P4/P9	448.3	-14.9	316.0	-24.3	45.3	11.0	0.9	-27.1	70.0	1.2	105.0	-0.9
P4/P7	515.0	-2.3	411.0	-0.8	42.0	3.3	1.2	-5.6	66.7	3.1	111.3	3.4
P12/P13	555.0	7.7	434.0	0.2	41.0	8.9	1.2	9.4	71.7	7.0	100.7	0.7
P12/P7	504.0	-7.4	316.0	-22.8	40.3	0.8	1.1	-10.4	63.3	4.7	104.0	-1.1
P14/P15	445.0	-18.9	292.7	-26.1	46.0	16.5	0.9	-19.9	63.3	5.0	109.7	-1.5
P16/P17	540.3	9.1	433.7	-5.0	41.3	7.8	1.1	2.5	59.7	3.5	103.3	1.1
P16/P7	535.7	-3.0	375.0	-10.7	41.7	3.7	1.2	-3.2	61.0	8.6	106.0	-0.8
P17/P13	525.0	13.2	309.0	-27.9	42.0	8.2	1.1	5.1	69.3	6.7	101.7	1.2
P17/P18	621.3	55.1	350.0	-11.5	41.3	9.3	1.1	11.4	65.0	0.0	101.7	-0.3
P9/P19	630.3	25.9	353.7	6.2	43.3	-4.1	1.3	14.9	66.0	4.2	113.3	2.1
P9/P11	526.0	14.0	351.3	-3.1	43.3	10.6	1.2	29.9	72.7	13.3	112.0	7.0
P20/P7	613.7	9.6	403.0	0.5	45.0	8.0	1.3	3.0	66.7	7.2	111.7	4.7
Moy.G.	507.7		371.5		41.5		1.1		65.5		105.4	
CV	18.5		15.7		8.5		25.1		6.5		3.4	
Ppds5%	11.5		4.8		0.2		0.0		0.9		0.2	

Bouatoura (1975) rapporte que 12 hybrides sur 21 ont un hétérosis significatif et positif, relatif au parent moyen. Dix hybrides seulement montrent un hétérosis positif relatif au parent supérieur. Il rajoute que les génotypes les plus éloignés génétiquement sont ceux qui présentent

l'effet d'hétérosis le plus élevé. Bajawa *et al.* (1986) indiquent que 6 croisements sur 10 ont montré des effets hétérotiques positifs et significatifs et 4 croisements ont des effets hétérotiques non significatifs pour la hauteur du chaume.

3-1-1-2- Analyse des liaisons inter- caractères

Pour réaliser des croisements dans un environnement donné, le sélectionneur cherche des critères pour faciliter le choix des géniteurs candidats au croisement afin d'obtenir des hybrides F1 de bonnes valeurs propres. Ces hybrides doivent se caractériser par un rendement égal ou supérieur à celui des meilleures lignées utilisées en croisements pour faire le meilleur progrès possible en sélection. Les liaisons entre les performances des hybrides et les caractéristiques des parents aident à faire ce choix.

Chez les hybrides comme chez les parents, le rendement est corrélé aux épis et à la biomasse aérienne. Le rendement en grains est corrélé aussi avec le poids de 1000 grains et avec la hauteur du chaume chez les hybrides. La biomasse aérienne et le nombre d'épis sont positivement liés chez les hybrides comme chez les parents. La biomasse est liée positivement avec le poids de 1000 grains et la hauteur chez les populations parentales et hybrides Elle est aussi positivement liée chez les hybrides avec la durée de la phase végétative qui reste indépendante des variables mesurées aussi bien chez les hybrides que chez les parents (Tableau 8).

Plusieurs travaux ont rapporté une forte corrélation entre le rendement en grains et la biomasse aérienne (Sharma et Smith 1986, Sharma 1993, Bouzerzour 1998 et Benmahammed *et al.* 2003) et entre le rendement en grains et le nombre d'épis /m² (Balkema- Boomstra 1988, Benmahammed 1995, Abbassenne *et al.* 1998 et Benmahammed *et al.* 2003). Les résultats de La présente étude concordent aussi avec ceux de Bouzerzour *et al.* (1998a) qui trouvent que la biomasse aérienne et le nombre d'épis/m² sont positivement corrélés. Une biomasse aérienne élevée est donc issue d'une contribution importante du nombre d'épis/m². Cette contribution explique, en partie, la contribution de la biomasse aérienne au rendement en grains.

Un haut rendement chez les hybrides aussi bien que chez les parents est donc la résultante de la production d'une biomasse aérienne et d'un nombre d'épis élevés. Les différences de hauteur des plantes et de poids de 1000 grains contribuent à l'expression des différences de rendement surtout indirectement via la biomasse aérienne. Parmi les caractéristiques mesurées,

celles qui peuvent servir à prédire le rendement sont le nombre d'épis et la biomasse aérienne, comme il se dégage de l'étude des liaisons inter-caractères des hybrides et des parents (Tableau 8).

Tableau 8. Corrélations inter- caractères mesurées chez les hybrides (au dessus de la diagonale, n = 39) et chez les lignées parentales (au dessous de la diagonale, n = 20).

Caractères	RDT	NE	PMG	BIO	HT	PVG
RDT	1.00	0.46**	0.53**	0.74**	0.59**	0.09ns
NE	0.55*	1.00	0.12ns	0.53**	0.23ns	0.13ns
PMG	0.31ns	-0.33ns	1.00	0.45**	0.47**	0.18ns
BIO	0.75**	0.57**	0.51**	1.00	0.49**	0.31*
PHT	0.1ns	0.08ns	0.43ns	0.49*	1.00	0.00ns
PVG	-0.08ns	-0.39ns	0.24ns	-0.03ns	-0.37ns	1.00

ns, *, ** : corrélation non significative, significative au seuil de 5 et 1% respectivement.

A ce sujet Meynard (1987) ainsi que Siddique *et al.* (1990) mentionnent qu'en zones semi-arides, la biomasse aérienne est une caractéristique qui traduit bien la capacité d'un génotype à utiliser au mieux les potentialités du milieu. Bouzerzour *et al.* 1998a trouvent que la précocité, l'indice de récolte et la biomasse aérienne sont des caractères étroitement associés au rendement en grains. Ces caractères interviennent donc directement ou indirectement dans l'élaboration du rendement de l'orge en zone semi-aride. Hsu et Walson (1971) mentionnent, par contre, que le nombre d'épis est la composante la plus déterminante du rendement en grains.

Le rendement de l'hybride est positivement corrélé à l'hétérosis du rendement, de la biomasse, du nombre d'épis/m², du poids de 1000 grains et de la hauteur des plantes, donc à l'hétérosis de tous les caractères contribuant à l'expression de la biomasse aérienne. Le rendement de l'hybride est positivement lié au poids de 1000 grains du parent moyen alors que le degré d'hétérosis est négativement lié au rendement et au nombre d'épis du parent moyen (Tableau 9).

Un rendement élevé chez l'hybride est donc la résultante d'un hétérosis élevé du rendement qui émerge suite à la contribution des caractères mesurés comme la biomasse, le nombre d'épis, le poids de 1000 grains et la hauteur des plantes. Globalement une meilleure expression de l'hétérosis du rendement et de ce fait une meilleure performance de rendement est notée chez les hybrides issus de parents de faibles valeurs propres pour le rendement (Figure 4). Ceci corrobore les résultats de Oury *et al.*, (1990) qui trouvent une relation positive entre le rendement de la F1 d'une part et le rendement du parent moyen ou parent supérieur d'autre part.

Tableau 9 Corrélations entre les performances de l'hybride F1, le degré d'hétérosis du rendement (h1) observé et les caractères mesurés chez les parents (n = 39).

Caractères	RDT F1	RDT h1	RDT h1(%)	Caractères	RDT F1	RDT h1	RDT h1(%)
RDTF1	1.00	0.91**	0.89**	BIOP1	0.13ns	-0.07ns	-0.09ns
RDTP1	0.11ns	-0.18ns	-0.22ns	BIOP2	0.02ns	-0.30ns	-0.31*
RDTP2	-0.05ns	-0.41**	-0.42**	BIOPM	0.12ns	-0.19ns	-0.22ns
RDTPM	0.01ns	-0.40**	-0.42**	BIOh1	0.54**	0.71**	0.71**
NEF1	0.46**	0.40**	0.37*	BIOh1(%)	0.55**	0.70**	0.71**
NEP1	-0.10ns	-0.22ns	-0.22ns	HTF1	0.59**	0.57**	0.54**
NEP2	-0.15ns	-0.33*	-0.33*	HTP1	0.03ns	-0.09ns	-0.12ns
NEPM	-0.17ns	-0.37*	-0.37*	HTP2	0.05ns	0.09ns	0.09ns
NEh1	0.48**	0.53**	0.51**	HTPM	0.06ns	-0.01ns	-0.04ns
NEh1(%)	0.47**	0.51**	0.49**	HTh1	0.51**	0.57**	0.57**
PMGF1	0.53**	0.33*	0.33*	HTh(%)	0.52**	0.57**	0.57**
PMGP1	0.29ns	0.16ns	0.13ns	PVGF1	0.09ns	0.11 ns	0.11 ns
PMGP2	0.23ns	0.11 ns	0.09ns	PVGP1	-0.11ns	0.05ns	0.04ns
PMGPM	0.39*	0.20ns	0.16ns	PVGP2	0.08ns	-0.10ns	-0.10ns
PMGh1	0.29ns	0.22ns	0.25ns	PVGP1M	0.00ns	-0.05ns	-0.06ns
PMGh1(%)	0.29ns	0.23ns	0.26ns	PVGh1	0.13ns	0.20ns	0.22ns
BIOF1	0.74**	0.71**	0.70**	PVGh1(%)	0.13ns	0.20ns	0.22ns

ns, * et ** = coefficient de corrélation non significatif et significatif au seuil de 5 et 1% respectivement dans l'ordre.

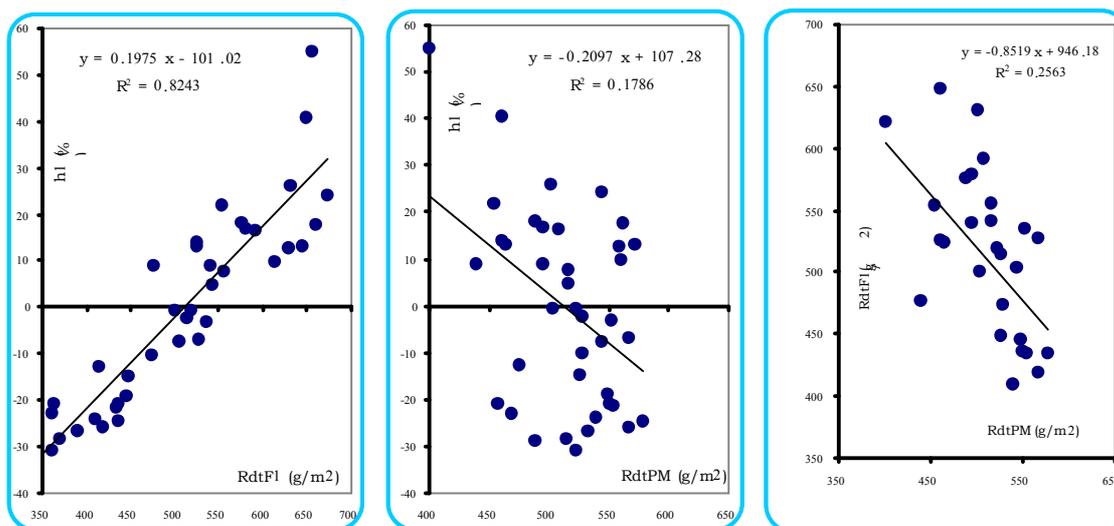


Figure-4- Relations entre le rendement de l'hybride, du parent moyen et le degré d'hétérosis

L'absence de liaisons entre les valeurs qui caractérisent les hybrides et les valeurs propres parentales est une indication que le choix des parents à croiser pour obtenir le meilleur progrès possible est plus complexe, sous les conditions climatiques similaires à celles la présente étude.

faut donc réaliser de nombreux croisements puis ensuite choisir la descendance qui montre le meilleur compromis possible.

3-1-1-3- Régression à parent constant.

L'étude de la descendance des croisements à parents constants indique que dans certaines situations, les valeurs de la descendance sont fonctions de la moyenne des parents qui les génèrent. La régression à parent constant des croisements ayant pour parent Arar/Rihane 03, As47/ Kitchin et ASP803 indique que le rendement de l'hybride F1 s'améliore en fonction de la valeur propre du parent variable (Figure 5). Chez les croisements ayant pour parent constant Pld 10342//cr115 et 50-5145/N-Acc4000-301-80, les performances des hybrides suivent la tendance globale discutée plus haut (Figure 6).

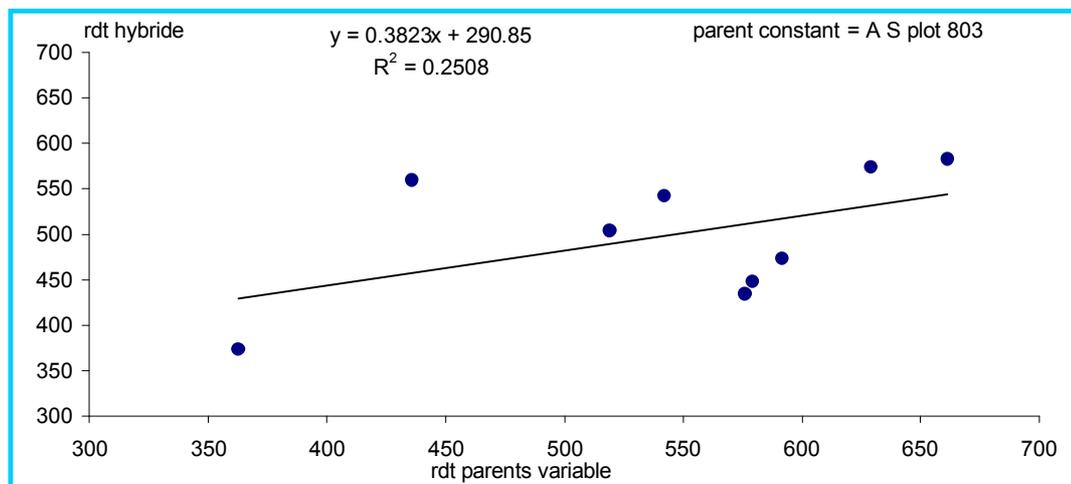


Figure 5. Rendement de l'hybride en fonction de celui du parent variable pour le parent constant ASP803.

Les performances de rendement en grains des hybrides peuvent être prédites de par le comportement des lignées parentales croisées, avec cependant deux possibilités de résultats. Le premier cas indique que la complémentarité des parents pour le rendement est nécessaire pour améliorer le niveau des performances des hybrides F1. Ceci concorde avec les résultats de Picard *et al.* (1992) qui rapportent que 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. Cette complémentarité est le plus souvent liée à la diversité génétique des parents.

Dans le second cas, c'est la divergence des parents pour le rendement qui conditionne les performances des hybrides F1. A ce sujet Morgan *et al.* (1989) ainsi que Oury *et al.* (1990) recommandent de partir de parents qui ont eux mêmes de bonnes valeurs propres (adaptation), pour obtenir des hybrides de bonnes valeurs propres. Cependant cette relation ne permet pas qu'un tri assez grossier des candidats à l'hybridation et il est difficile de prédire le rendement de la F1 à partir des valeurs propres des parents.

Dans tous les cas, les résultats indiquent que ceci ne peut être perçu qu'une fois les croisements sont réalisés. Il reste, de ce fait, très difficile de pouvoir prédire, dans les conditions de la présente expérimentation, le comportement de l'hybride connaissant les performances des lignées parentales candidates au croisement. Il faut donc, dans de telles situations et une fois les croisements réalisés, porter le choix sur les hybrides qui extériorisent le degré d'hétérosis le plus élevé et dans le sens désiré de la sélection.

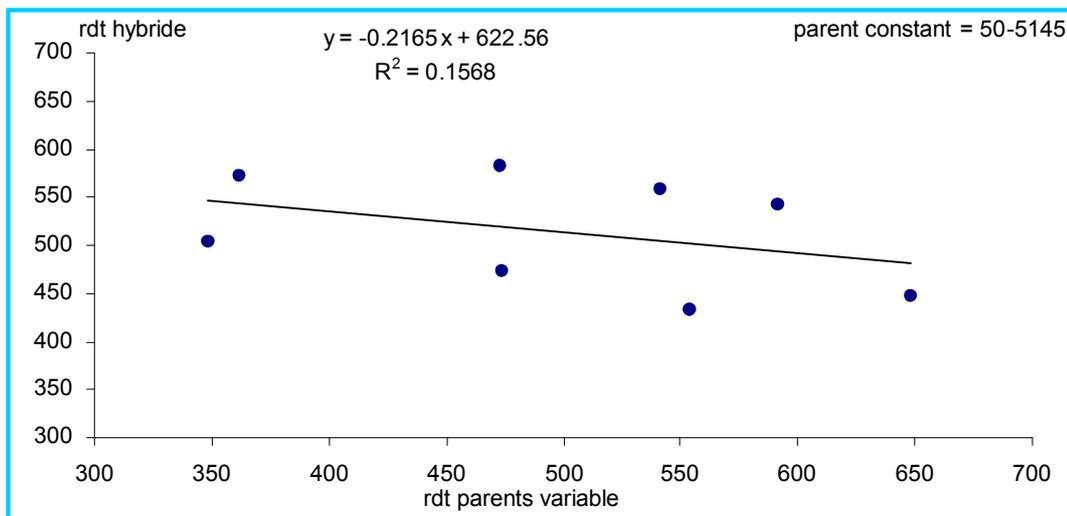


Figure 6. Rendement de l'hybride en fonction de celui du parent variable pour le parent constant 50-5145.

Ceci parce que cet hétérosis, même s'il diminue au cours des générations suivantes suite à l'effet de consanguinité, est indicateur de la présence des gènes qui confèrent un rendement relativement élevé comparativement aux croisements non retenus. Une fois le choix est fait, le degré de ressemblance entre générations devient un facteur déterminant qui conditionne l'efficacité de la sélection. En effet les croisements choisis doivent maintenir, dans des limites acceptables, leurs performances au cours des générations en ségrégations.

3-1-2- Etude des générations F2 et F3

3-1-2-1- Etude des performances et degré d'hétérosis

L'analyse de la variance indique un effet génotype significatif pour les caractères mesurés chez les générations F2, F3 et les lignées parentales (Tableau 10). Le rendement varie en F2 de 391.7 à 1266.0 g/m² et en F3 de 211.0 à 1051.6 g/m². Les valeurs caractéristiques des autres variables mesurées des deux générations sont données au tableau 11. Quinze populations F2 sur les trente neuf, présentent un hétérosis positif qui varie de 0 à 69%

Le reste des F2 présentent un hétérosis négatif qui varie de 0 à -55%. Les combinaisons hybrides qui présentent un hétérosis positif et significatif, par rapport au parent moyen sont AS47/ Kitchin//Lignée527 (69,0%), 50-5145/Lignée527 (68.4%), Tichedrett/ Steptoe (46,9%), ASP803/Lignée527 (28%), Arar/Rihane03//Lignée527 (23.9%), Rihane03/DeirAlla106 (22.8%), Arar/Rihane03//As47/Kichin (19.9%), AS47/Kitchin//Deir Alla106 (13.8%), Arar/Rihane03/50-5145 (12.6%), Acsad 176/ICB.88-611 (11.8%), Rihane03/ICB. 88-611. (10.6%), et Tichedrett/80-5013. (8.9%).

Tableau 10. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des F2, F3 et des lignées parentales.

Source	dll	RDT	NE	PMG	BIO	HT	PVG
Génération F2							
Génotypes	58	112891.6**	102684.8**	24.4**	469589.5**	87.26**	37.3**
Résiduelle	116	2806.8	2645.1	0.6	19380.9	7.6	0.16
Génération F3							
Génotypes	58	117791.5**	93907**	37.2**	618643.5**	162.5**	45.7**
Résiduelle	116	2719.9	2435.4	1.59	9575.59	9.67	0.74

ns, * et ** = coefficient de corrélation non significatif et significatif au seuil de 5 et 1% respectivement dans l'ordre.

Tableau 11. Valeurs moyennes des générations F2 et F3

	RDT	h2(%)	NE	PMG	BIO	HT	PVG
Génération F2							
Max.	1266.0	69.2	1070.0	47.9	2.77	65.3	127.0
Moyenne	759.8		733.4	40.0	1.97	55.1	120.4
Min.	391.7	-55.1	320.0	36.0	1.22	48.0	115.3
Ppds5%	13.8		13.4	0.2	36.2	0.7	0.0
CV%	25.7		25.7	6.4	18.8	6.9	2.3
Génération F3							
Max.	1051.7		966.7	30.7	2.11	64.0	107.0
Moyenne	566.5		498.3	25.8	1.3	50.0	99.2
Min.	211.0		255.0	21.5	0.64	31.0	89.3
Ppds5%	13.6		12.8	0.3	25.4	0.8	0.2
CV%	37.0		36.8	12.3	38.3	13.2	3.8

Les populations F2 qui présentent un hétérosis négatif et significatif, sont ASP803/ASP706 (-55%), Pld 10342/ASP803 (-51%), ASP803/As47/Kitchin (-38%), ASP803/50-5145 (-37%),// Pld10342/Tichedrett (-34,3%), Pld10342//Arar/Rihane03 (-34%), As47/Kitchin//80-5013 (-28%), 50-5145/ASP706 (-27%), As47/Kitchin // ASP706 (-25%), ASP803/Kenya Research Belle (-24, 2%), ASP803 /80-5013 (-24%), et Arar/Rihane03//Deir Alla 106 (-23%) .

3-1-2-2- Analyse des liaisons inter- caractères en F2 et F3

Le rendement en grains est positivement corrélé au nombre d'épis /m² et à la biomasse aérienne, en F2 comme en F3. Ces résultats concordent avec ceux notées en F1. La durée de la phase végétative devient un facteur prépondérant lors des semis des F2 et F3, vu que le rendement est négativement corrélé à la durée de cette phase. La hauteur intervient dans la variation du rendement de la F3 mais pas dans celui de la F2 (Tableau 12).

En F2 le nombre d'épis est positivement lié à la biomasse aérienne. Cette dernière variable est liée positivement à la hauteur et négativement à la durée de la phase végétative. En F3, le nombre d'épis intervient de manière plus importante, puisqu'il est positivement lié à la biomasse et à la hauteur et négativement au poids de 1000 grains et à la durée de la phase végétative. La biomasse intervient aussi en F3 plus qu'en F2. Elle est positivement liée au poids de 1000 grains et à la hauteur et négativement liée à la durée de la phase végétative. Le poids de 1000 grains est négativement corrélé à la durée de la phase végétative en F2 comme en F3 (Tableau 12).

Tableau 12. Corrélations inter- caractères mesurées en F2 (au dessus de la diagonale) et en F3 (au dessous de la diagonale, n = 39).

Caractères	RDT	NE	PMG	BIO	HT	PVG
RDT		0.74**	0.22ns	0.78**	0.09ns	-0.33*
NE	0.88**		0.13ns	0.82**	0.11ns	-0.29ns
PMG	-0.30ns	-0.46**		0.28ns	0.06ns	-0.30ns
BIO	0.96**	0.92**	0.33*		0.51**	-0.32*
PHT	0.68**	0.58**	-0.12ns	0.69**		-0.11ns
PVG	-0.62**	-0.58**	-0.36*	-0.59**	-0.71**	

ns, * et ** = coefficient de corrélation non significatif et significatif au seuil de 5 et 1% respectivement dans l'ordre.

Ces résultats indiquent qu'un meilleur rendement chez les populations F2 aussi bien que chez les F3 est la résultante de la production d'une forte biomasse et d'un nombre élevé d'épis /m². Les liaisons de la biomasse et du nombre d'épis avec les autres caractères varient en fonction des environnements (confondus avec générations). Cette variation des liaisons entre les variables mesurées altère le degré de ressemblance entre apparentés des deux générations successives.

En ce qui concerne le degré d'expression de l'hétérosis en F2 comme en F1, le rendement est positivement corrélé à l'hétérosis du rendement, de la biomasse, du nombre d'épis. Il est négativement corrélé à celui de la durée de la phase végétative en F2. L'expression de l'hétérosis pour le rendement est positivement corrélé aux moyennes de la F2 pour la biomasse, le nombre d'épis et négativement corrélée à la durée de la phase végétative. Elle est positivement corrélé au degré d'expression de l'hétérosis de ces mêmes caractères et négativement corrélé à celui de la durée de la phase végétative (Tableau 13).

L'hétérosis du rendement en F2 est négativement corrélé avec le rendement, le nombre d'épis et la biomasse du parent moyen et positivement lié avec la durée de la phase végétative. Le poids de 1000 grains et la hauteur du parent moyen ne montrent pas de liaisons avec le degré d'hétérosis (Tableau 13). Ces résultats confirment partiellement ceux notés en F1, l'expression d'un hétérosis élevé engendre un rendement élevé, le tout est observé chez des croisements issus des parents aux valeurs propres plutôt moyennes à médiocres.

Tableau 13 - Corrélations entre les performances des F2 et le degré d'hétérosis (h2) observées pour les caractères mesurés (n = 39).

Caractères	RDTF2	RDTh2	RDTh2(%)	Caractères	RDTF2	RDTh2	RDTh2(%)
RDTF2	1.00	0.88**	0.87**	BIOP1	-0.04ns	-0.29ns	-0.29ns
RDTP1	0.08ns	-0.25ns	-0.25ns	BIOP2	-0.12ns	-0.36*	-0.36*
RDTP2	-0.11ns	-0.35*	-0.34*	BIOPM	-0.12ns	-0.50**	-0.51**
RDTPM	-0.01ns	-0.49**	-0.48**	BIOh2	0.68**	0.85**	0.84**
NEF2	0.74**	0.65**	0.63**	BIOh2(%)	0.67**	0.85**	0.86**
NEP1	-0.15ns	-0.40**	-0.39*	HTF2	0.19ns	0.17ns	0.16ns
NEP2	0.03ns	-0.16ns	-0.12ns	HTP1	0.06ns	0.18ns	0.16ns
NEPM	-0.12ns	-0.47**	-0.44**	HTP2	-0.05ns	-0.19ns	-0.19ns
NEh2	0.66**	0.76**	0.73**	HTPM	0.01ns	0.01ns	-0.01ns
NEh2(%)	0.67**	0.75**	0.73**	HTh2	0.20ns	0.18ns	0.18ns
PMGF2	0.22ns	0.22ns	0.18ns	HTh2(%)	0.21ns	0.19ns	0.20ns
PMGP1	0.19ns	0.21ns	0.15ns	PVGF2	-0.34*	-0.33*	-0.31*
PMGP2	-0.01ns	-0.17ns	-0.20ns	PVGP1	0.12ns	0.24ns	0.26ns
PMGPM	0.10ns	-0.01ns	-0.07ns	PVGP2	0.34*	0.48**	0.50**
PMGh2	0.15ns	0.24ns	0.24ns	PVGPM	0.36*	0.55**	0.57**
PMGh2(%)	0.14ns	0.24ns	0.25ns	PVGh2	-0.51**	-0.65**	-0.65**
BIOF2	0.78**	0.71**	0.70**	PVGh2(%)	-0.51**	-0.65**	-0.65**

ns, * et ** = coefficient de corrélation non significatif et significatif au seuil de 5 et 1% respectivement dans l'ordre.

3-1-2-3- Degré de ressemblance entre apparentés et héritabilité

Le degré de ressemblance entre apparentés a été estimé par le coefficient de simple corrélation de rang de Spearman (Steel et Torrie, 1980). Les valeurs prises par ce coefficient sont de 0.0149^{ns} pour la F1 et la F2, -0.1753^{ns} pour la F1 et la F3 et -0.0571^{ns} pour la F2 et la F3. Ces valeurs indiquent le peu de ressemblance entre les différentes générations d'une année à l'autre, probablement suite à l'effet de l'interaction génotype x environnement. Le degré de l'héritabilité mesuré par le coefficient de régression de la descendance sur les parents est de 0.1701 pour la F2 et 0.1345 en F3. Ces faibles valeurs indiquent un effet environnement plus élevé que l'effet génétique dans l'expression de la performance de rendement des différents croisements étudiés.

Les dix meilleurs croisements en moyennes des trois générations sont donnés au tableau 14. Les écarts relatifs au rendement du témoin standard Tichedrett indiquent que ces croisements présentent des capacités de production supérieures à celle du témoin mais cette capacité n'est pas stable. Deux croisements seulement gardent un écart relatif positif quelque soit la génération (Tableau 14).

L'importance de l'interaction génotype x environnement est indiquée par l'analyse de la variance du rendement des lignées parentales des trois années. Testé par rapport à la variance d'interaction, l'effet génotype du rendement n'est pas significatif. En moyenne des trois années les différences entre génotypes ne sont pas significatives et la variance d'interaction est deux fois plus élevée en valeur que la variance génotypique (Tableau 15). La présence d'une variance d'interaction élevée est mise en évidence par la figure 7 qui montre que pour certains génotypes, l'écart de rendement entre années extrêmes est souvent plus élevé que la moyenne de rendement des trois années du génotype concerné.

La présence de l'interaction génotype x environnement significative suggère que les lignées évaluées répondent différemment aux conditions de croissances spécifiques à chaque campagne. L'interaction GxE significative réduit de l'efficacité de la sélection directe sur la base du rendement en grains, ce qui justifie le recours à des méthodes multi-variées pour mieux appréhender le comportement génotypique (Monneveux *et al.* 1993, Bouzerzour et Dekhili, 1995).

Tableau-14- Liste des dix meilleurs croisements classés sur la base de la moyenne de rendement des trois générations et écart relatif au standard Tichedrett en F3

Croisement	Classe*	h1	h2	écart F3
14 P3/P2	30.9	14.5	5.6	19.3
3 P1/P4	30.6	22.7	10.2	-10.9
2 P1/P3	29.6	20.4	-16.6	23.9
36 P17/P18	28.3	13.1	-22.0	44.1
29 P4/P7	28.3	-7.7	8.7	43.5
30 P12/P13	27.3	1.5	10.3	22.5
37 P9/P19	26.9	14.7	26.8	-35.7
11 P8/P5	26.3	-1.4	-25.1	59.5
7 P8/P1	25.9	17.4	-33.9	53.6
35 P17/P13	24.6	-4.4	17.7	-13.5
Tichedrett	témoin	549.3	930.0	532.3
Ppds5%		11.5	13.8	13.6

* = classement sur 39 par génération, 39 le meilleur et 1 le moins bon

Tableau-15- Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance du rendement des lignées parentales pour les trois années.

Source	dll	CMEcarts	Composante de la variation
Année	2	1658634.7**
Génotype	19	81535.1ns	$\sigma^2_G = 431.5$
A x G	38	77651.0**	$\sigma^2_{G \times E} = 788.2$
Résiduelle	118	2364.7	$\sigma^2_G \sigma^2_{G \times E} = 0.54$

ns, * et ** = coefficient de corrélation non significatif et significatif au seuil de 5 et 1% respectivement dans l'ordre

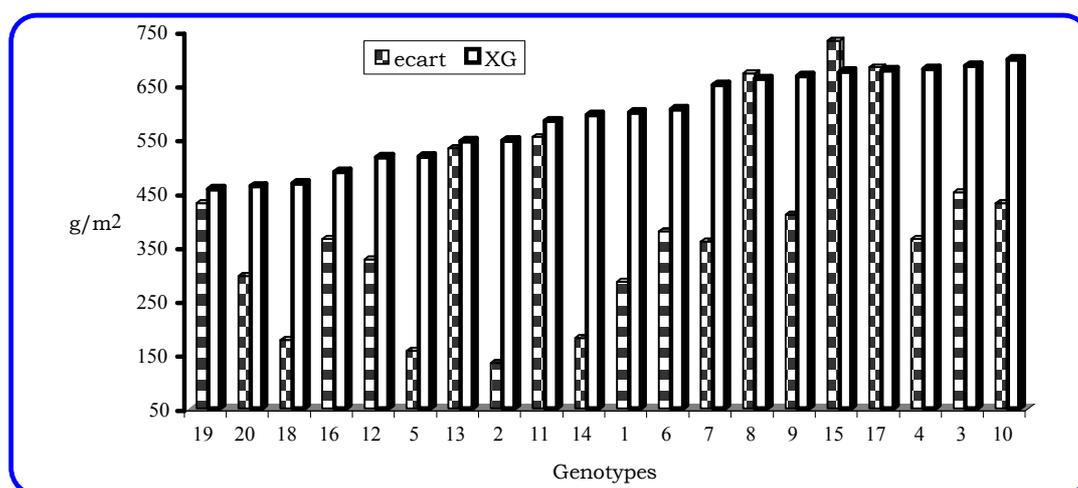


Figure-7- Moyennes génotypiques du rendement des trois années et amplitude entre années extrêmes.

Les moyennes des hybrides comme celles des populations F2 restent indépendantes des écarts entre les valeurs propres parentales des variables mesurées notamment le rendement en grains ($r_{\text{rdt F1}/\text{écart rdt parent}} = 0.031$), la biomasse aérienne ($r = 0.056$), le nombre d'épis ($r = 0.001$), la hauteur du chaume ($r = 0.126$) et la durée de la phase végétative ($r = -0.108$). L'écart entre les valeurs parentales peut être pris comme un indice de dissimilitude entre les parents croisés. La dissimilitude entre les parents ne semble pas donc apte à prédire le comportement de la descendance. La classification hiérarchique des lignées parentales sur la base des moyennes des trois années pour les variables mesurées et la différence entre les moyennes extrêmes (écart) donne quatre groupes homogènes (Tableau 16).

Les meilleurs croisements identifiés sur la base de la moyenne de rendement en grains des trois générations sont issus des lignées parentales appartenant à un même groupe et à des groupes différents. Les parents appartenant à un même groupe sont plus similaires que ceux appartenant à des groupes différents. Ces derniers sont plus divergents. Ces résultats confirment l'information apportée par les corrélations entre l'écart des valeurs des parents et la moyenne des hybrides F1 et des F2. Les performances de la descendance dans le cas de la présente étude sont difficilement prévisibles de par le comportement des lignées parentales dont elle est issue.

Tableau 16. Caractéristiques des groupes homogènes de la classification hiérarchique des parents

Groupe		RDT	NE	PMG	BIO	HT	PVG
<u>Valeurs caractéristiques</u>							
1	moyenne	614.9	538.9	35.6	1.6	58.6	108.8
	écart	377.6	472.1	13.0	1.2	7.9	20.5
2	moyenne	550.6	511.9	34.4	1.3	56.4	107.4
	écart	187.8	200.6	12.1	0.7	8.8	23.7
3	moyenne	545.0	561.9	31.2	1.4	59.9	107.2
	écart	-133.3	-171.3	14.8	-0.1	0.3	26.5
4	moyenne	664.9	599.1	33.4	1.5	50.7	108.5
	écart	681.7	556.7	8.2	1.5	14.0	17.3
<u>Effectif</u>		<u>Génotypes groupés</u>					
1	8	1, 3, 4, 7, 9, 13, 16, 19					
2	7	2, 6, 10, 12, 14, 18, 20					
3	2	5, 11					
4	3	8, 15, 17					

L'amélioration de l'orge dans les zones semi-arides d'altitude algériennes reste très fragmentaire et essentiellement basée sur l'utilisation du matériel végétal introduit des Centres Internationaux de la Recherche Agronomique. Les objectifs fixés au programme d'amélioration sont, en soit, assez clairs. Il s'agit de tenter d'améliorer simultanément le niveau et la régularité

du rendement en grains. La stratégie adoptée pour l'atteinte de tels objectifs reste, cependant, mal identifiée et difficile à mettre en pratique.

Cet état de fait est compliqué par la forte variabilité de l'environnement de sélection et de production qui se caractérise par une multitude de contraintes climatiques qui interviennent, le plus souvent, comme facteurs limitant l'obtention de niveaux acceptables et réguliers de rendement en grains. Ces contraintes sont plus ou moins identifiées (Baldy, 1974; Bouzerzour et Benmahammed, 1994, Benseddik et Benabdelli, 2000), mais les seuils mis en causes et la fréquence des périodes d'avènement restent encore à étudier et à bien préciser.

Le choix des géniteurs à des fins de croisements est, en général, basé sur la valeur des moyennes des caractères que le sélectionneur cherche à améliorer. Les liaisons génétiques entre caractères compliquent souvent la réalisation d'un tel objectif. En effet une source génotypique peut bien présenter un niveau conséquent pour un caractère désirable mais ce dernier est associé à d'autres caractéristiques non désirables.

Le fait d'utiliser cette source en croisement donnerait naissance à une descendance très diluée pour les caractères recherchés et de valeurs propres moins bonnes que la meilleure lignée utilisée en croisement. Cette dilution des caractères à améliorer et l'accumulation de caractères liés non désirables, imposent au sélectionneur de bien choisir les parents à croiser de sorte que certaines sources se prêtent moins bien que d'autres.

La contribution de l'amélioration génétique à l'augmentation du rendement grain reste aussi étroitement liée à la variabilité climatique du milieu de production. Plus la variabilité climatique est élevée, plus le gain génétique est faible et irrégulier (Feyerherm *et al.* 1984, Bouzerzour et Dekhili, 1995, Richards *et al.* 1997). Atkin et Frey (1990) abordent les raisons de l'inefficacité de l'amélioration des céréales, dans les régions qui se caractérisent par une forte fréquence de faibles rendements. Le plus souvent l'amélioration est basée sur l'introduction du matériel végétal, issu de germoplasme développé pour des régions plus favorables et écologiquement différentes de la zone ciblée et donc peu adapté.

Selon Acevedo (1992) pour les milieux peu favorables, l'amélioration du rendement et sa régularité sont mieux approchées suite à la sélection des génotypes sur la base des caractéristiques qui contribuent simultanément à la productivité et à l'adaptation à la variabilité climatique du milieu de production. La productivité, sous conditions contraignantes, est associée à une meilleure capacité de production de la biomasse aérienne, du nombre de grains par unité de

surface, et une vitesse élevée de remplissage du grain (Siddique *et al.* 1990). Le choix des parents à croiser, pour améliorer ces caractéristiques, doit se faire sur la base de ces attributs.

Les résultats de la présente étude indiquent que ces caractères sont soumis le plus souvent, pour leur degré d'expression ou d'inhibition, à l'effet de l'environnement plus qu'à l'effet génétique. Ce qui conduit à peu de similitude pour un même caractère entre deux environnements différents ou entre deux générations successives chez un génotype donné, et ceci pour la majorité des variables mesurables.

Les résultats montrent aussi que pour une même génération F1 ou F2, il y a une forte liaison positive entre le rendement de l'hybride et le degré d'hétérosis du rendement. Ceci est conforme à ce qui est rapporté par Oury *et al.* (1990) qui notent une forte corrélation positive entre le rendement de l'hybride et l'effet d'hétérosis. De même ces auteurs observent une corrélation négative entre l'effet d'hétérosis et la performance du parents moyen, comme notée dans la présente étude. D'où l'on tire la conclusion que les parents de faibles valeurs propres sont ceux qui présentent des niveaux d'hétérosis les plus élevés et il y a une indépendance entre la performance de rendement de l'hybride et celle des parents. Il est donc difficile, d'après ces résultats, de prédire le rendement de l'hybride F1 à partir du rendement des parents.

Les résultats de cette étude s'opposent à ceux rapportés par Morgan *et al.* (1989) qui mettent en évidence une corrélation positive significative entre le rendement de l'hybride et celui du parent supérieur. Les hybrides obtenus à partir de parents ayant de faibles valeurs propres sont donc moins bons que ceux produits avec des parents de bonnes valeurs propres. He Zhong (1991) note aussi que les croisements qui font intervenir deux parents de bonnes valeurs propres, présentent une F1 avec un effet d'hétérosis élevé malgré une faible distance génétique entre les lignées parentales croisées.

Le sélectionneur cherche à réaliser des croisements qui produisent un effet d'hétérosis le plus large possible pour obtenir une grande variabilité génétique. He Zhong (1991) recommande que le choix des parents à croiser doit se faire parmi les génotypes appartenant à différentes classes hiérarchiques et non à la même classe. Selon Schut et Dourleijn (2000), pour générer une forte variabilité génétique, en présence d'effets d'épistasie, il est recommandé de faire des croisements multiples et complexes, suivis de semis de larges populations par génération sur lesquelles des croisements bi-parentales sont à faire. Les résultats de la présente étude sont issues des croisements simples.

3-2- Etude de l'efficacité de la sélection précoce

3-2-1- Réponse à la sélection des épis et de la biomasse aérienne

L'intérêt de la sélection précoce réside dans l'identification, très tôt dans le processus de sélection, des lignées ou familles de lignées, qui sont porteuses d'espoir en matière de ségrégation du point de vue potentiel de production. La pratique de la sélection précoce ne se justifie que si le caractère utilisé comme critère de sélection possède une forte héritabilité et qu'il soit moins sensible aux effets de la variation environnementale. De tels caractères sont en général sous contrôle de gènes majeurs qui se fixent rapidement dès les premières générations en ségrégations.

Dans la présente étude deux caractères ont été utilisés dès la F2 comme critères de sélection, il s'agit du nombre d'épis et de la biomasse aérienne produite par plante au stade maturité. La sélection sur la base du rendement en grains est utilisée comme référence, pour juger de la capacité de ces caractères à amener des changements chez la descendance étudiée pour ces caractères et ceux non pris en compte par la sélection.

3-2-1-1- L'effet moyen génération

L'analyse de variance du nombre d'épis résultant de la sélection faite sur la base des épis/plante et celle de la biomasse aérienne résultant de la sélection faite sur la base de la biomasse aérienne/plante des croisements Alpha/Tichedrett, Saida/Jaidor et Aths/Lignée 686//Rebelle, des générations F3 à la F6, indique un effet générations significatif (Tableau 17).

Tableau. 17 Analyse de la variance du nombre d'épis et de la biomasse aérienne mesurés sur les lignées sélectionnées en F2 sur la base des épis et de la biomasse aérienne chez trois croisements d'orge et évaluées de la F3 à la F6 sur le site expérimental de la station ITGC de Sétif au cours des campagnes 1994/95 à 1997/98.

Source	dll	NE	BIO	NE	BIO	NE	BIO
		Alpha/Tichedrett		Saida/Jaidor		Aths/Lignée686//Rebelle.	
Générations (E)	3	2010608.9**	17.50**	2377415.5**	9.52**	1580525.4**	12.47**
Génotypes (G)	21	89310.7**	0.37 ns	17043.1ns	0.18ns	27420.6 ns	0.56 ns
H vs L	1	277100.1**	1.18ns	18026.7ns	0.44ns	12980.1 ns	0.02ns
GxE	63	46124.4**	0.59**	43382.0**	0.36**	29327.8**	0.37**
HF3 vs LF3	1	280166.7**	1.00**	4001.7ns	0.77**	145041.7**	0.58**
HF4 vs LF4	1	110510.4**	1.23**	89706.7**	0.09ns	40300.4**	0.01ns
HF5 vs LF5	1	72801.7**	0.37**	481.7ns	0.53**	42666.7**	0.08*
HF6 vs LF6	1	6201.7ns	0.29**	426726.7**	0.34**	40560.0**	0.07ns
Résiduelle	174	2896.9	0.01	3123.0	0.03	3428.8	0.02

ns, * et ** = coefficient de corrélation non significatif et significatif au seuil de 5 et 1% respectivement dans l'ordre

L'étude des moyennes des caractères mesurés au cours des différentes générations par croisement indique une forte variation et une évolution dépendante des années (Tableau 18). Il y a une meilleure expression des valeurs génotypiques au cours de la génération F6 chez les trois croisements et pour les deux critères de sélection. Au cours des autres générations, les moyennes génotypiques sont très variables d'un croisement à l'autre et d'une génération à l'autre.

Tableau 18. Moyennes du nombre d'épis/m² et de la biomasse aérienne, en valeurs réelles et en % de celles de Tichedrett mesurées chez les trois croisements étudiées au cours des générations F3 à la F6.

Critère de sélection Génération	NE (/m ²)				BIO (kg/m ²)			
	F3	F4	F5	F6	F3	F4	F5	F6
Alpha/Tichedrett	652	610	541	925	1.9	1.9	1.0	2.2
(%)	227	93	107	132	158	82	72	100
Saida/Jaidor	394	444	406	801	1.8	1.8	1.2	2.1
(%)	141	67	77	104	150	78	87	98
Aths/Lignée686//Rebelle	438	350	422	711	1.9	1.3	1.0	1.9
(%)	151	70	87	111	158	56	73	84
Moyenne (%)	173	70	87	111	155	72	77	94

Pour le nombre d'épis et chez le croisement Alpha/Tichedrett, les moyennes des générations F3 et F4 sont équivalentes et nettement supérieures à la moyenne de la génération F5; alors que chez le croisement Saida/Jaidor, les moyennes des générations F3 à la F5 sont très proches. Par contre chez le croisement Aths/Lignée 686//Rebelle, la moyenne de la génération F3 est égale à celle de la génération F5, alors que la moyenne de la génération F4 est nettement plus faible (Tableau 18).

Pour la biomasse aérienne les générations F3 et F4 des croisements Alpha/ Tichedrett et Saida/Jaidor produisent des moyennes très proches mais relativement plus élevées que celles de la génération F5. Chez le croisement Aths/Lignée 686//Rebelle, la moyenne de la biomasse aérienne produite suit un ordre décroissant de la génération F3 à la génération F5 (Tableau 18).

Cette variation inter-génération est en partie due à l'effet année qui est confondue avec l'effet génération. L'influence de l'environnement sur l'expression génotypique est mieux appréhendée par la variation inter annuelle observée chez les lignées parentales qui sont plus homogènes (Figure 8).

La variation inter-annuelle mise en relief par la figure 8, pour les lignées parentales, attire l'attention sur les valeurs génotypiques seuils à fixer en sélection. L'effet de l'environnement de sélection est, en effet, tel que l'expression du nombre d'épis ou de la biomasse aérienne prend

une valeur maximale donnée dans un environnement, puis revenir à une moyenne équivalente à 25% de cette valeur une autre année (Figure 8). Dans de telles situations la régularité de l'expression génotypique interagit avec le niveau de performance, faussant la sélection basée sur les résultats d'une seule année.

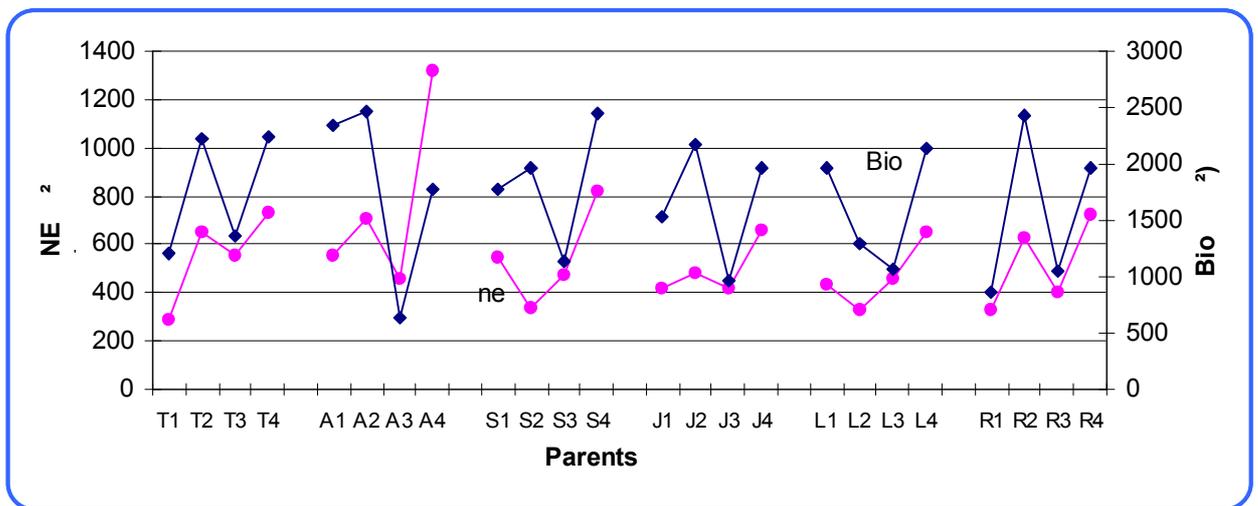


Figure 8. Variation du nombre d'épis/m² et de la biomasse aérienne mesurés chez les lignées parentales suivies au cours des quatre années.

Pour réduire de l'effet environnement et mettre en relief l'effet générations, les moyennes des caractères sélectionnés ont été relativisées par rapport aux valeurs correspondantes de la variété Tichedrett, qui est le témoin local. L'effet génération est confondue avec l'effet année, de ce fait il ne donne une mesure de l'effet de consanguinité que dans le cas où le degré de ressemblance entre années est très élevé. Ceci est rarement vrai puisque la sélection est faite dans un environnement connue par sa forte variabilité climatique intra et inter - annuelle (Bouzerzour et Djekoun, 1996).

La reconversion des valeurs réelles des différentes générations en % de celles de Tichedrett est dépendante de la stabilité de cette variété. Plus cette dernière est stable plus Les différences entre générations ressortent et l'effet année est relativement amoindri. A ce sujet Bouzerzour *et al.* (1996) montrent que Tichedrett et Saida ont des résiduelles de régression les plus faibles comparativement aux nouvelles variétés sélectionnées.

Les moyennes des caractères mesurés, relativisées par rapport à celles de Tichedrett, indiquent une forte dépression des performances génotypiques en fonction des générations. Cette dépression est surtout plus nette entre la F3 et les générations suivantes et pour les deux critères de sélection utilisés. Elle montre l'effet de consanguinité altéré par l'effet année lié à Tichedrett (Figure 9).

Le croisement entre deux lignées pures produit une génération hybride F1 qui se distingue en général par une nette supériorité relativement au parent moyen et parfois par rapport au meilleur parent. Cette supériorité de l'hybride comparativement aux performances des lignées parentales est dite dominance. Elle s'explique par le phénomène de l'hétérosis qui émerge suite à l'harmonie qui s'instaure entre les gènes concernés provenant des sources génotypiques croisées (Benmahammed, 1995).

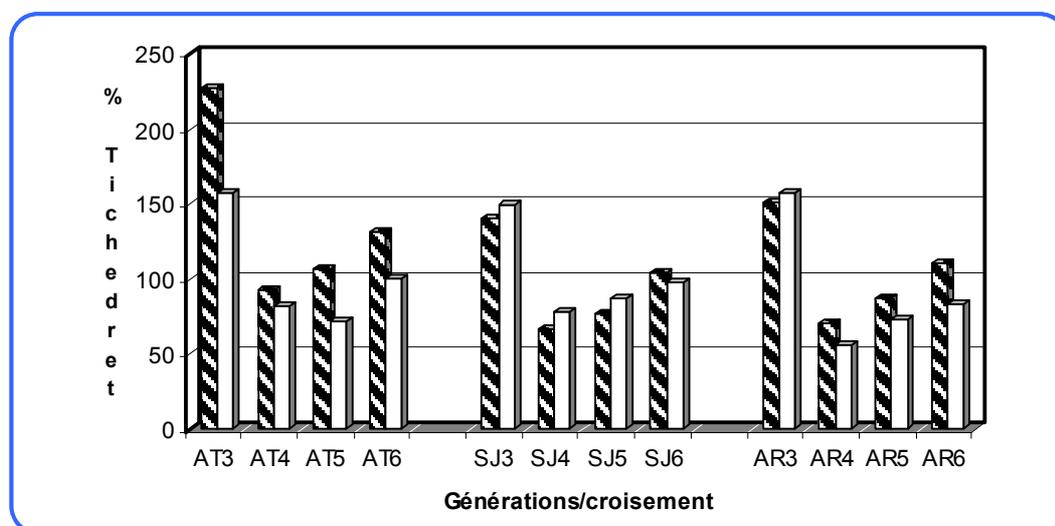


Figure 9. Effet de consanguinité observé pour le nombre d'épis/m² (hachuré) et la biomasse aérienne (blanc) chez les croisements AT = Alpha/Tichedrett, SJ= Saïda/Jaidor et ALR = Aths/Lignée 686//Rebelle, suivis au cours des générations F3 à F6.

En théorie la dominance est réduite de moitié par génération à partir de la F2. La dominance résiduelle, observée en F2, a pour origine des interactions intra alléliques et à des interactions géniques de nature épistasiques. La dominance due à des interactions entre allèles est héritable mais non fixable, parce qu'elle est soumise à la ségrégation. Par contre la dominance, due aux interactions non alléliques de types additive x additive et additive x dominance, est héritable et en partie fixable (Gallais, 1990). La sélection précoce initiée dès la F2, génération qui

présente la plus forte variabilité génétique, cherche à mettre à profit la dominance due aux effets épistatiques favorables et fixables (Briggs et Knowles, 1977).

Le maintien du niveau d'expression du caractère sélectionné en F2, au cours des générations suivantes, permet de quantifier la partie héritable et fixable qui est à l'origine de l'effet d'hétérosis observé. Une dépression significative de la moyenne du caractère sélectionné entre la F2 et les générations suivante est indicatrice que l'effet d'hétérosis observé en F2 est due à des effets géniques non fixables.

La réduction de la dominance observée en F2, chez les générations qui suivent, peut avoir aussi pour origine la dissimilitude entre les mesures faites par plante en F2 et par unité de surface (F3 à F6). En effet le semis espacé adopté pour la génération F2, autorise à penser que la dominance observée est exagérée par l'espace mis à la disposition des plantes. Cette espace crée ainsi un environnement plus que favorable à l'expression du caractère sélectionné. Ces conditions de semis sont très différentes de celles créées par un semis à densité normale où la compétition intervient entre les individus d'une même communauté de plantes (Kervala *et al.* 1991).

Les résultats de la présente étude indiquent que l'effet d'hétérosis s'est relativement maintenu en F3, où il dépasse de 50% la valeur du témoin Tichedrett, chez les trois croisements (Figure 9). Ils indiquent une meilleure similitude entre les valeurs du même caractère mesuré en F2 et en F3. La dominance, significativement réduite en F4 à la F6, suggère que l'hétérosis, observé en F2 (Benmahammed, 1995) et en F3, est en partie due à des interactions intra alléliques. L'effet de ces interactions s'est dissipé par suite des conséquences de la ségrégation et de la méthode de sélection qui diminuent, lors du passage d'une génération à l'autre, de la variabilité génétique qui était disponible en F2.

3-2-1-2- L'effet moyen génotype et la réponse globale à la sélection

L'effet moyen génotype, testé relativement au carré moyen de l'interaction, est significatif pour le nombre d'épis du croisement Alpha/Tichedrett. Il est non significatif pour ce même caractère mesuré chez les deux autres croisements et pour le caractère biomasse aérienne des trois croisements (Tableau 17). L'effet moyen génotype apporte peu d'informations. Les génotypes, évalués au cours des quatre générations successives se caractérisent, en effet par de la ségrégation, différents degrés d'apparentés et de la divergences pour les caractères sélectionnés.

En plus un individu donné, évalué en F3, n'est représenté en F6 que par un échantillon aléatoire de plantes renouvelé au passage d'une génération à l'autre.

L'effet moyen, lorsqu'il est significatif, donne cependant une mesure de la variabilité génotypique qui existe à l'intérieur des sélections faites et de leurs descendances malgré un effet d'interaction génotype x environnement hautement significatif. Le contraste entre les groupes H et L, des 4 générations suivies, n'est significatif que pour le nombre d'épis/m² du croisement Alpha /Tichedrett. Il n'est pas significatif pour la biomasse aérienne des trois croisements (Tableau 17). Ce contraste donne une mesure de la réponse globale à la sélection sur la base des épis et de la biomasse aérienne.

La réponse globale à la sélection sur la base de la biomasse aérienne n'est pas significative alors que la réponse à la sélection des épis/m² ne l'est que pour un croisement sur trois. Une réponse significative et positive indique l'efficacité du critère de sélection utilisé (Tableau 19).

Tableau 19. Réponse globale des épis/m² à la sélection sur la base des épis /plante (F2) du croisement Alpha/Tichedrett (moyenne de 4 générations)

Groupes	génotypes										Moyenne	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
H	moyenne	646.7	781.7	637.5	736.7	839.2	809.2	718.3	655.0	680.0	659.2	716.3
	ordre	12	4	15	6	1	3	7	10	8	11	
L	moyenne	743.3	665.4	573.3	547.5	833.3	607.5	642.5	626.3	640.4	604.2	648.4
	ordre	5	9	19	20	2	17	13	16	14	18	

Cette réponse émerge parce que le caractère utilisé comme critère de sélection est sous contrôle de gènes majeurs qui se fixent rapidement. Ces gènes, sont peu influencés par l'environnement de sélection. La sélection opérée en F2 se répercute en F6. Cependant cette efficacité semble dépendante du type de croisement. La classification des moyennes du nombre d'épis/m² du croisement Alpha/Tichedrett, indique que les meilleures performances reviennent le plus souvent chez les individus du groupe H, avec 7 sur 10 qui se classent dans les 10 premiers rangs (Tableau 19).

3-2-2- L'interaction G x E et la réponse à la sélection par génération.

L'interaction génotype x environnement est significative pour les caractères utilisés comme critères de sélection chez les trois croisements. C'est une interaction moyenne pour l'ensemble des génotypes sélectionnés, quelque soit leur groupe d'appartenance ou génération. Elle indique, cependant une variation génotypique spécifique à chaque génération. La réponse à la sélection doit donc, de ce fait, être étudiée par génération.

La réponse à la sélection par génération est significative pour le nombre d'épis/m², de la F3 à la F5 et non significative en F6, chez le croisement Alpha/ Tichedrett. Elle est significative de la F3 à la F6 chez le croisement Aths/Lignée 686//Rebelle et variable d'une génération à l'autre chez le croisement Saida/Jaidor (Tableau 20).

Pour la biomasse aérienne, la réponse à la sélection, est significative de la F3 à la F6 chez le croisement Alpha / Tichedrett et variable d'une génération à l'autre chez les deux autres croisements (Tableau 19). Cette variabilité de réponse d'une génération à l'autre est causée par les interactions G x E observées.

Tableau 20. Valeurs moyennes prises par les critères de sélection chez les groupes divergents (H et L) des générations F3 à la F6 et réponse à la sélection par génération (RS) .

Croisements		Alpha/Tichedrett		Saida/Jaidor		Aths/Lignée686//Rebelle	
Génération	Groupes	NE	BIO	NE	BIO	NE	BIO
F3	H	720,7	2,1	402,5	1,9	388,5	1,8
	L	584,0	1,8	386,2	1,7	486,8	2,0
	RS	+136,7**	+0,3**	+16,3ns	+0,2**	-98,3**	-0,2**
F4	H	653,0	2,1	482,5	1,8	376,2	1,3
	L	567,2	1,8	405,2	1,8	324,3	1,3
	RS	+85,8**	+0,3**	+77,3**	+0,0ns	+52,9**	-0,0ns
F5	H	576,3	1,1	408,7	1,3	448,7	1,1
	L	506,7	0,9	403,0	1,1	395,3	1,0
	RS	+60,6*	+0,2**	+5,7ns	+0,2**	+53,4**	+0,1*
F6	H	915,3	2,1	717,0	2,1	736,7	1,98
	L	935,7	2,2	885,7	2,2	684,7	1,92
	RS	-20,0ns	-0,1**	-168,7**	-0,1**	+52,0**	+0,1ns

ns, *, ** = effet non significatif, significatifs au seuil 5 et 1% selon le contraste H vs L.

NE : nombre d'épis/m² et Bio : biomasse en kg/m²

Utilisant le nombre d'épis/plante comme critère de sélection en F2, la réponse est positive en F3, F4 et F5 du croisement Alpha/Tichedrett. Elle est positive en F4 puis négative en F6 du croisement Saida/Jaidor. Elle est négative en F3 puis positive en F4, F5 et F6 du croisement Aths/Lignée 686//Rebelle (Tableau 20).

Lorsque la sélection est faite sur la base de la biomasse aérienne, la réponse chez le croisement Alpha/Tichedrett est similaire à celle basée sur les épis. Elle est positive en F3 et en F5 et négative en F6 du croisement Saida/Jaidor. Elle est négative en F3 du croisement Aths/Lignée 686//Rebelle (Tableau 20).

Ces résultats montrent que lorsque la réponse est significative, elle change de signe en fonction des générations et des croisements. Ceci est valable pour les deux critères de la sélection, initiée dès la F2 sur des plantes conduites en semis espacé. La réponse la plus intéressante, en sélection précoce, est celle que présente la dernière génération obtenue avant le passage aux essais comparatifs du rendement en grains. La réponse à la sélection spécifique à la F6, montre l'inefficacité des critères nombre d'épis et biomasse aérienne chez les croisements Alpha/Tichedrett et Saida/Jaidor. Chez le croisement Aths/Lignée 686//Rebelle, le nombre d'épis s'est montré efficace alors que la biomasse aérienne l'est moins (Tableau 20).

3-2-2-1- Variation intra- groupe

La réponse à la sélection est calculée par la différence entre les groupes divergents. La réponse globale à la sélection par génération ne reflète pas fidèlement le comportement de tous les génotypes suivis. Elle peut être biaisée par les plus sensibles d'entre eux.

Les individus sélectionnés en F2 sur la base des deux critères de sélection changent de groupe d'appartenance d'une génération à l'autre (Tableau 21). Pour le nombre d'épis/m² le nombre de génotypes qui se maintient dans le groupe d'origine (groupe H) varie de 50% à 70% chez Alpha/Tichedrett, de 40 à 60% chez Saida/Jaidor et de 10 à 70% chez le troisième croisement. Pour la biomasse aérienne, ce nombre varie de 40 à 70% pour le croisement Alpha/Tichedrett, de 30 à 80% chez Saida/Jaidor et de 40 à 60% chez Aths/Lignée 686//Rebelle (Tableau 21).

L'inefficacité de la sélection précoce sur la base des épis/m² ou sur la base de la biomasse aérienne a pour origine la variation observée chez plus de 50 % des individus sélectionnés. Pour espérer retrouver un nombre donné de génotypes au cours de la génération suivante, il faut soit doubler le taux de sélection ou bien réduire de moitié de l'intensité de la sélection. Tenant compte de la pdds du nombre d'épis/m², le nombre de génotypes qui changent de groupe d'origine, varie de 30% chez Aths/Lignée 686//Rebelle à 50% chez Alpha/Tichedrett et de 70% Saida/Jaidor.

Pour la biomasse aérienne, ils varient de 50% chez Saida/Jaidor à 60% chez Aths/Lignée 686//Rebelle et de 70% chez Alpha/Tichedrett. De ce point de vue la sélection sur la base des épis se révèle relativement plus efficace que celle basée sur la biomasse aérienne. Ces résultats donnent une mesure du taux de sélection qu'il faut exercer en F2 pour avoir au moins un nombre donné de lignées qui répondent à la sélection.

Tableau 21. Ecarts par rapport à la moyenne générale des moyennes observées chez les génotypes constituant les groupes H et L.

Génération	Génotypes										écarts ^a
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<u>Critère de sélection: nombre d'épis/m²</u>											
<u>Alpha/Tichedrett (Ppds5% = 88,8 épis/m²)</u>											
F3	-92.3*	-79.3ns	-112*	178*	258*	278*	-36ns	-102*	131*	161*	5/5
F4	-40ns	133*	-47ns	23ns	73ns	60ns	163*	100*	-64ns	26ns	7/3
F5	-85ns	189*	-58ns	22ns	132*	122*	79ns	-78ns	65ns	-38ns	6/4
F6	74.5ns	154.5*	38.5ns	-5.5ns	64.5ns	48.5ns	-61.5ns	-28.5ns	-141.5*	-241.5*	5/5
<u>Saida/Jaidor (Ppds5% = 92,2 épis/m²)</u>											
F3	145.6*	-139.3*	35.6ns	-29.3ns	65.6ns	40.6ns	30.6ns	5.6ns	-54.3ns	-19.3ns	6/5
F4	-13.8ns	0.2ns	6.2ns	-73.8ns	183.2*	201.2*	-37.8ns	-83.8ns	33.2ns	173.2*	6/4
F5	41ns	104*	24ns	-96*	-49ns	-12ns	88ns	-76ns	-56ns	61ns	5/5
F6	-158*	125*	-215*	-2.0ns	28ns	38ns	-188*	15ns	-245*	-245*	4/5
<u>Aths/Lignée 686//Rebelle (Ppds5% = 96.6)</u>											
F3	-37.6ns	-32.6ns	32.6ns	-42.6ns	-52.6ns	-47.6ns	-27.6ns	-17.6ns	-77.6ns	-122.6*	1/10
F4	-10.2ns	39.7ns	23.7ns	83.7ns	-96.2ns	49.7ns	133.7*	-21.2ns	-36.2ns	96.7*	6/4
F5	61ns	-79ns	-63ns	84ns	54ns	14ns	121*	14ns	64ns	-9ns	7/3
F6	296*	-121*	42ns	-87ns	22ns	122*	-101*	19ns	102*	-37ns	6/4
<u>Critère de sélection: biomasse aérienne</u>											
<u>Alpha/Tichedrett (Ppds5% = 0,18 kg/m²)</u>											
F3	-0.5*	-0.6*	0.6*	-0.3*	0.7*	-0.5*	-0.1ns	0.3*	1.4*	0.4*	5/5
F4	0.1ns	0.1ns	0.4*	0.3*	0.2ns	0.1ns	0.8*	-0.1ns	-0.3*	-0.2*	7/3
F5	0.1ns	-0.0ns	-0.3ns	-0.2ns	0.4*	0.2ns	0.0ns	-0.2ns	0.5*	0.1ns	6/4
F6	-0.2*	-0.1ns	-0.5*	0.0ns	0.3*	-0.3*	0.2*	0.3*	-0.1ns	-0.3*	4/6
<u>Saida/Jaidor (Ppds5% = 0,3 kg/m²)</u>											
F3	-0.2ns	0.0ns	0.3*	-0.6*	0.3*	0.1ns	0.4*	0.2ns	0.0ns	0.5*	8/2
F4	0.1ns	0.8*	-0.3*	-0.2ns	-0.1ns	0.1ns	0.3*	-0.0ns	-0.3ns	0.1ns	5/5
F5	0.0ns	0.0ns	0.6*	-0.3*	-0.2ns	0.5*	-0.1ns	-0.0ns	0.7*	-0.1ns	5/5
F6	0.4*	0.4*	-0.0ns	0.2ns	-0.2ns	-0.5*	-0.4*	-0.1ns	-0.2ns	-0.4*	3/7
<u>Aths/Lignée 686//Rebelle (Ppds5% = 0,25 kg/m²)</u>											
F3	-0.4*	-0.5*	0.1ns	-0.7*	0.3*	-0.5*	0.5*	0.63*	-0.10ns	-0.3*	4/6
F4	0.1ns	-0.2ns	0.1ns	-0.4*	0.2ns	0.2ns	-0.4*	0.14ns	0.04ns	-0.1ns	6/4
F5	0.0ns	0.1ns	0.1ns	-0.1ns	-0.0ns	-0.2ns	-0.2ns	0.19ns	0.20ns	0.3*	6/4
F6	-0.1ns	-0.2ns	0.0ns	0.2ns	0.7*	-0.1ns	-0.3*	-0.06ns	0.49*	-0.4*	4/6

ns, *, ** = effet non significatif, significatif au seuil de 5 et 1 % respectivement.

a: nombre de génotypes du groupe H avec écarts positifs/négatifs.

Ces différences de réponse à la sélection s'expliquent par le fait que le nombre d'épis/m² est sous un contrôle génétique relativement moins complexe. Ce caractère ne dépend en fait que de

la phénologie de la plante (Berger et Planchon, 1990). La biomasse aérienne, par contre, est la résultante de plusieurs autres caractères tels que la hauteur, la phénologie, le nombre d'épis, le nombre de grains par épi et la poids de 1000 grains. Ce caractère se montre plus variable en fonction des environnements, parce qu'il est sous contrôle polygénique. Il est donc plus soumis aux interactions G x E (Austin *et al.* 1980; Boukerou et Rasmusson, 1990; Bouzerzour *et al.* 1998b).

3-2-2-2- Corrélations inter- générations et héritabilité au sens étroit.

La corrélation phénotypique entre les différentes générations n'est significative qu'entre les F3/F6 du croisement Saida/Jaidor pour le nombre d'épis/m² et entre les F4/F6 du croisement Aths/Lignée 686//Rebelle pour la biomasse aérienne (Tableau 22). Pour que la sélection soit efficace, il est nécessaire que les corrélations entre les générations F3/F4, F4/F5 et F5/F6 soient significatives et positives. Les résultats montrent que les corrélations ne sont significatives qu'entre la descendance et les grands parents et pour certains croisements.

Tableau 22. Corrélations inter-génération (r) et degré d'héritabilité au sens étroit des deux critères de sélection, calculées pour les différentes générations suivies.

Croisements	Génération	F3	F4	F5	h ² ns
<u>Nombre d'épis/m²</u>					
Alpha/Tichdrett	F4	0.415ns			F4/F3 = 0.4152*
	F5	0.421ns	0.421ns		F5/F4 = 0.4215*
	F6	-0.118ns	0.378ns	0.253ns	F6/F5 = 0.2534ns
Saida/Jaidor	F4	0.167ns			F4/F3 = 0.1671ns
	F5	-0.182ns	-0.044ns		F5/F4 = -0.0441ns
	F6	-0.522*	-0.278ns	-0.167ns	F6/F5 = -0.1675ns
Aths/Lignée 686//Rebelle	F4	-0.178ns			F4/F3 = -0.1781ns
	F5	-0.023ns	0.418ns		F5/F4 = 0.4177*
	F6	-0.074ns	-0.114ns	0.253ns	F6/F5 = 0.2531ns
<u>Biomasse aérienne</u>					
Alpha/Tichdrett	F4	-0.215ns			F4/F3 = -0.2153ns
	F5	0.250ns	-0.105ns		F5/F4 = -0.1053ns
	F6	-0.358ns	0.119ns	0.041ns	F6/F5 = 0.0409ns
Saida/Jaidor	F4	-0.112ns			F4/F3 = -0.1121ns
	F5	0.004ns	-0.188ns		F5/F4 = -0.1877ns
	F6	-0.335ns	-0.094ns	-0.128ns	F6/F5 = -0.1277ns
Aths/Lignée 686//Rebelle	F4	0.221ns			F4/F3 = 0.2205ns
	F5	0.143ns	0.390ns		F5/F4 = 0.3895ns
	F6	0.144ns	0.590**	0.414ns	F6/F5 = 0.4140*

ns, *, ** = effet non significatif, significatif au seuil de 5 et 1 % respectivement

Les conditions de croissance qui ont prévalu à l'expression du critère de sélection, changent d'une génération à la suivante. Ces changements affectent le degré de ressemblance des lignées

apparentées au cours des différentes générations. L'héritabilité au sens étroit (h^2_{ns}), n'est significative que pour le nombre d'épis des générations F4 et F5 de Alpha/Tichedrett et de la F5 de Aths/Lignée 686//Rebelle. L'héritabilité au sens étroit de la biomasse aérienne est significative pour la F6 de Aths/Lignée 686//Rebelle. L'héritabilité est nulle chez les autres générations (Tableau 22).

Le degré d'héritabilité au sens étroit donne une mesure de la part génétique qui est transmise des parents à la descendance. En théorie, plus cette part est élevée plus il y a une meilleure ressemblance entre apparentés. Les faibles valeurs observées dans la présente étude confirment le changement de groupe d'origine des génotypes sélectionnés, et de ce fait le peu de ressemblance entre générations successives.

La sélection précoce sur la base d'un caractère donné est généralement tentée pour améliorer ce caractère lui même et indirectement d'autres caractères qui lui sont liés. Le degré d'efficacité du caractère pris comme critère de sélection peut être expliqué par la variation des caractères liés, non contrôlée par la sélection. De ce fait l'étude des réponses corrélatives doit être conduite pour identifier les caractères mis en cause.

3-3-Réponse du rendement à la sélection directe et sur la base des variables liées.

L'analyse du rendement en grains des lignées sélectionnées en F2 sur la base des épis, de la biomasse et du rendement, des croisements étudiés, de la F3 à la F6, indique un effet génération et une interaction génotype x année significatifs (Tableau 23). Ces résultats montrent que le rendement change en fonction des générations. Il est donc nécessaire d'étudier les réponses directes et corrélatives à la sélection par génération.

La réponse corrélative du rendement à la sélection des épis est significative de la F3 à la F6 chez Alpha/Tichedrett et Aths/Lignée686//Rebelle, et en F3 et F4 chez Saida/Jaidor. La réponse corrélative du rendement à la sélection de la biomasse est significative en F3, F4 et F5 chez Alpha/Tichedrett, en F3 et F5 chez Saida/Jaidor et en F3 et F6 chez Aths/Lignée 686//Rebelle. La réponse à la sélection directe est significative de la F3 à la F5 chez Alpha/Tichedrett, en F5 et F6 chez Saida/Jaidor et de la F3 à la F6 chez Aths/Lignée 686//rebelle (Tableau 24).

Tableau 23. Analyse de la variance du rendement en grains mesurés sur les lignées sélectionnées en F2 sur la base des épis, de la biomasse aérienne et du rendement en grains chez trois croisements d'orge et évaluées de la F3 à la F6 sur le site expérimental de la station ITGC de Sétif au cours des campagnes agricoles 1994/95 à 1997/98.

Source de variation	ddl	Alpha/Tichedrett	Saida/Jaidor	Aths/Lig//Rebelle
<u>Critère de sélection nombre d'épis</u>				
Générations (E)	3	3546338.2**	2161250.3**	1234850.0**
Génotypes (G)	21	60764.8ns	35993.9ns	13667.3ns
H vs L	1	41659.4ns	103621.4ns	1914.8ns
GxE	63	74727.6**	65476.0**	94622.3**
HF3 vs LF3	1	282769.3**	157491.3**	567453.8**
HF4 vs LF4	1	137281.7**	109653.8**	20906.7**
HF5 vs LF5	1	9102.0*	4100.3ns	143374.8*
HF6 vs LF6	1	158929.2**	21968.8ns	100851.9**
Résiduelle	174	2535.5	6466.6	5063.6
<u>Critère de sélection biomasse</u>				
Générations (E)	3	3313346.0**	1321487.0**	2344112.7**
Génotypes (G)	21	52644.5ns	44360.8ns	139293.7ns
H vs L	1	366437.6ns	222479.5ns	29.4ns
GxE	63	106622.8**	82261.0**	101867.0**
HF3 vs LF3	1	288842.8**	224848.8**	242824.8**
HF4 vs LF4	1	251553.8**	15.0ns	13923.3ns
HF5 vs LF5	1	65802.8**	242062.0**	19404.0ns
HF6 vs LF6	1	7196.4ns	359.2ns	232628.5**
Résiduelle	174	2932.6	5999.6	5843.4
<u>Critère de sélection rendement en grains.</u>				
Générations (E)	3	2417112.0**	1343394.9**	1719623.4**
Génotypes (G)	21	74180.0ns	91887.9ns	139925.9ns
H vs L	1	257199.2ns	255636.3ns	31051.4ns
GxE	63	82234.6**	65728.7**	114334.1**
HF3 vs LF3	1	38658.8**	22080.0ns	396418.8**
HF4 vs LF4	1	95600.4**	3681.7ns	139587.3**
HF5 vs LF5	1	332866.0**	322080.3**	87096.6**
HF6 vs LF6	1	4687.0ns	54952.2**	126509.5**
Résiduelle	174	2641.2	6330.9	5550.9

ns, *, ** = effet non significatif et significatif au seuil de 5 et 1 % respectivement.

La réponse corrélative du rendement à la sélection des épis est positive en F3 et F4 chez Alpha/ Tichedrett et Saida/ Jaidor et en F4, F5 et F6 chez Aths/Lignée 686//Rebelle. Elle est négative en F5 et en F6 chez Alpha/Tichedrett et en F3 chez Aths/Lignée686// Rebelle (Tableau 24).La réponse corrélative du rendement à la sélection de la biomasse est positive de la F3 à la F5 chez Alpha/Tichedrett, en F3 et en F5 chez Saida/Jaidor et en F6 chez Aths/Lignée 686//Rebelle.

Elle est négative, en F3 chez Aths/Lignée 686//Rebelle. La réponse directe du rendement est positive de la F3 à la F5 chez Alpha/Tichedrett, en F5 et F6 chez Saida/Jaidor et Aths/Lignée 686//Rebelle. Elle est négative en F3 et F4 chez Aths/Lignée 686//Rebelle (Tableau 24).

Tableau 24. Réponses corrélatives et directe du rendement en grains à la sélection faite sur la base des épis, de la biomasse aérienne et du rendement en grains.

Génération		Alpha/Tichedrett			Saïda/Jaidor			Aths/Lignée686//Rebelle		
		NE	BIO	RDT	NE	BIO	RDT	NE	BIO	RDT
F3	H	1033.1	1023.5		950.8	886.8		659.0	826.6	
	L	895.8	884.7		748.3	764.3		853.5	953.8	
	RC	137.3**	138.8**	50.7**	202.5**	122.5**	38.4ns	-194.5**	-127.2**	-126.6**
F4	H	877.3	916.2		982.0	894.3		598.3	564.5	
	L	781.7	786.7		896.5	895.3		561.0	595.0	
	RC	95.7**	129.5**	79.8**	85.5**	-1.0ns	15.7ns	37.3**	-30.5ns	-96.5**
F5	H	390.5	455.6		503.6	640.1		509.6	475.7	
	L	415.2	389.4		487.1	513.1		411.8	439.8	
	RC	-24.6*	66.2**	149.0**	16.5ns	127.0**	146.5**	97.8*	35.9ns	76.2**
F6	H	696.9	736.8		710.3	679.7		780.5	864.8	
	L	799.9	758.7		748.5	684.5		698.5	740.3	
	RC	-102.9**	-2.1ns	-17.6ns	-38.3ns	-4.8ns	60.5**	82.0**	124.5**	91.9**

ns, *, ** = effet non significatif, significatifs au seuil 5 et 1% selon le contraste H vs L.

Ces résultats montrent que la réponse directe et corrélative du rendement est variable d'une génération à l'autre et d'un croisement à l'autre. Quelque soit le caractère pris comme critère de sélection, la sélection précoce est peu efficace dans les environnements qui se caractérisent par des interactions GxE. Les causes explicatives d'une telle inefficacité sont:

- la réduction de la dominance de la F2 à la génération F6.
- l'effet de la ségrégation qui est opérante chez les générations suivies.
- la taille de l'échantillon pris lors du passage d'une génération à l'autre.
- la sélection mono caractère.
- le degré de compétitivité entre individus (adaptation vs productivité).
- le type de sélection mis en œuvre (bulk).
- les interactions G x E.

3-4-Pourquoi la sélection précoce des épis ou de la biomasse aérienne est elle peu efficace?

Le peu d'efficacité de la sélection précoce vient du fait que les génotypes classés dans un groupe selon le critère de sélection, changent de groupe d'origine selon les générations. Ce comportement ne s'explique que si l'on considère que les génotypes classés dans un même groupe, diffèrent pour d'autres caractéristiques non prises en compte par la sélection pratiquée. Ces caractéristiques, ou du moins leur niveau d'expression changent en fonction des conditions de

croissance permises par l'environnement de sélection. Elles induisent un changement dans la classification des géotypes concernés.

Les liaisons phénotypiques du nombre d'épis/m² avec les autres caractères mesurés sont variables et fonction des croisements et des générations. Celles liants le nombre d'épis/m² à l'indice de récolte et au degré de précocité sont non significatives chez les quatre générations des trois croisements. Les corrélations avec le poids de 1000 grains et la hauteur des plantes sont le plus souvent non significatives. Lorsqu'elles atteignent le seuil de signification, elles sont positives.

Le nombre de grains par épi montre des liaisons souvent négatives, alors que le rendement et la biomasse, au contraire, sont dans la plus part des cas, positivement corrélés à ce critère de sélection (Tableau 25). Les liaisons positives du nombre épis/m² avec le rendement sont donc par celles qui le lient avec le nombre de grains par épi, la hauteur, le poids de 1000 grains et la biomasse. Ces dernières sont variables en valeurs et signes.

L'étude des corrélations génétiques et environnementales indique que les liaisons phénotypiques entre le nombre d'épis/m² et le rendement, d'une part et entre le nombre d'épis/m² et la biomasse d'autre part, sont d'origines aussi bien génétiques qu'environnementales. Les effets de l'environnement agissent dans le même sens que les effets génétiques. Il est donc difficile de faire la part du génétique de celle qui est due à l'environnement dans les relations entre ces caractères.

Les liaisons génétiques du nombre d'épis/m² avec le degré de précocité, l'indice de récolte, le poids de 1000 grains et la hauteur de paille sont variables en valeurs et signes. Les corrélations environnementales de ces caractères sont le plus souvent non significatives. Les corrélations phénotypiques sont donc le reflet de la variabilité génotypique (Tableau 25).

Les corrélations génétique et environnementale entre du nombre d'épis/m² avec le nombre de grains par épi sont le plus souvent négatives. Elles indiquent que les effets génétiques peuvent être exagérés par les effets environnementaux. Toute amélioration du nombre d'épis par unité de surface s'accompagne le plus souvent par des effets de compensation négatifs du nombre de grains par épi (Tableau 25).

Tableau 25. Corrélations phénotypiques, génotypiques et environnementales du nombre d'épis aux caractères mesurés par génération chez les trois croisements étudiés.

Génération			NE	NGE	PMG	RDT	BIO	HT	HI	PVG
X1	F3	p	1.00	-0.62**	0.58**	0.58**	0.66**	0.20ns	-0.24ns	-0.19ns
		G	1.00	-0.64**	0.59**	0.58**	0.67**	0.25ns	-0.04ns	-0.20ns
		E	1.00	-0.19ns	0.17ns	0.52*	0.34ns	-0.13ns	0.31ns	-0.15ns
	F4	p	1.00	-0.66**	-0.04ns	0.10ns	0.41ns	-0.23ns	-0.38ns	-0.21ns
		G	1.00	-0.66**	-0.04ns	0.10ns	0.42ns	-0.25ns	-0.39ns	-0.24ns
		E	1.00	-0.60**	0.09ns	0.03ns	0.14ns	-0.08ns	-0.02ns	-0.19ns
	F5	p	1.00	-0.14ns	0.32ns	0.40ns	0.48*	0.31ns	0.16ns	-0.12ns
		G	1.00	-0.14ns	0.34ns	0.41ns	0.49*	0.35ns	0.16ns	-0.12ns
		E	1.00	-0.25ns	0.14ns	0.42ns	0.61**	0.02ns	0.16ns	-0.08ns
	F6	p	1.00	-0.38ns	-0.05ns	-0.01ns	0.23ns	-0.15ns	-0.28ns	0.13ns
		G	1.00	-0.39ns	-0.07ns	-0.07ns	0.22ns	-0.19ns	-0.34ns	0.15ns
		E	1.00	-0.40ns	0.16ns	0.47*	0.31ns	0.08ns	0.20ns	-0.08ns
X2	F3	p	1.00	0.02ns	-0.21ns	0.72**	0.69**	0.62**	0.23ns	0.33ns
		G	1.00	0.01ns	-0.24ns	0.70**	0.68**	0.69**	0.15ns	0.36ns
		E	1.00	0.08ns	0.05ns	0.79**	0.68**	0.18ns	0.03ns	0.02ns
	F4	p	1.00	-0.43ns	-0.26ns	0.68**	0.70**	0.64**	0.20ns	-0.42ns
		G	1.00	-0.43ns	-0.26ns	0.70**	0.72**	0.67**	0.26ns	-0.42ns
		E	1.00	-0.47*	-0.48*	0.03ns	0.43ns	0.01ns	0.43ns	-0.01ns
	F5	p	1.00	-0.62**	-0.07ns	0.35ns	0.50*	0.11ns	-0.24ns	-0.44ns
		G	1.00	0.34ns	-0.01ns	0.31ns	0.47*	0.06ns	-0.27ns	-0.55*
		E	1.00	-0.59**	0.24ns	0.62**	0.61**	0.24ns	-0.15ns	-0.04ns
	F6	p	1.00	-0.12ns	-0.18ns	0.76**	0.82**	-0.39ns	0.12ns	-0.01ns
		G	1.00	-0.07ns	-0.22ns	0.78**	0.86**	-0.43ns	0.09ns	-0.02ns
		E	1.00	0.40ns	-0.04ns	0.55*	0.43ns	0.07ns	0.40ns	0.11ns
X3	F3	p	1.00	0.26ns	0.32ns	0.93**	0.89**	0.46*	0.34ns	0.22ns
		G	1.00	0.26ns	0.34ns	0.94**	0.90**	0.49*	0.31ns	0.24ns
		E	1.00	0.17ns	0.03ns	0.73**	0.42ns	0.47*	0.72**	-0.31ns
	F4	p	1.00	-0.35ns	0.35ns	0.68**	0.65**	0.17ns	0.43ns	0.25ns
		G	1.00	-0.34ns	0.35ns	0.69**	0.75**	0.24ns	0.11ns	0.25ns
		E	1.00	-0.65**	0.18ns	0.59**	0.46*	0.15ns	0.18ns	0.27ns
	F5	p	1.00	0.12ns	0.52*	0.78**	0.81**	0.51*	0.34ns	-0.01ns
		G	1.00	0.10ns	0.65**	0.83**	0.83**	0.75**	0.48*	-0.03ns
		E	1.00	0.25ns	0.05ns	0.70**	0.69**	0.19ns	0.09ns	0.10ns
	F6	p	1.00	-0.19ns	-0.27ns	0.86**	0.88**	0.32ns	0.11ns	-0.12ns
		G	1.00	-0.25ns	-0.18ns	0.88**	0.92**	0.48*	-0.05ns	0.12ns
		E	1.00	0.09ns	0.05ns	0.69**	0.52*	0.06ns	0.28ns	0.13ns

ns, *, ** = effet non significatif et significatif au seuil de 5 et 1 % respectivement.

X1 : Alpha/Tichedrett, X2: Saida/Jaidor et X3: Aths/Lignée 686//Rebelle

Dans le cas où la biomasse est prise comme critère de sélection, l'étude des corrélations montre que ces liaisons phénotypiques sont positives avec les épis/m² et le rendement, quelque soit le croisement et la génération. Sa liaison avec la hauteur est souvent positive et significative alors qu'elle est parfois non significative avec le nombre de grains par épi, la durée de la phase végétative, le poids de 1000 grains et l'indice de récolte. Lorsqu'elle atteint le seuil de signification, elle est de signe positive avec le nombre de grains par épi et avec le poids de 1000 grains et négative avec l'indice de récolte (Tableau 26).

Les corrélations génétiques qui lient la biomasse aux épis/m² et au rendement sont positives et significatives dans 11 cas sur les 12 étudiés. Les corrélations environnementales correspondantes sont positives et significatives dans 7 cas sur 12 en ce qui concerne la liaison avec le rendement en grains est seulement dans 4 cas sur 12 pour la liaison avec le nombre d'épis/m² (Tableau 26).

Tableau 26. Corrélations phénotypiques, génotypiques et environnementales liants le critère de sélection biomasse aérienne aux caractères mesurés par génération chez les trois croisements étudiés.

Génération		NE	NGE	PMG	RDT	BIO	HT	HI	PVG	
X1	F3	p	0.72**	-0.15ns	0.52**	0.94**	1.00	0.40ns	-0.59**	-0.05ns
		G	0.73**	-0.15ns	0.55**	0.95**	1.00	0.60**	-0.62**	0.05ns
		E	0.01ns	-0.11ns	0.11ns	0.40ns	1.00	0.09ns	-0.33ns	0.13ns
	F4	p	0.53*	-0.23ns	0.38ns	0.61**	1.00	0.19ns	-0.46*	-0.27ns
		G	0.54**	-0.24ns	0.39ns	0.62**	1.00	0.22ns	-0.46*	-0.29ns
		E	0.02ns	0.17ns	-0.20ns	0.35ns	1.00	-0.06ns	-0.38ns	-0.23ns
	F5	p	0.79**	0.36ns	0.355ns	0.96**	1.00	0.78**	0.39ns	-0.31ns
		G	0.74**	0.34ns	0.34ns	0.96**	1.00	0.93**	0.43ns	-0.31ns
		E	0.20ns	0.49*	0.47ns	0.75**	1.00	0.54*	-0.04ns	-0.23ns
	F6	p	0.49*	0.176ns	0.06ns	0.56*	1.00	0.50*	-0.46*	0.44*
		G	0.53*	0.17ns	0.05ns	0.56*	1.00	0.52*	-0.48*	0.50*
		E	0.22ns	0.24ns	0.14ns	0.53*-	1.00	0.26ns	-0.16ns	-0.06ns
X2	F3	p	0.77**	0.41ns	0.29ns	0.91**	1.00	0.55*	-0.10ns	-0.11ns
		G	0.79**	0.22ns	0.31ns	0.92**	1.00	0.61**	-0.08ns	-0.12ns
		E	0.59**	0.35ns	0.17ns	0.90**	1.00	0.15ns	-0.21ns	0.00ns
	F4	p	0.46*	0.17ns	-0.09ns	0.78**	1.00	0.39ns	0.12ns	-0.32ns
		G	0.52*	0.17ns	-0.09ns	0.80**	1.00	0.42ns	0.16ns	-0.33ns
		E	-0.09ns	0.16ns	-0.11ns	0.37ns	1.00	-0.20ns	-0.41ns	-0.04ns
	F5	p	0.80**	0.48*	0.17ns	0.97**	1.00	0.84**	0.22ns	-0.30ns
		G	0.81**	0.53*	0.17ns	0.98**	1.00	1.06**	0.28ns	-0.30ns
		E	0.73**	-0.00ns	0.09ns	0.89**	1.00	0.63**	-0.29ns	-0.34ns
	F6	p	0.81**	0.09ns	0.02ns	0.81**	1.00	-0.44ns	-0.41ns	-0.16ns
		G	0.85**	0.12ns	-0.15ns	0.49*	1.00	0.57*	-0.52*	-0.14ns
		E	0.41ns	-0.03ns	0.31ns	0.61**	1.00	0.01ns	0.17ns	-0.42ns
X3	F3	p	0.65**	0.657**	0.46*	0.94**	1.00	0.528*	0.12ns	0.01ns
		G	0.15ns	0.16ns	0.10ns	0.22ns	1.00	0.13ns	0.03ns	0.01ns
		E	0.57*	0.21ns	0.56*	0.86**	1.00	0.33ns	-0.24ns	-0.46ns
	F4	p	0.58**	0.23ns	0.34ns	0.69**	1.00	0.56*	-0.03ns	0.22ns
		G	0.59**	0.23ns	0.37ns	0.71**	1.00	0.67**	0.06ns	0.22ns
		E	0.39ns	0.05ns	-0.13ns	0.16ns	1.00	0.17ns	-0.77**	0.14ns
	F5	p	0.62**	0.66**	0.37ns	0.97**	1.00	0.78**	0.12ns	0.05ns
		G	0.66**	0.70**	0.37ns	0.98**	1.00	1.11**	0.13ns	0.05ns
		E	0.63**	0.17ns	0.36ns	0.78**	1.00	0.39ns	0.14ns	0.07ns
	F6	p	0.76**	0.29ns	0.22ns	0.78**	1.00	0.15ns	0.01ns	0.64**
		G	0.85**	0.32ns	-0.26ns	0.84**	1.00	-0.18ns	0.04ns	0.66**
		E	0.26ns	0.04ns	-0.01ns	0.18ns	1.00	--	-0.11ns	0.16ns

ns, *, ** = effet non significatif et significatif au seuil de 5 et 1 % respectivement.

Ces résultats indiquent que l'environnement affecte les liaisons génétiques entre le rendement et la biomasse aérienne. Les effets environnementaux et génétiques agissent dans le même sens, rendant la sélection sur la base de ce caractère très complexe. L'effet génétique peut être en effet, exagéré par l'effet de l'environnement de sélection. Les effets de l'environnement de sélection sur la liaison entre la biomasse et le nombre d'épis/m² sont comparativement moindre. Ils sont, néanmoins, souvent significatifs, compliquant les liaisons de la biomasse avec le rendement.

Les corrélations génétiques entre la hauteur, le poids de 1000 grains, et le nombre de grains par épi avec la biomasse sont positives et significatives dans plus de 50% des cas (Tableau 26). Ces trois caractères, contribuent positivement à l'amélioration de la biomasse dans le cas où la variabilité génétique est disponible.

Il est possible que la réponse de la biomasse à la sélection soit non significative si l'environnement de production ne permet pas l'expression de la contribution de ces caractères à la réalisation de la biomasse. Les corrélations génétiques qui lient la biomasse aérienne à l'indice de récolte et au degré de précocité sont variables valeurs et signes. Les corrélations environnementales sont négatives. Elles indiquent, que les effets génétiques positifs de l'amélioration de l'indice de récolte et de l'allongement de la durée de la phase végétative sur la biomasse sont contrebalancés par des effets négatifs de l'environnement de sélection. Ceci explique, en partie le peu d'efficacité de la sélection sur la base de la biomasse.

Ces résultats montrent que les effets du nombre d'épis/m² et de la biomasse sur le rendement en grains quoiqu'en général positifs, sont dépendant des valeurs prises par le nombre de grains par épi, la hauteur des plantes et le poids de 1000 grains. Ces derniers contribuent directement à la réalisation du rendement et indirectement via la durée de la phase végétative.

Les résultats de l'étude des quatre générations discutées ci-dessus indiquent le peu d'efficacité de la sélection précoce débutée en F2, de par les réponses mesurées en F3, F4, F5 et F6 des lignées dérivées. La question se pose alors de savoir comment sélectionner sous climat variable?

⇒ Faut-il retarder la sélection pour le rendement en grains, caractère complexe, jusqu'à l'obtention d'un matériel plus homogène?

⇒ Faut-il chercher d'autres caractères plus liés au rendement en grains et qui soient moins sensibles à la variation environnementale mise en cause dans l'efficacité de la sélection sous de telles conditions?

⇒ Faut-il sélectionner un matériel végétal plus avancé en utilisant comme critère de sélection des indices qui combinent un ensemble de phénomènes morpho-physiologiques intégrateur du comportement global de la plante?

Lorsque la sélection précoce est peu efficace, l'alternative est de conduire les croisements réalisés selon la méthode bulk-modifiée, en sélectionnant sur la base des caractères qui possèdent une héritabilité élevée. La sélection pour le rendement en grains ne débute qu'à partir des essais comparatifs. Ceci n'est possible qu'à partir de la F4 - F5 voire plus tardivement, lorsque les quantités de semences deviennent assez conséquentes pour réaliser des répétitions. Les 180 génotypes dérivés de la F2, issus des trois croisements plus leurs parents peuvent être considérés comme étant issus d'un tel processus de sélection. La sélection pour l'adaptation et la productivité sur la base des indices est conduite en utilisant un tel matériel plus avancé.

3-5- Etude de l'efficacité de la sélection retardée sur la base des indices.

En présence d'interactions génotype x environnement, la sélection précoce directe et encore moins celle indirecte sur la base des caractères liés s'est révélée peu efficace pour améliorer le rendement, finalité de tout processus de sélection. Dans de telles situations, il faut alors accorder plus d'attention aux caractères qui contribuent à une meilleure adaptation à l'environnement de production, sans toutefois perdre de vue les aspects liés à la productivité. L'adaptation générale génère une moindre variation des valeurs prises par certaines caractéristiques comme la hauteur des plantes (Nachit et Jarrah, 1986), la fertilité des épis (Sphiler et Blum, 1991) et le poids de 1000 grains (Hadjichristodoulou, 1987; Blum et Pnuel, 1990).

La hauteur des plantes, dans des environnements non favorables, participe au rendement, alors que la capacité génotypique de minimiser la variation du poids de 1000 grains et du nombre de grains par épi réduit de la variation du rendement. La variation de la durée du cycle de développement de la plante et surtout celle de la durée de la phase végétative est avantageuse dans les situations où la variété grâce à sa sensibilité aux degrés-jours accumulés échappe aux stress de fin de cycle (Oosterom *et al.* 1993).

Elle est désavantageuse dans les cas où cette sensibilité augmente les risques liés aux basses températures printanières (Bouzerzour *et al.* 1998a). La sélection dans de telles situations doit prendre en charge la combinaison de plusieurs caractéristiques ensemble. Certaines de ces caractéristiques sont le plus souvent, négativement corrélées, de sorte qu'en cherchant à agir sur l'une on agit indirectement sur l'autre et dans le sens qui n'est pas toujours celui désirable en sélection (Brabant *et al.* 1989, Bouzerzour, 1998, Benmahammed *et al.* 2003). La construction des indices a été initiée justement pour prendre en charge de telles problèmes (Pesek et Baker, 1970).

L'utilisation des indices est cependant limitée par les difficultés liées à leur construction (Miller *et al.* 1978). Mekhlouf (1998) ainsi que Benmahammed *et al.* (2003) ont utilisé des variantes d'index pour sélectionner sur la base d'une combinaison de caractères. Ils aboutissent à de faibles gains de rendement en grains, mais obtiennent cependant une plus grande maîtrise de la variation inter-environnements des caractères composant l'index de sélection. Ces auteurs attirent

l'attention sur les effets du premier caractère entrant la combinaison et sur le poids à donner à chacun des caractères utilisés.

Pour contourner les difficultés liées à la mise en œuvre d'un index (Miller *et al.* 1978), Fisher et Maurer (1978) proposèrent l'utilisation d'un indice plus simple à calculer certes, mais dans les fondements biologiques restent difficilement explicables. Cet indice S, dit indice de sensibilité à la contrainte, exprime le comportement globale de la plante vis à vis de la variation des stress. Ce comportement révèle le plus souvent des capacités génétiques dont les causes ne sont pas traçables directement à un phénomène biologique donné. Plusieurs stratégies, telles que l'esquive, la capacité à maintenir un état hydrique satisfaisant sous stress et l'ajustement osmotique sont à l'origine (Clarke *et al.* 1992, Sayre *et al.* 1997; Donmez *et al.* 2002).

La technique de la régression conjointe, introduite par Finlay et Wilkinson (1963) est très utilisée pour évaluer la réponse globale d'une lignée à la variation environnementale. Cette technique est applicable lorsque l'analyse de variance se révèle inadaptée, suite aux effets significatifs de l'interaction génotype x environnement (Baker 1969, Lin *et al.* 1986, Annicchiarico et Perinzi, 1994).

L'introduction, plus récente, du modèle AMMI (Additive Main effect and Multiplicative Interaction) semble apporter plus de progrès par rapport à cette technique, Cependant la régression conjointe reste très utilisée à cause de sa simplicité de mise en œuvre (Crossa *et al.* 1990, Nachit *et al.* 1992, Yau 1995, Atlin *et al.* 2000, Ebdon et Gauch, 2002,).

Lin et Binns (1985) proposèrent l'utilisation d'un indice P qui lie le rendement d'un génotype donné au rendement du meilleur génotype de chaque environnement échantillonné. L'indice P a l'avantage de minimiser la perte de gains de rendement réalisable sur chaque site, lorsqu'on tente de sélectionner pour l'adaptation. L'analyse en composantes principales (ACP) présente, l'avantage de caractériser un génotype par une valeur numérique, liée à un axe, représentant un ensemble de caractères qui sont spécifiques à ce génotype. Ces valeurs numériques peuvent être prises comme étant un indice intégrateur de plusieurs caractéristiques des génotypes étudiés (Oosterom *et al.* 1993, Benmahammed *et al.* 2003).

3-5-1-Sélection sur la base de l'indice S.

Les valeurs prises par l'indice S des 180 lignées- F7, dérivées de la F2 des trois croisements, valeurs calculées en utilisant les données des générations plus avancées, varient de 0,48 à 1,37. La moyenne est de 1,05 et le coefficient de variation est de 17,6%. L'indice S est corrélé significativement avec la moyenne des rendements des quatre générations ($r = 0,318$, Prob < 1%). Il est corrélé aussi avec le rendement de l'environnement favorable ($r = 0,617$, Prob < 1%), avec celui de l'environnement le moins favorable ($r = - 0,763$, Prob < 1%) et avec la différence de rendement des environnements extrêmes ($r = 0,763$, Prob < 1%).

Gavuzzi *et al.* (1993) rapportent que l'indice S est corrélé négativement avec le rendement en grains, alors que Bouzerzour *et al.* (2000) trouvent une corrélation non significative entre l'indice S et le rendement en grains. Ce qui indique que la variation des valeurs de cet indice reste indépendante des performances des génotypes sélectionnés. Il est possible dans ce cas de sélectionner des génotypes à haut rendement ayant des valeurs de S désirables.

La sélection de fortes valeurs de S identifie des génotypes capables de réaliser de hauts rendements dans les environnements favorables, alors que la sélection de faibles valeurs de S améliore le rendement en milieux contraignants. La première est associée à la sensibilité à la variation environnementale alors que la seconde, en minimisant les écarts de rendement entre sites extrêmes, intègre la tolérance vis à vis des stress abiotiques (Tableau 27).

Bruckner *et al* (1987) considèrent que les génotypes qui ont de faibles valeurs de S sont plus tolérants des stress, parce qu'ils minimisent la réduction de rendement sous contraintes hydriques et thermiques. Clarke *et al.* (1992) mentionnent aussi que la sélection sur la base de faibles valeurs de l'indice S réduirait le rendement dans les environnements favorables, de la même manière que le ferait la sélection pour la tolérance. L'utilisation de l'indice S en sélection n'est donc acceptable que si l'objectif est de privilégier l'adaptation au milieu au détriment de la performance de rendement en grains.

L'écart de rendement entre les moyennes des sélections extrêmes faites sur la base du S est trop grand. Il limite de l'emploi de cet indice qui ne concilie pas haut rendement et adaptation. L'utilisation du S ne serait adéquate que dans les environnements où la variation inter-sites reste acceptable. Dans ce cas il faut accepter le sacrifice d'un manque à gagner en rendement au profit de la stabilité de la production plus prioritaire.

L'indice S mesure la perte relative de rendement d'un génotype, en passant d'un site favorable à un site moins favorable, par rapport à la perte moyenne enregistrée chez l'ensemble des génotypes auxquels il est comparé. Cet indice ne tient donc pas compte des capacités génétiques de rendement. Une lignée, pouvant faire de meilleurs rendements sur sites favorable et non favorable, peut avoir une valeur du S égale à celle d'une autre lignée qui produit moins sur sites favorable et non favorable.

A valeurs S égales, il faut donc sélectionner les génotypes à haut rendement. Clarke *et al.* (1992) mentionnent que la sélection sur la base de faibles valeurs de S réduirait le rendement dans les environnements favorables. Ils rajoutent que l'indice S ne discrimine pas entre la tolérance au stress et la capacité de répondre à l'amélioration de l'environnement de production.

Lorsque la sélection est faite sur la base de faibles valeurs de S, comme c'est le cas dans la recherche de l'adaptation, cet indice devient sensible aux faibles rendements observés. Ces faibles rendements peuvent émerger suite aux faibles capacités génétiques et non pas suite à la sensibilité du génotype à la variation environnementale. Dans ce cas l'utilisation de cet indice en sélection conduit au choix de lignées aux capacités de rendements médiocres. Pfeiffer (1993) note aussi que lorsque la sélection pour l'adaptation est faite exclusivement sous stress, elle conduit à la sélection des génotypes médiocres du point de vue productivité.

Tableau 27. Moyennes des rendements des groupes, de cinq génotypes chaque, sélectionnés sur la base des indices.

Indices	RDT _H	RDT _L	RDT _X	X _{indice}
	<i>Sélection pour l'adaptation.</i>			
S _L	33.3	22.7	27.9	0.51
P _H	33.9	23.9	28.5	1539.3
b<1	33.3	22.7	27.9	0.74
PCA1 (-)	33.3	22.7	27.6	-5.3.
	<i>Sélection pour la productivité.</i>			
b>1	80.4	23.0	51.6	1.25
PCA1 (+)	80.4	16.5	48.1	3.6
P _L	77.9	22.9	51.6	153.3
S _H	68.3	10.5	39.3	1.34
PCA2 (-)	69.2	22.5	45.4	-2.6
PCA3(-)	60.1	13.1	39.2	-3.5
	<i>Sélection pour l'adaptation et la productivité.</i>			
b=1	56.8	16.5	39.6	1.00
σ ² di _L	56.2	20.2	41.5	10.4
PCA2 (+)	50.2	18.4	37.1	4.4
PCA3 (+)	55.9	25.1	45.2	2.7
S _{Tichedrett}	60.8	17.5	41.1	1.14
X _{Tichedrett}	66,6	18.7	42.6	1.13

L, H = faible et forte valeurs de l'indice., X = moyenne du caractère

Cette situation peut être gérée en utilisant le témoin de référence qui situe le seuil d'adaptation désiré. L'utilisation du S doit donc intervenir à ce seuil, tout en cherchant à lui associé des rendements plus élevés. Dans la présente étude Tichedrett est pris comme témoin de référence. La sélection de lignées avec des valeurs de S équivalentes à celle de Tichedrett mais avec des rendements supérieurs, évite de sélectionner des génotypes avec des capacités de production trop mauvaises, mais qui sont aussi bien adaptés que Tichedrett (Tableau 27).

3-5-2- Sélection sur la base de l'indice P

Les valeurs prises par l'indice P varient de 67,6 à 1672,1. La moyenne de 698,8 et le coefficient de variation est de 44,5%. Les valeurs prises par P sont négativement corrélées à la moyenne de rendement de l'environnement favorable ($r = -0,792^{**}$), à la moyenne de rendement des quatre environnements ($r = -0,895^{**}$) et non corrélées au rendement de l'environnement le moins favorable ($r = 0,139_{ns}$).

La sélection sur la base de faibles valeurs P identifie donc des lignées performantes sur les sites favorables (Tableau 27). Bouzerzour *et al.* (2000) trouvent que l'indice P est négativement corrélé au rendement en grains. Ils suggèrent que la sélection pour de faibles valeurs de l'indice P aboutit à l'augmentation du rendement. Le peu de liaisons, entre les valeurs de P et les rendements de l'environnement moins favorable, montre que P n'est pas efficace dans l'identification des lignées performantes dans de tels environnements et donc adaptées aux stress. La sélection de fortes valeurs de P identifie des lignées qui diffèrent peu du point de vue rendement des lignées issues de la sélection de faibles valeurs du S.

Les lignées issues de la sélection de faible valeurs de P sont nettement meilleures en production sur les sites extrêmes que celles issues de la sélection de fortes valeurs S (Tableau 27). Les lignées issues de la sélection de faibles valeurs de P produisent autant que celles issues de la sélection de faibles valeurs de S, sur le site contraignant (Tableau 27). P semble donc plus apte à identifier des lignées performantes et adaptées. En effet ces sélections valorisent les sites permettant l'expression du potentiel, et minimisent l'écart de rendement entre sites extrêmes.

L'utilisation de l'indice P répond au souci de sélectionner des lignées qui soient assez régulières sur l'ensemble des environnements testés et en même temps qui ne s'éloignent pas trop du point de vue rendement du meilleur génotype propre à chaque environnement. Les faibles

valeurs du P sont celles qui minimisent la perte de rendement en grains sur chaque environnement par rapport au meilleur génotype du lieu. Les valeurs P et S sont négativement corrélées ($r = -0,502$; Prob. < 1%), indiquant que la sélection pour de faibles ou fortes valeurs d'un indice est similaire à la tendance de la sélection sur la base des valeurs opposées de l'autre indice (Figure 10).

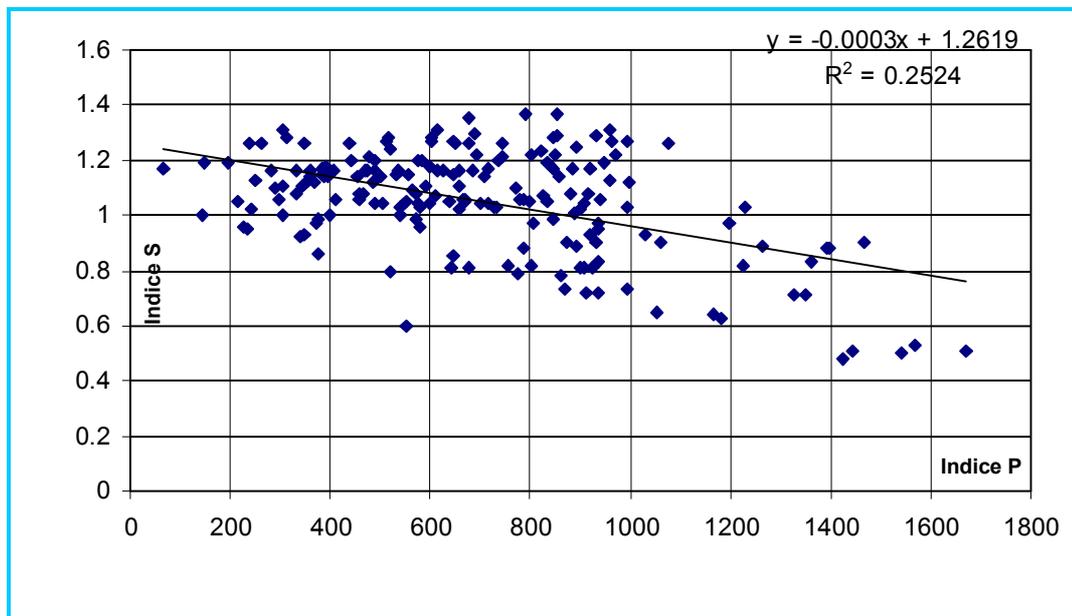


Figure 10. Relation entre les valeurs prises par les indices S et P des 186 lignées dérivées de la F2.

3-5-3- Sélection sur la base de la réponse à la variation environnementale

Les valeurs de b varient de 0,72 à 1,32, la moyenne est de 0,99 et le coefficient de variation est de 11,0%. Dans la technique de la régression, b estime la réponse et la σ^2 di mesure le degré de dispersion des points autour de la droite moyenne de pente b (Eberhart et Russell, 1966, Weber et Westermann, 1994). Les valeurs de la σ^2 di varient de 6 à 595. La moyenne est de 171,2 et le coefficient de variation est de 73,2%. La sélection sur la base des différentes valeurs de b et sur la base de faibles valeurs de la σ^2 di identifie des lignées très différentes du point de vue rendement en grains (Tableau 27, Figure 11).

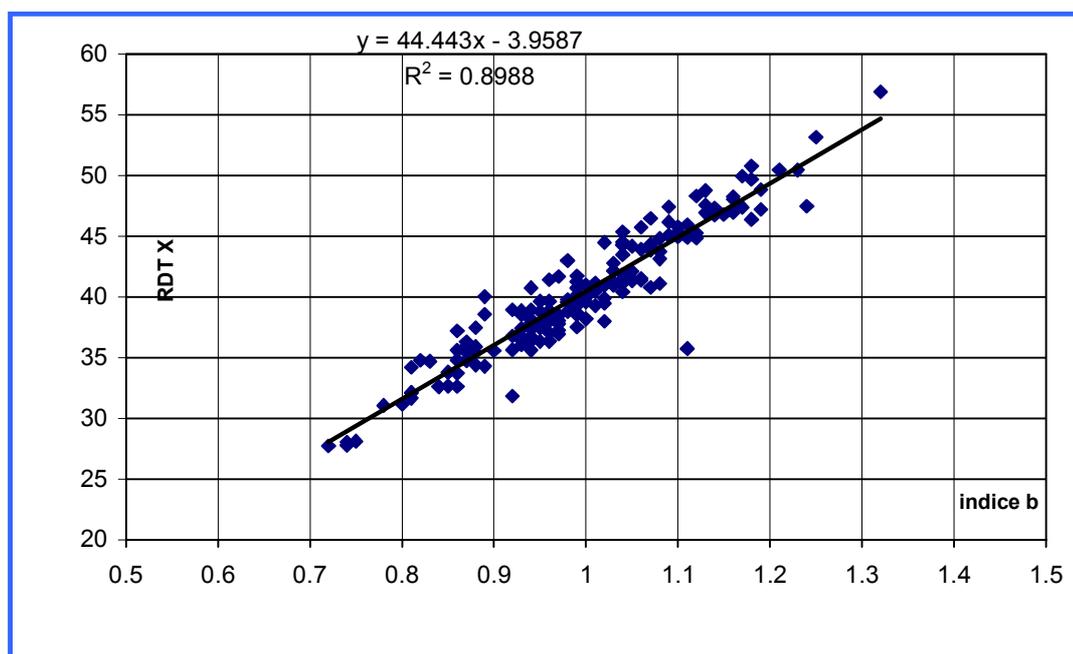


Figure 11 . Relation entre les valeurs prises par le rendement moyen et le coefficient de régression b des 186 lignées dérivées de la F2.

La sélection des valeurs de $b < 1$ favorise l'adaptation, elle identifie des lignées qui sont plus proches, du point de vue rendement, des lignées issues de la sélection sur la base de faibles valeurs de S et de fortes valeurs de P (Tableau 27). La corrélation entre b et S est de 0,427** et celle entre b et P est de -0,911** (Figures 12, 13). Les corrélations de σ^2_{di} avec b (-0,041ns), avec S (-0,128ns) et avec P (0,290ns) indiquent une indépendance de cette variable des indices.

La sélection des lignées qui se distinguent par un $b > 1$ améliore la productivité et de manière plus importante comparativement à la sélection faite pour de fortes valeurs de S ou de faibles valeurs de P (Tableau 27). Les lignées issues de la sélection des valeurs de $b = 1$ et celles issues de la sélection de faibles valeurs de la σ^2_{di} se distinguent par des rendements intermédiaires.

Ces rendements présentent cependant la particularité d'être nettement plus élevés sur le site favorable comparativement aux rendements des lignées sélectionnées pour de faibles valeurs de S. Elles ont des rendements similaires à celles de ces lignées sur le site peu favorable (Tableau 27). La sélection des lignées qui se caractérisent par des valeurs de $b = 1$ ou des faibles valeurs de la σ^2_{di} réussit donc à identifier des lignées productives et stables.

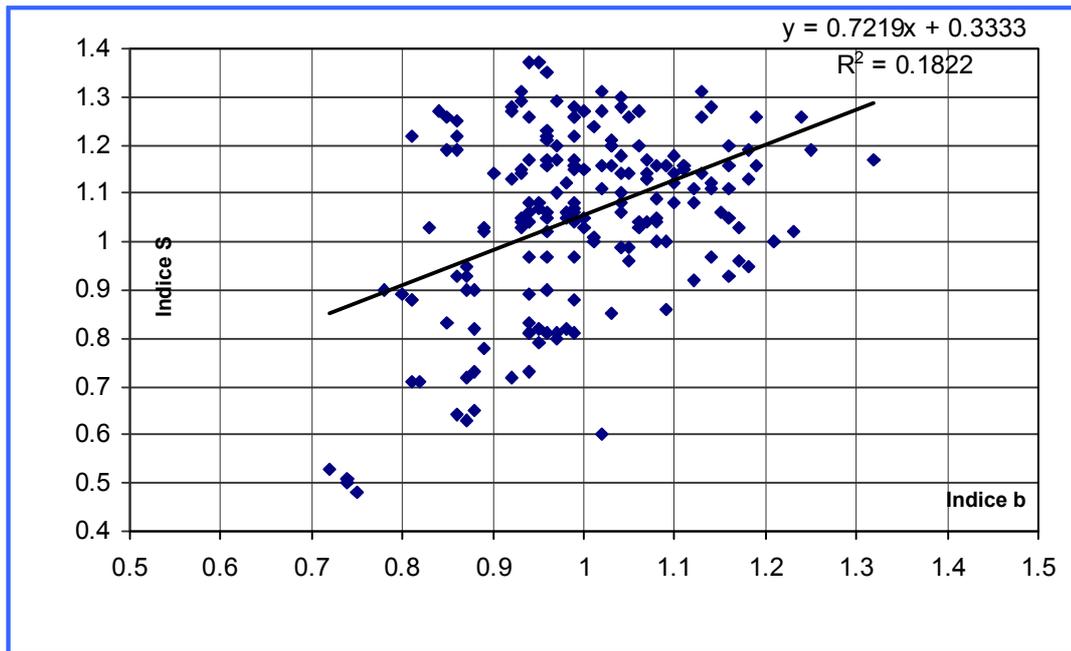


Figure 12. Relation entre les valeurs prises par l'indice S et le coefficient de régression b des 186 lignées dérivées de la F2.

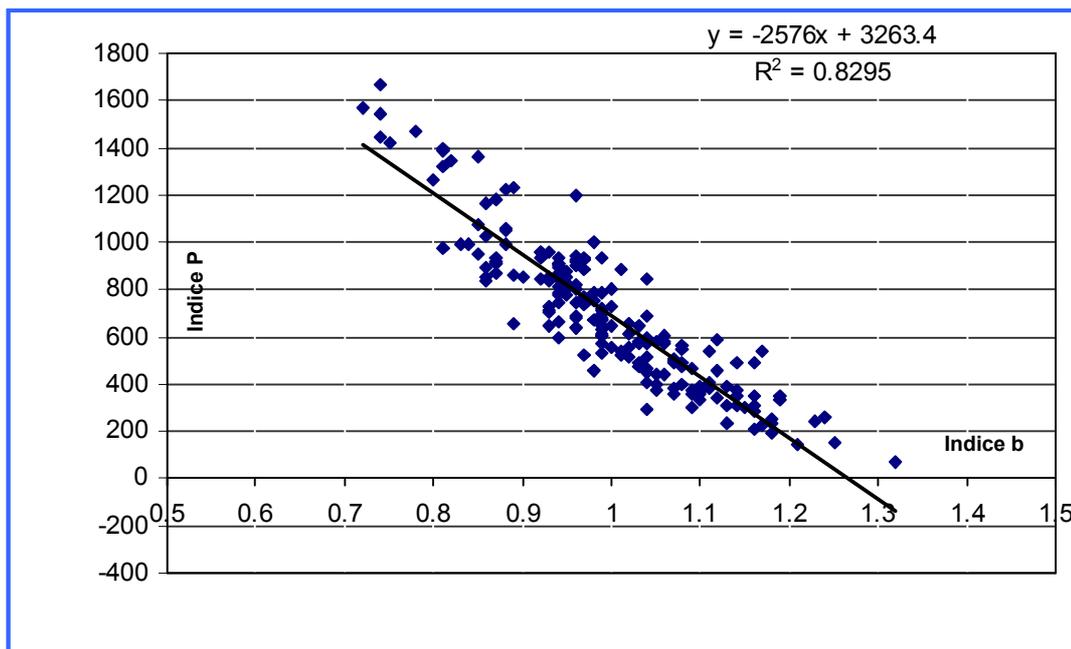


Figure 13. Relation entre les valeurs prises par l'indice P et le coefficient de régression b des 186 lignées dérivées de la F2.

Helms (1993) rapporte des valeurs de b variant de 0.60 à 1.30 pour 116 lignées d'avoine (*Avena sativa* L.). Il note que les géotypes avec un $b=1$ ont de faibles rendements mais une bonne stabilité. Simmonds (1991) trouvent que la sélection dans les environnements favorables identifie les lignées avec un $b>1$ et lorsque celle-ci est faite dans les environnements défavorables, elle isole des lignées avec un $b<1$.

3-5-4- Sélection sur la base d'une architecture génotypique

L'avantage de l'ACP est qu'elle peut gérer un nombre important de variables mesurées. Lorsque les variables soumises à l'analyse sont très corrélées entre elles, il y a redondance de l'information apportée. Cette redondance se répercute sur la part de la variation expliquée par les premiers axes. Il faut demander un grand nombre d'axes pour recouvrir une grande partie de la variation des données analysées. L'utilisation d'un nombre élevé d'axes de l'ACP revient à gérer un grand nombre de variables. L'alternative est de réduire le nombre de variables corrélées.

Adoptant cette approche, la première analyse en composantes principales a été réalisée avec 16 variables. Elle explique avec ses trois premiers axes 57% de la variation. L'axe 1 intègre l'information relative au rendement et aux indices S, P et b . Il représente bien aussi les étendues de la hauteur des plantes et de la surface foliaire.

L'axe 2 représente la vitesse de dessèchement foliaire, l'intégrité cellulaire, l'étendue de la turgescence foliaire, de la matière sèche accumulée au stade épiaison et du poids spécifique foliaire. L'axe 3 intègre l'information relative à la σ^2_{di} et celle liée à l'étendue de la durée de la phase végétative. La seconde analyse en composantes principales a été réalisée avec 10 variables en moins, parmi les 16 mesurées. Les trois axes de l'analyse en composantes principales, avec les 6 variables retenues expliquent 84% de la variation disponible (Figure 14).

L'axe 1 représente l'information relative au rendement, aux indices S et P et à l'étendue de la hauteur des plantes. L'axe 2 donne une mesure des capacités génotypiques liées à la phénologie et l'axe 3 informe sur les capacités génotypiques concernant la tolérance au stress thermique (Figure 14). La sélection des géotypes extrêmes, sur la base de l'information disponible sur l'axe 1, est équivalente à celles faites sur la base des faibles valeurs de S et fortes valeurs de P (Figure 15, Tableau 27).

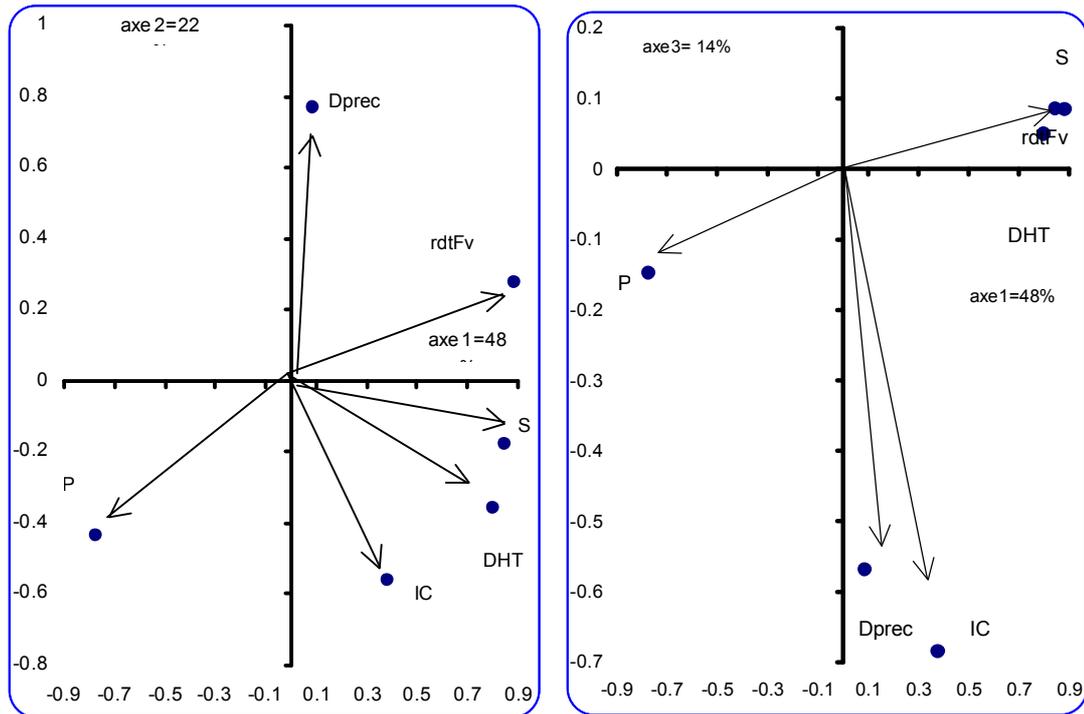


Figure 14. Corrélation des variables mesurées avec les axes principaux de l'ACP

La sélection basée sur l'information apportée par l'axe 2 gère mieux la variation du rendement induite par la phénologie (Figure 16). La sélection faite sur la base de l'information apportée par l'axe 3 discrimine pour la tolérance au stress thermique (Figure 17). Les caractéristiques phéno-morpho-physiologique des sélections extrêmes faites selon les différents indices sont données au tableau 28.

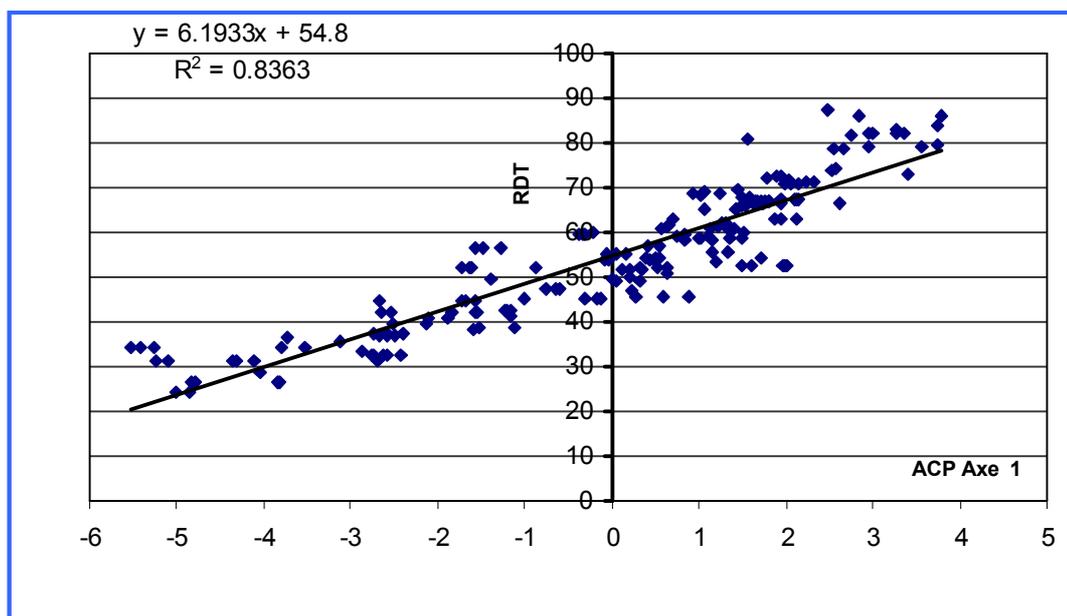


Figure 15. Relation entre les rendements observés sur le site favorable et l'information apportée par l'axe 1 de l'analyse en composantes principales.

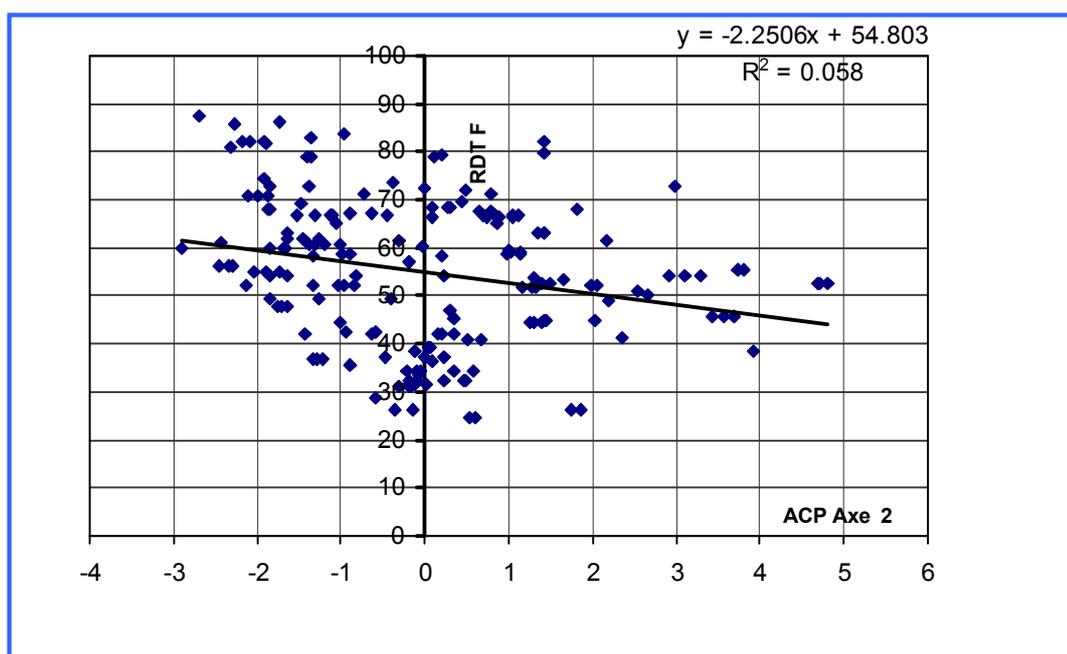


Figure 16. Relation entre les rendements observés sur le site favorable et l'information apportée par l'axe 2 de l'analyse en composantes principales.

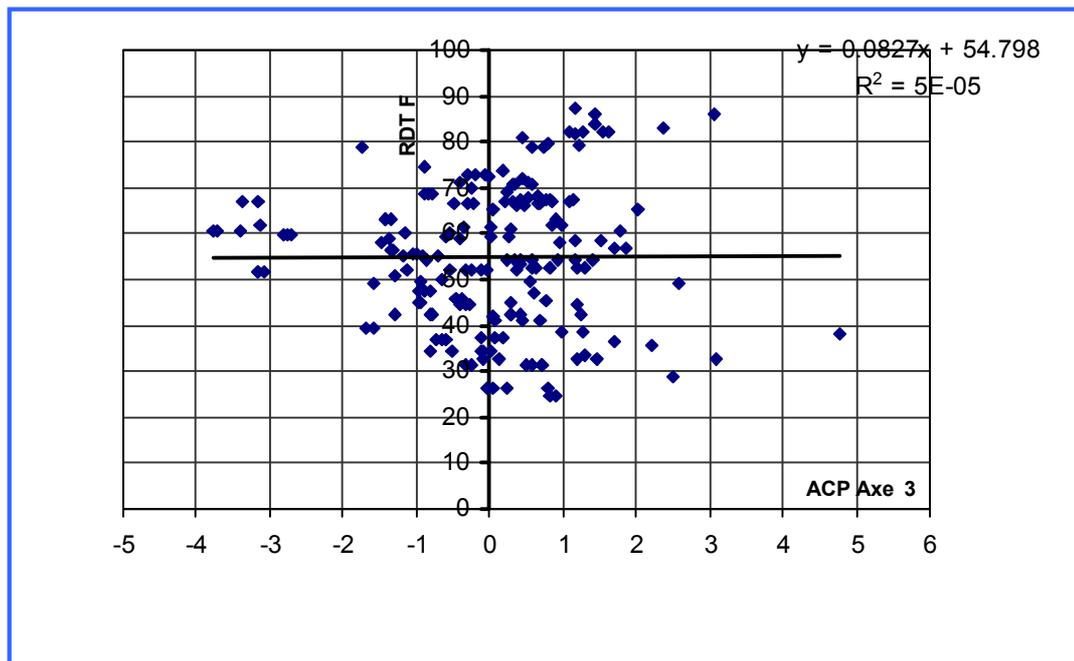


Figure 17. Relation entre les rendements observés sur le site favorable et l'information apportée par l'axe 3 de l'analyse en composantes principales.

La comparaison des sélections faites sur la base des différents indices montre que le rendement obtenu dans l'environnement défavorable (celui qui pose problème dans la région en question et qui doit être augmenté) est plus élevé chez les sélections faites sur la base des indices S_L , P_L , P_H , PC_1 , PC_2 , $b > 1$ et $b < 1$ (Figure 18). La moyenne de rendement est plus élevée suite à la sélection sur la base des indices PI , $b > 1$ et à degré moindre PC_1 et PC_2 . Le rendement maximum est noté chez les sélections faites sur la base de $b > 1$, PC_1 et PI .

En intégrant les rendements obtenus sur l'ensemble des environnements par les sélections faites sur la base des différents indices on note que celles issues des indices $b > 1$ et PI présentent l'avantage de minimiser la différence de rendement entre les environnements favorables et défavorables (stabilité ou adaptation) et de maximiser le rendement des environnements favorables (potentiel de production ou productivité) (Figure 18). La sélection sur la base de ces deux indices associe donc adaptation et productivité.

La sélection sur la base de tels indices ne contrôle pas totalement la variation des caractères non pris en charge par la sélection (Tableau 28). En effet on note notamment pour la durée de la phase végétative, le poids de 1000 grains et la hauteur du chaume que les valeurs moyennes prises par les sélections faites restent très variables allant de 107.5 à 113.3 pour la

durée de la phase végétative, de 63.2 à 70.7 cm pour la hauteur et de 34.5 à 43.2 pour le poids de 1000 grains (Tableau 28). Il faut donc choisir l'architecture génotypique la plus appropriée pour ces caractéristiques à l'intérieur des sélections faites sur la base de ces indices.

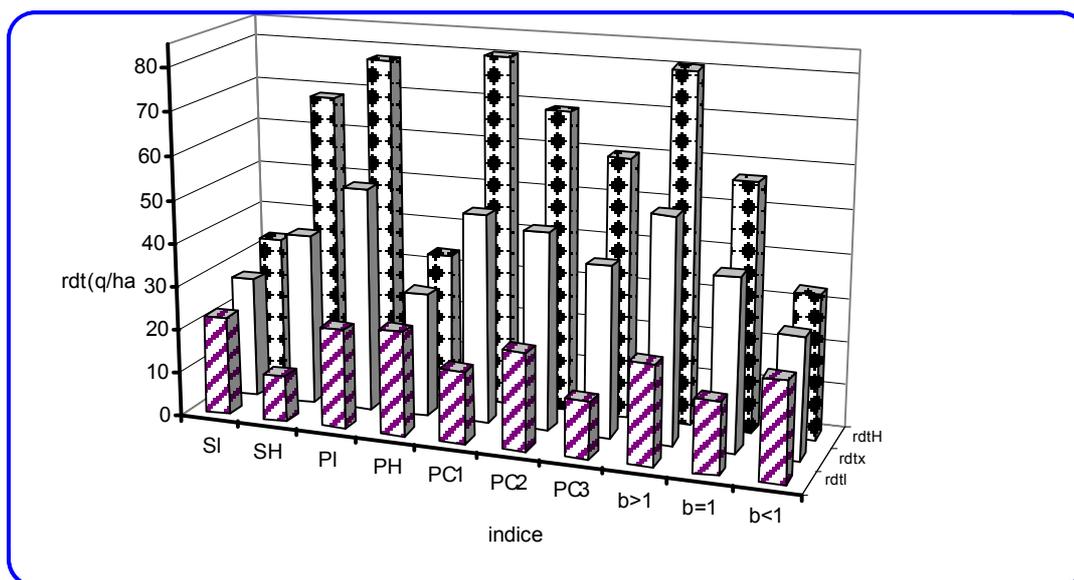


Figure-18- Comparaison des performances de rendement en grains des sélections faites sur la base des différents indices

Tableau 28. Caractéristiques des lignées sélectionnées sur la base de faibles valeurs de P et de fortes valeurs de b

Pedigree	---	RDT	NGE	PVG	HT	PMG	b	P	S
Critère faible P									
Alpha/Tichrett	moy	50.44	31.1	109.8	70.7	37.7	1.21	143.1	1.0
Cs 92. 0s-0s-0s-0s-0s-28s	Var	30.4	97.1	249.7	110.4				
Alpha/Tichrett	moy	48.0	34.8	107.5	63.2	34.5	1.16	213.8	1.05
Cs 92. 0s-0s-0s-0s-0s-51s	Var	42.3	126.9	65.9	143.4				
Aths/lignée686//Rebelle	moy	56.88	33.5	113.1	70.1	42.1	1.32	67.6	1.17
Cs 92 . 0s-0s-0s-0s-0s-147s	Var	45.2	139.7	213.4	103.5				
Aths/lignée686//Rebelle	moy	49.67	33.7	112.6	65.6	40.8	1.18	194.5	1.19
Cs 92 . 0s-0s-0s-0s-0s-151s	var	149.5	128.3	188.5	125.6				
Aths/lignée686//Rebelle	moy	53.13	30.3	113.3	67.0	43.2	1.25	148.7	1.19
Cs 92 . 0s-0s-0s-0s-0s-154s	Var	22.7	140.1	49.6	61.4				
critère b>1									
Alpha/Tichrett	moy	50.44	31.1	109.8	70.7	37.7	1.21	143.1	1.0
Cs 92 0s-0s-0s-0s-0s-28s	Var	30.4	97.1	249.7	110.4				
Saida/Jaidor	moy	47.5	35.4	113.5	66.6	33.7	1.24	261.1	1.26
Cs 92. 0s-0s-0s-0s-0s-66s	Var	15.0	166.9	144.2	134.5				
Saida/Jaidor	moy	50.4	30.6	109.8	70.4	38.1	1.23	242.4	1.02
Cs 92. 0s-0s-0s-0s-0s-87s	Var	36.4	97.1	255.8	96.4				
Aths/lignée686//Rebelle	moy	56.88	33.5	113.1	70.1	42.1	1.32	67.6	1.17
Cs 92 . 0s-0s-0s-0s-0s-147s	Var	45.2	139.7	213.4	103.5				
Aths/lignée686//Rebelle	moy	53.13	30.3	113.3	67.0	43.2	1.25	148.7	1.19
Cs 92 . 0s-0s-0s-0s-0s-154s	Var	22.7	140.1	49.6	61.4				

Benmahammed A. (2005). Hétérosis, transgressions et efficacité de la sélection précoce et retardée de la biomasse, du nombre d'épis et utilisation des indices chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.)

Benmahammed A. (2005). Hétérosis, transgressions et efficacité de la sélection précoce et retardée de la biomasse, du nombre d'épis et utilisation des indices chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.)

CONCLUSION



Conclusion

La présente étude indique que les caractéristiques qui prédisent le mieux le rendement en grains des générations précoces (F1, F2 et F3) sont la biomasse aérienne et le nombre d'épis /m². Les combinaisons hybrides issues des parents de faibles valeurs propres sont celles qui présentent des transgressions et des hétérosis élevés. Il y a indépendance entre les performances de rendement de l'hybride et celles de ses parents. Le peu de ressemblance entre les différentes générations apparentées et les faibles valeurs observées de l'héritabilité montrent un effet environnement plus important que l'effet génétique dans l'expression des performances de rendement en grains des différentes populations d'une génération à l'autre.

Il est donc difficile de prédire le rendement de l'hybride F1 à partir des valeurs des parents choisis uniquement sur la base de la diversité géographique. La caractérisation des géniteurs semble nécessaire et doit être faite sur la base des paramètres agronomiques, phénologiques, physiologiques et biochimiques. A partir des parents choisis sur la base des caractéristiques complémentaires il faut réaliser des croisements multiples et accorder plus d'attention à la descendance présentant l'hétérosis le plus élevé.

Les résultats indiquent que la sélection précoce directe ou indirecte est peu efficace suite à la présence des interactions génotype x environnement. Les sélections changent d'ordre de classement d'un environnement à l'autre aboutissant à de faibles valeurs de l'héritabilité au sens étroit et à peu de ressemblance entre générations successives. L'étude des corrélations génétiques et environnementales indiquent que les liaisons phénotypiques entre les caractères servant de critères de sélection sont plus d'origine environnementale que génétique. Et comme les effets de l'environnement agissent dans le même sens que les effets génétiques, il s'avère difficile de faire la part génétique de celle qui est due à l'environnement pour deux variables d'intérêts liées.

Les résultats de la sélection tardive pratiquée sur la base des indices tentée pour contourner les effets de l'interaction génotype x environnement indiquent que les sélections présentant un coefficient de régression supérieur à l'unité ($b > 1$) et/ou un indice de supériorité génotypique de faible valeur (P_1) se caractérisent par la capacité de minimiser la différence de rendement entre les environnements extrêmes (stabilité) et de maximiser le rendement sous conditions favorables (productivité).

En tout état de cause, il s'avère très difficile de faire un progrès relativement important dans les milieux similaires à celui dans lequel la présente étude a été conduite. Il est de plus en plus important d'avoir recourt à la sélection assistée par des marqueurs si l'on veut améliorer l'efficacité du processus de sélection classique utilisé. Cette technique réduirait grandement des effets de l'interaction génotype x environnement et il devient alors aisé de sélectionner simultanément sur la performance moyenne et sur la stabilité des performances.

Références bibliographiques

A

- Abbassenne, F., Bouzerzour H., & Hachemi L. (1998)** Phénologie et production du blé dur en zone semi-aride d'altitude. *Annales INA, El-Harrach* 18 : 24 - 36.
- Acevedo E., Craufurd P. Q., Austin R. D., & Perez-Marco P. (1991)** Traits associated with high yield in barley in low rainfall environments. *J. Agric. Sci. (Camb)*. 116: 23-36.
- Acevedo E. (1992)** Improvement of winter cereals in Mediterranean environments. Use of yield, morphological and physiological traits, in physiology –Breeding of winter cereals for stressed Mediterranean environments. *Les Colloques* 55: 237- 306.
- Ali Dib T., Monneveux P., & Araus J.L., (1990)** Breeding durum wheat for drought tolerance. Analytical, synthetical approaches, and their connections. *In Wheat Breeding. Prospects and Future Approaches*. Albena, Bulgaria, Agricultural Academy Bulgaria, 224-240.
- Ali Dib T., & Monneveux P., (1992)** Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur I. Caractères morphologique d'enracinement. *Agronomie* 12: 371- 379.
- Annicchiarico, P. & Perenzin, M. 1994.** Adaptation patterns and definition of macro-environments for selection and recommendation of common-wheat genotypes in Italy. *Plant Breeding* 113 :197-205.
- Araus J.L., Brown, H. R., Febrero, A., Bort, J., & Sorret M. D. (1992)** Ear photosynthesis, carbon isotope discrimination and the contribution of respiratory CO₂ to differences in grain mass in durum wheat. *Plant Cell, Environment* 16 : 383 - 392.
- Araus J.L., Ali Dib T., & Nachit M. (1998)** Some insights into morphological traits associated with cereal yield increases in Mediterranean environments. *In: Proceeding of SEWANA* 139-157, Eds. Icarda.
- Atlin G.N., & Frey K.J. (1990)** Selecting Oat lines for yield in low and productivity – environments. *Crop Sci.*30: 556-561.
- Atlin G.N., McRae K.B. & Lu X. (2000)** Genotype x Region Interaction for Two Row barley yield in Canada. *Crop Sci.* 40: 1- 6.
- Austin, R. B., Morgan, C. L., Ford, M. A., & Balckwell R. D.(1980)** Contribution to grain yield from pre anthesis assimilation in tall and dwarf phenotypes in two contrasting seasons. *Annals of Botany* 45 : 309 - 319 .

B

- Bahlouli F. (1998)** Variabilité génétique et analyse de piste d'un germoplasme d'orge (*Hordeum vulgare* l.) Thèse de Magister INA El Harrach, Alger, 80 pp.

- Bajawa M. A., Shan A. H., Asi A.G., & Khan A.G. (1986)** Heterosis and combining ability studies in durum wheat. *Rachis* 5: 42-46.
- Baker R.J. (1969)** Genotype-environment interactions in yield of wheat. *Can. J. Plant Sci.* 49: 743-751.
- Baldy G. (1974)** Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques, leur influence sur la production des principales zones céréalières d'Algérie. *Doc. Projet céréale* 152 pp.
- Balkema – Boomstra A.G. (1988)** The effects of selection for earliness and ear density for grain yield improvement in spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *Euphytica* 8: 125-129.
- Becker H.C. & Leon G. (1988)** Stability analysis in plant breeding. *Plant Breed* 101: 1-23.
- Benabdelli B., & Benseddik K. (2000)** Impact du risque climatique sur le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf) en zone semi – aride : approche éco-physiologique. *Sécheresse* 11 : 45-51.
- Benmahammed A. (1995)** Association et héritabilité de quelques caractères à variation continue chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.). Thèse de magister, INA- El Harrach, Alger, 84 pp.
- Benmahammed A., Kermiche A., Hassous K.L., Djekoun A., & Bouzerzour H. (2003)** Sélection multi caractères pour améliorer le niveau et la stabilité du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi-aride. *Sciences et Technologie* 19: 98-103.
- Bensalem M., & Vierra Da Silva J.B. (1990)** Mécanisme physiologiques de résistance à la sécheresse et création variétale. *Rapport d'activité MA/DGFRA/INRAT, Tunisie*, 23pp.
- Berger M. (1985)** Etude des caractères morpho-physiologiques, des composantes du rendement et de leurs corrélations génétiques et environnementales chez le blé tendre. Thèse Docteur Ingénieur, ENSA, Toulouse, 182 pages.
- Berger M., & Planchon C. (1990)** Physiological Factors determining yield in bread wheat, effet of dwarfing genes. *Euphytica* 51: 33-39.
- Bhatt G.M. (1973)** Significance of path coefficient analysis in determining the nature of character association. *Euphytica* 22: 338-343.
- Blum A. (1988)** Plant breeding for stress environments. CRC Press Inc Florida, USA, 223pp.
- Blum A. & Pnuel Y. (1990)** Physiological attributes associated with drought resistance of wheat cultivars in a Mediterranean environment. *Aust. J. A. Res.* 41: 799-810.
- Blum A., Shpiler L., Golan G., Mayer J., & Sinmena B. (1991)** Mass selection of wheat for grain filling without transient photosynthesis. *Euphytica* 54: 111-116.
- Bonjean A., & Picard E. (1990)** Les céréales à paille origine, historique, économie et sélection. Eds Nathan, 235 pages.

Borghi, B., Corbellini, M. & Gavuzzi P. (1989) The use of laboratory and field screening tests for identification of bread wheat cultivars tolerant to heat and drought stress. *In* Seminar on Physiology -breeding of winter cereals for stressed Mediterranean environments. Les Colloques 55 : 436-448.

Bouatoura N. (1975) Etude préliminaire de l'hérédité de quatre caractères à variation continue associés au rendement chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) DEA. Amélioration des plantes. Université Paris- sud. 25 p.

Boukerrou L., & Rasmusson D.C. (1990) Breeding for high biomass yield in Spring Barley. *Crop Science* 30 : 61- 35.

Bouzerzour H., & Hadj Sahraoui A. (1989) Performances des nouvelles variétés de céréales en milieu producteur. Doc. Interne FEA Sétif; 9 pages.

Bouzerzour H & Monneveux P (1992) Analyse des facteurs de stabilité du rendement de l'orge dans les conditions des hauts plateaux de l'Est Algériens. Séminaire sur la tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéennes. Les colloques 64: 139-148.

Bouzerzour H. & Benmahammed A. (1994) Environmental factors limiting barley grain yield in the high Plateaux of eastern Algeria. *Rachis* 12: 11-14.

Bouzerzour H. & Dekhili M. (1995) Heritability, gain from selection and genetic correlation for grain yield of barley grown in two contrasting environments. *FCR* 41: 173-178.

Bouzerzour H. & Djekoun A. (1996) Etude de l'interaction génotype x lieu du rendement de l'orge en zone semi-aride. *Science & Technologie* 7:16-28.

Bouzerzour H., Djekoun A., & Benmahammed A. (1996) Genotypic similarity of performances and stability of environmental responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.). *Actes Inst. Agro. Vet.(Maroc)*16:33-38.

Bouzerzour H., (1998) Sélection pour le rendement, le degré de précocité, la biomasse aérienne et l'indice de récolte chez l'orge (*Hordeum vulgare* L) en zone semi-aride. Thèse Doctorat d'état. Université de Constantine, 170pp.

Bouzerzour, H., Djekoun A., Benmahammed, A. & Hassous K. L., (1998a) Contribution de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte et de la précocité à l'épiaison au rendement en grain de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi-aride d'altitude. *Cahiers Agriculture* 8, 133- 137.

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

Bouzerzour H., Benmahammed A., Benbelkacem A., Hazmoune T., Mimouni H., Bourmel A., & Mekhlouf A. (2000) Stabilité des performances et caractéristiques phéno -

morphologiques de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). In Proc. symposium blé 2000, Enjeux et stratégies, Alger, 7-9 Fev. 2000, 178-182.

Borojevic S. & Williams W.A. (1982) Genotype x Environment interaction for leaf area parameters and yield components and their effects on wheat yield. Crop Sci. 22: 1020-1025.

Brabant P., Manes Y., Trottet M., Picard E. (1989). Corrélations génétiques, héritabilités et possibilités de sélection multilocale précoce sur le rendement chez le blé tendre d'hiver (*Triticum aestivum* L.). Agronomie, 9 : 49-54.

Briggs F.N. & Knoroles P.F. (1977) Introduction to plant breeding. Reinhold Publishing Corporation 426 pp.

Bruckner P.O. & Frohberg R.C. (1987) Rate and duration of grain fill in spring wheat. Crop Sci. 27: 451-455.

Busch R.H. & Kafoid K. (1982) Recurrent selection for kernel weight in spring wheat. Crop Sci. 24: 1106-1109.

Busch R. H., Janke J. C., & Fohberg R. C. (1974) Evaluation of crosses among high and low yielding parents of spring wheat and bulk prediction of lines performances. Crop Sci. 14 47- 50.

C

Canterell RG., & Haro Arias E. S. (1986) Selection for spikelet fertility in a semi-dwarf durum wheat populations. Crop Sci. 26 : 691- 693.

Cattivelli, L. Baldi, P. Crosatti, N. Di Fonzo, N. & Stanca M. (2002) Chromosome regions and stress related sequences involved in resistance to abiotic stress in *Triticeae*. Plant Molecular Biology, 48:649-665.

Ceccarelli S. (1987) Yield potential and drought tolerance of segregating barley populations in contrasting environments. Euphytica 36, 265-279.

Ceccarelli S, & Grando S (1989) Efficiency of empirical selection under stress conditions. J. Gen. & Breed. 43, 25-31.

Ceccarelli S, Acevedo E, & Grando S (1991) Breeding for yield stability in unpredictable environments: single trait, interaction between traits, and architecture of genotypes. Euphytica 56, 169-185.

Ceccarelli S., Grando S., & Hamblim J. (1992) Relationship between barley grain yield measured in low and high yielding environment. Euphytica 64: 49-58.

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

Chen T.H.H., Shen Z.Y., & Li P.H. (1982) Adaptability of crop plant to high temperature stress. *Crop Sci.* 22: 719–725.

Chenafi, H. (1996) Optimisation de l'apport d'appoint d'eau sur trois variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) à différents stade. Cas des hautes plaines Sétifiennes. Thèse magister, INA Alger. 64 pp.

Clarke J.M. & Mc Craig T.N. (1982) Evaluation of techniques for screening for drought resistance in wheat. *Crop Sci.* 22: 503-506.

Clarke J.M., Depauw R.M. & Townley Smith T.F. (1992) Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. *Crop Sci.* 32: 723-728.

Cox T. S. & Frey K. J. (1984) Combining ability and selection of parents for interspecific Oat mating. *Crop Sci.* 24, 963- 967.

Crossa J., Gauch H. G. & Zobel R. W. (1990) **Amni analysis of two international maize-cultivar trials. *Crop Sci.* 30: 493- 500**

D

Dedio W. (1975) Water relations in wheat leaves as screening test for drought resistance. *Can. J. Plant Sci.* 55: 369-378.

Donmez E., Sears R.G., Shroyer J.P. & Paulsen G.M. (2001) Genetic gain in yield attributes of winter wheat in the Great Plains. *Crop Sci.* 41: 1412-1419.

E

Eagles H.A., Hinz P.N., & Frey K.J. (1977) Selection of superior cultivars of Oats by using regression coefficients. *Crop Sci.* 17: 101-105.

Eagle H. A., Bariana H. S., Ogonnaya F. C., Rebetzke G. G., Hollamby G. J. , Henschke P. H. & Carter M. (2001) Implementation of markers in Australian wheat breeding. *Aust. J. Agric. Res.* 52: 1349-1356.

Ebdon J.S. & Gauch H.G. (2002) Additive Main Effect and Multiplicative Interaction Analysis of National Turfgrass Performance Trials. II. Cultivars Recommendations. *Crop Sci.* 42 : 497-506.

Eberhart S.A. & Russel W.A. (1966) Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36-40.

Ehdaie B., Gaines J. G., & Hall A. E. (1988) **Differential responses of land-races and improved spring wheat genotype to stress environments. *Crop Sci.* 28, 838-842.**

F

Falconer D. S. (1982) Introduction to quantitative genetics. Longman ed., London, NY. 340 pp.

Farquhar G.D., Ehleringer J.R., & Hubuk K.T. (1994) Isotopic composition of plant carbon correlated with water use efficiency of wheat genotypes. *Aust. J. Pl. Phys.* 11: 539-542.

Farshadfar E., Kőszegi, B., Tischner, T., & Sutka J. (1995) Substitution analysis of drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) *Plant breeding* 114:542-544

Fatunla T., & Frey K.J. (1976) Repeatability of regression stability indexes for grain yield of Oats (*Avena sativa* L.). *Euphytica*. 25: 21-28.

Fellah A., Bouzerzour H., Benmahammed A., & Djekoun A. (2002) Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Actes Inst. Agron. Vet. (Maroc)*, Vol. 22: 161-168.

Feyerherm A. M., Paulsen G.M. & Sebaugh J.L. (1984) Contribution of genetic improvement to recent wheat yield increases in the USA. *Agronomy Journal* , 76 : 985-988.

Finlay, K. W., & Wilkinson G. N. (1963) The analysis of adaptation in a plant breeding program. *Aust J. Agric. Res.* 14:742-754.

Fischer, R.A. & Maurer, R. (1978) Drought resistance in spring wheat cultivars .I. Grain yield responses. *Aust . J. Agric. Res.* 329: 897 -912.

Fischer R. A. (1985) Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agr. Sci. Camb.* 105:447-461

Fokar M., Blum A., & Nguyen H.T., (1998) Heat tolerance in spring wheat I. Estimating cellular thermotolerance and its heritability. *Euphytica*, 104: 1-8.

Fowler D. B. (1978) Selection for winter hardiness in wheat.II. variation within the field trials. *Crop Sci.* 19: 773-775.

G

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

Gallais A, (1994) La sélection assistée par marqueurs. Quel avenir pour l'amélioration des plantes ? Ed. AUPELF-UREF. Jhon Libbey Eurotext. 397-397.

Gavuzizi P., Delogu G., Di Fonzo N. & Borghi B. (1993) Identification of bread wheat, durum wheat and barley cultivars adapted to dry areas of Southern Italy, *Euphytica*; 68: 131-145.

Grafius J.E. (1978) Multiple characters and correlated response. *Crop Sci.* 18: 931-934.

Grillot G. (1959) La classification des orges cultivées. *An. Am. Plantes.* 4: 446-486.

Giunta F., Motzon, R., & Deidda M. (1995) Effects of drought on leaf area development, biomass production and nitrogen uptake of durum wheat grown in Mediterranean environment. *Aust J. Agric. Res.* 46: 99-111.

H

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

Hakimi M. (1989). Les systèmes traditionnels basé sur la culture de l'orge. Proc. Symp. On the agrometeorology of rainfed barley- based farming systems. Ed. WMO/ICARDA. 179-183.

Hanson P.R., Riggs T.J., Klose S.J., & Austin R.B. (1985) High biomass genotypes in spring barley. *J. Agri. Sci. Camb.* 105:78-83.

Harlan J. (1975) Our vanishing genetics resources. *Science* 188: 618-621.

Helms T.C. (1993) Selection for yield and stability among Oat lines. *Crop Sci.* 33: 423-426.

He-Zhong H. (1991) An investigation of the relationship between F1-potence and the measure of genetic distance among wheat lines. *Euphytica* 58: 165-170.

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

Hsu P. & Walton P.D. (1971) Relationship between yield and its components and structures above the flag leaf node in spring wheat. *Crop Sci.* 11: 190-193.

Hurd E.A. (1974) Phenotype and drought resistance in wheat. *Agri. Meteorology*, 14: 39-55.

I

ITGC (2002) Production des céréales à paille de 1900 à 2002. Document interne, 20pp.

K

Kaul R.C. (1974) An index derived from photosynthetic parameters for predicting grain yield of drought stressed cultivars. *Z. Pflanzenezuecht* 71 : 42 -51.

Kervela J., Goldringer F., & Braband P. (1991) Sélection récurrente chez les autogames pour l'amélioration des variétés-lignées pures: une revue bibliographique. *Agronomie* : 11 335-352.

Kirby E.J.M. & Appleyard M. (1981) Cereal development guide. Eds. Baron A cereal unit 70pp.

L

Langer S., Frey K.J., & Balley T. (1978) Production response and stability characteristics of Oat cultivar developed in different areas. *Crop Sci.* 18: 938-942.

Langridge P., Lagudah E. S., Holton T. A., Appels R., Sharp P. J. & Chalmers K. J. (2001) Trends in genetic and genome analyses in wheat: a review. *Aust. J. Agric. Res.* 52: 1043-1077.

Lin, C.S. & Binns, M. R. (1985) Procedural approach for assessing cultivar-location date: pair-wise genotype-environment interactions of test cultivars with checks. C. J. P. Sci.64: 1065 - 1071.

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

Lôfler C.M. & Busch R.H. (1982) Selection for grain protein, grain yield and Nitrogen partitioning efficiency in hard red spring wheat. Crop Sci. 22: 591-595.

M

Martin S. K., Loesch P. J., Demopoulos J. T., & Wisner W. J. (1982) **Selection indices for the improvement of opaque-2 maize. Crop Sci. 22: 478-485.**

Matzinger D. F., Williams N. D. & Westermann E. A. (1976) Four cycle of mass selection in a synthetic variety of an autogamous species *Nicotiana tabacum*. Crop Sci 18, 239-243.

McIntosh, M. S. (1983) Analysis of combined experiments. *Agro. Journal* 75,153-156.

McNeal F.H., Qualset G.O, Baldrige D.E., & Stewart V.R. (1978) Selection for yield and yield components in wheat. Crop Sci. 18 : 145-152.

Mekhlouf A., (1998) Etude de la transmission héréditaire des caractères associés au rendement en grains et de leur efficacité en sélection chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Thèse Magistère. INA El-Harrach. 67pp.

Meynard J.M. (1987) L'analyse de l'élaboration du rendement des céréales sur les essais de fertilisation. Pers. Agricoles 115 : 76-83.

Miller J.D., James N.I. & Lyrene P.M. (1978) Selection indices in sugarcane. Crop Sci. 18: 369-372.

Miller J.D. & Fehr W. R. (1979) Direct and indirect recurrent selection for protein in soybeans. Crop Sci. 19:101-106.

Monneveux P., Chaballier C. & Lewicki S. (1993) Etude du comportement de lignées d'orge dans différentes conditions de sécheresse en Europe. Estimation du rôle de la capacité d'ajustement osmotique dans l'adaptation à la variabilité environnementale. In « Séminaire sur la tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne » Ed. INRA France, les colloques 64 : 217-237.

Morgan J.M. (1984) Osmoregulation and water stress in higher plants. Ann Rev. Plant. Physiology 35:299-319.

Morgan C.L., Auston R.B., Ford M.A., Bingham J. & Angus W.J., Chowdhury S. (1989) An evaluation of F1 hybrid winter wheat genotypes produced using a chemical hybridizing agent. J. Agric Sci. Camb 112: 143-149.

Mossad, M.G., Ortiz-Ferrara G., Mahalakshmi V., & Fischer R. A. (1995) Phyllochron response to vernalization and photoperiod in spring wheat. *Crop Sci.* 35:168-171.

Murphy C.F., Long R. C., & Nelson L. A. (1982) variability of seedling growth characteristics among oat genotypes . *Crop Sci.* 22, 1005-1008.

N

Nachit M.M & Jarrah M. (1986) Association of some morphological characters to grain yield in durum wheat under Mediterranean dry-land conditions. *Rachis* 5 : 33 -34.

Nachit, M.M., Nachit G., Ketata H., Gauch H.G. & Zobel R. W. (1992) Use of AMMI and linear regression models to analyze genotype x environment interaction in durum wheat. *Theor Appl. Genet.* 83 : 597-601.

Najimi B., El Jaafari S., Jlibène M. & Jacquemin J. M. (2003) Applications des marqueurs moléculaires dans l'amélioration du blé tendre pour la résistance aux maladies et aux insectes. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 7: 17-35.

O

O'Brien L., Baker R. J., & Evans L. E. (1978) Response to selection for yield in F3 of four wheat crosses. *Crop Sci.* 18: 1029-1031.

Olmeda – Arcega O.B., Elias E.M., & Cantrell R.G. (1995) Recurrent selection for grain yield in durum wheat. *Crop Sci.* 35: 714-719.

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

Oury F. X., Brahant P., Pluchard P., Berard P. & Rousset M., (1990) Etude multilocale des blés hybrides: Niveaux d'hétérosis et élaboration du rendement. *Agronomie*, 10 : 735 –748.

O'Toole , J.C., & Cruz R. T. (1980) Response of leaf water potential , stomatal resistance, and leaf rolling to water stress. *Plant physiology* 51 : 993- 997.

P

Papadakis J.S. (1938) *Ecologie agricole*. Eds Jules Duculot. Gemblou. 313pp.

Paterson A. H., De Verna J. W., Lanini B. & Tanksley S.D. (1991) Mendelian factors underlying quantitative traits in tomato : comparaison accross species, generations and environment. *Genetics* 127: 181-197.

Pecetti L. & Annicchiarico P. (1993) Grain yield and quality of durum wheat landraces in a dry Mediterranean region of Northern Syria. *Plant breeding* 110:243-249.

Perrier A. & Soyer J. P. (1970) Culture céréalière sur les hauts plateaux : étude de la rotation blé/jachère dans la région de Sétif. *Doc Interne Station ITGC Sétif* 25 pp.

Pesek J. & Baker R.J., (1970) An application of index selection to the improvement of self pollinated species. Can. J. PlantSci. 50 : 267-276.

Pfeiffer W.H., (1993) Drought tolerance in bread wheat. Analysis of yield improvement over years in Cimmyt germoplasm. In Proc. of the int. Conf. on wheat production constraints in tropical environments. Klatt eds. Mexico D.F. Cimmyt 274-284.

Picard S., Branlard G., Oury F. X., Berard P. & Rousset M., (1992) Etude de la diversité génétique du blé tendre: II. Application à la prédiction de l'hétérosis. Agronomie, 12: 683 – 690.

Puri Y. P., Qualset C. O., & Williams W. Q. (1982) Evaluation of yield components as selection criteria in barley breeding. Crop Sci. 22:927-931.

R

Rascio A., Sorrentino G., & Cedola M.C., Pastor D. (1987) Osmotic and Elastic adjustment of durum wheat leaves under drought stress conditions. Genet. Agri. 41: 427-436.

Rasmusson D.C., & Cannel R.Q., (1970) Selection for grain yield and component yield in barley. Crop Sci. 10: 51-54.

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

Richards R. A., Rebtzke G. J., Van Herwaarden, A. F., Dugganb, B. L., & Condon A. G.(1997) Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding. Dryland Agriculture 26 : :254 -266.

Romero J.S., & Frey K. J. (1973) Inheritance of semi-dwarfness in several wheat crosses. Crop Sci. 13: 334-337.

Roseille AA., Frey K.J. (1975). Estimates of selection parameters associated with harvest index in Oat lines derived from a bulk population. Euphytica 24: 121-131.

Roseille A.A., & Hamblin J. (1981) Theoretical aspects of selection for yield in stress and non stress environments. Crop Sci. 21: 943-946.

S

Saadalla M.M., Shanahan J.F., & Quick J.S., (1990) Heat tolerance in winter wheat I. Hardening and genetics effects on membrane Thermostability. Crop Sci. 30: 1243-1247.

Sampson, D. R. (1976) Choosing the best parent for a breeding program among eight Oat cultivars crossed in diallel. C. J. P. Sci. 56: 263- 274.

Sayre K. D., Rajram S., & Fischer R. A. (1997) Yield potential progress in short bread wheat in Northwest Mexico Crop Sci. 37: 42- 46.

Shanahan J.F., Edwards J.S., Quick J.S., & Fenwick J., (1990) Membrane thermostability and heat tolerance of spring wheat. *Crop Sci.* 30: 247-251.

Sharma RC (1993) Selection for biomass yield in wheat. *Euphytica* 70: 35-42.

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

Shpiler C. & Blum, A. (1991) Heat tolerance for yield and its component in different wheat cultivars. *Euphytica* 51: 257-263.

Shukla G.K. (1972) Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity.* 29: 237-245.

Shut J.W. & Dowleijin C.J. (2000) Prediction of barley progeny performance in the presence of genotype- environment interaction. *Plant Breeding* 119: 47-50.

Siddique K.L.M., Tenat D., Perry M. M. & Belford R.K., (1990) Water use and WUE of old and modern cultivars in a mediterranean type environment. *Aust. J. Agric. Res.* 41: 431-447.

Simane, B., Peacock J. M., & Struik P. C. (1993) Differences in development plasticity and growth rate among drought resistant and susceptible cultivars of durum wheat . *Plant and soil* 157: 155-166

Simmonds N. W. (1991) Selection for local adaptation in a plant breeding program. *Theor. Appl. Genet.* 82 : 363- 367.

Slafer G.A. & Andrade F. H. (1990) Genetic improvement effect on pre- anthesis phenological attributes related to wheat grain yield. *Field Crop Research* 23, 255- 263.

Srivastava J. P., Jana S., Gautan P. L., & Nicks R. E. (1983) Parallel selection. An approach to increase grain yield and stability. *Proc. 6th Intern Wheat genetic Symposium*, 725-733.

Steel G.D.S. & Torrie, J. H. (1980) Principles and procedures of Statistics: a biometrical approach. Eds Mc Graw Hill Book Company. NY. 633 pages.

Sullivan C.Y. & Ross W.M. (1979) Selecting for drought and heat resistance in grain sorghum. *In stress physiology in crop plant.* John Willey and Sons NY, 479p.

T

Tashiro T., & Wardlaw I. F. (1989) A comparison of the effect of high temperature on grain development in wheat and rice. *Annals of Botany* 64 : 59 - 65.

Taylor G.J. (1989) Maximum potential growth rate and allocation of respiratory energy as related to stress tolerance in plants. *Plant physiology and Biochemistry* 27 : 605- 611.

Turner N. C. & Nicolas M. E. (1987) Drought resistance of wheat for light-textured soils in a Mediterranean climate. In drought tolerance in winter cereals. Eds J.P.Srivastava , E. Porceddu, E. Acevedo, S. Varma, 203-216.

W

Wallace D.H., Yourstone K. S., Malaya P. N. & Zobel R. W. (1993) Photoperiod gene control over partitioning between reproductive vs vegetative growth. Theor. and Applied Genetics 86: 6-16.

Wardlaw I.F., Dawson I.A. & Munibi P.M. (1989) Tolerance of wheat to high temperature during reproductive stage. Aust. J. Agri. Res. 40: 15-24.

Whan B. R., Rathjen, A. R. & Knight R. (1981) The relation between wheat lines derived from the F2, F3, F4 and F5 generations for grain yield and harvest index. Euphytica 30: 419-430.

Weber W.E. & Westermann (1994) Prediction of yield for specific locations in German winter-wheat trials. Plant breeding 113: 99-105.

Worland A. J., Apendina M. L., & Sayers E. J. (1994) The distribution in European winter wheat of genes that influence eco-climatic adaptability while determining photoperiod insensitivity and plant height. Euphytica 80, 219-228.

Y

Yap T.C., & Harvey B.L. (1972) Inheritance of yield components and morpho-physiological traits in barley. Crop Sci. 12: 283-286.

Yau S.K. (1995) Regression and AMMI Analysis of G X E Interactions: An empirical comparison . Agro. J. 87 : 121-126.

Ykhlef N., Djekoun A., Bensari M., & Vignes D. (1998) L'efficacite d'utilisation de l'eau: marqueur physiologique de la resistance a la secheresse chez le blé dur (*T. durum* Desf.) Sci. & Tech. 10: 87-92.
