

## ETUDE DE LA REPONSE A LA SELECTION DE LA PRECOCITE CHEZ L'ORGE (*Hordeum vulgare* L.) EN ZONE SEMI ARIDE D'ALTITUDE

BAHLOULI F. (1), H. BOUZERZOUR H. (2), BENMAHAMMED A. (3)

(1) Fac. des Sciences, Université Med Boudiaf, M'sila, 28000 Algérie

(2) ISN, Centre universitaire Larbi ben Mhidi, O. E. B., 4000 Algérie

(3) Ferme Expérimentale Agricole, ITGC, BP:03, Sétif, 19000 Algérie

(pour toute correspondance ⇒ E-mail Bouzerzourh@yahoo.com)

### RESUME

La présente étude a pour objectif d'analyser la variabilité génétique de la durée de la levée-épiaison d'un germoplasme d'orge (*Hordeum vulgare* L.) conduit en zone semi-aride d'altitude et d'étudier l'efficacité de la sélection sur la base de la durée de cette phase et ses conséquences sur la productivité de la plante. Les résultats indiquent qu'au cours de la première campagne 1995/96, le rendement en grain est corrélé positivement et significativement au nombre de grains par épi, à la biomasse aérienne produite à maturité et à la durée à l'épiaison. L'héritabilité au sens large de la précocité au stade épiaison est de 67%. Le gain génétique attendu en sélection est de 8,6 jours, alors que la différentielle de sélection est de 8 jours. La réponse à la sélection est positive et significative, avec une héritabilité réalisée égale à 55%. La réponse du rendement est significative et en faveur d'une courte durée à l'épiaison. Il est impératif, suite au rôle joué par la précocité dans l'évitement du gel tardif, de la sécheresse et des hautes températures de fin de cycle, d'incorporer la tolérance au froid aux génotypes destinés aux zones semi-arides d'altitude, pour réduire les effets de la variabilité de la précocité sur le rendement en grain.

**Mots clés:** *Hordeum vulgare* L. - Précocité- Réponse à la sélection-  
Corrélation - Héritabilité - Rendement en grain - Zone semi-  
aride d'altitude.

## **Study of barley (*Hordeum vulgare* L.) response to selection for earliness in semi-arid region**

### **ABSTRACT**

The objective of this investigation was to analyze genetic variability of the duration of the number of days to heading, in barley (*Hordeum vulgare* L.) and to study the efficiency of selection based on this characteristic and its effect on plant productivity. The results indicated that grain yield was positively correlated with above ground biomass, with kernels per spike and with late heading during the 1995/96 cropping season. Days to heading heritability was 67%, with an expected genetic gain of 8.6 days and a selection differential of 8 days. Selection response was positive and significant with a realized heritability equal to 55%. Grain yield response was significant and in favor of early heading. As earliness is important to escape frost, drought and heat stress, it is useful to incorporate frost resistance to genotype selected for semi arid region to reduce heading variability effects on grain yield.

**Key words :** *Hordeum vulgare* L. - Days to heading- Selection response- Correlation - Heritability -Grain yield - High altitude semi-arid region.

## INTRODUCTION

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) est une espèce rustique, s'adaptant aux zones sèches et aux itinéraires techniques rudimentaires. Elle occupe une place importante dans les systèmes des cultures des zones marginales, arides et semi-arides, d'altitudes, là où les blés ne donnent pas des rendements acceptables (BOUZERZOUR *et al.* 1994). La culture de cette espèce s'inscrit dans le cadre de systèmes extensifs céréale-élevage ovin. Les agriculteurs de ces régions optent le plus souvent pour des variétés rustiques, parce qu'elles leur assurent une production de paille conséquente et plus régulière car la nature du climat du milieu de production rend aléatoire l'obtention d'un niveau de rendement en grain acceptable (SOMEL, 1988, HAKIMI, 1989; BOUZERZOUR et DJEKOUN, 1996). L'amélioration des rendements en grain et en paille, dans de tels environnements dépend du degré de la tolérance aux stress et de l'objectif de rendement visé. Plus ce dernier est élevé plus la sensibilité génotypique est forte (FALCONER, 1982; CECCARELLI *et al.* 1992).

La tolérance des plantes aux stress est la résultante de plusieurs caractéristiques pheno-morpho-physiologiques qui ne sont pas encore fortement utilisées en sélection. Cette dernière est faite, le plus souvent, sur la seule base du rendement en grain (Edhaie *et al.* 1988; BOUZERZOUR, 1998). L'obtention d'un rendement en grain élevé et stable nécessite de sélectionner des génotypes sur la base des caractéristiques qui contribuent à l'adaptation au milieu (ACEVEDO *et al.* 1991). OOSTEROM *et al.* (1993) montrent, qu'en conditions de sécheresse, la précocité à l'épiaison est positivement corrélée au rendement en grain. Cette caractéristique n'est, cependant, d'aucune utilité pratique en sélection dans les régions où la présence du gel tardif pénalise les génotypes trop précoces (CECCARELLI *et al.* 1992). FLETCHER (1983) observe une grande variabilité génotypique pour la tolérance au froid. DAVIDSON *et al.* (1985) montrent le rôle des températures vernalles, de la photopériode et de leur interaction dans le contrôle de la précocité.

La présente contribution se propose comme objectif d'analyser la variabilité génétique de la durée de la phase levée-épiaison d'un germoplasme d'orge (*Hordeum vulgare* L.), conduit en zone semi-aride d'altitude et d'étudier l'efficacité de la sélection sur la base de la durée de cette phase et ses conséquences sur la productivité de la plante.

## **MATERIEL ET METHODES**

### **1.- DESCRIPTION DU SITE EXPERIMENTAL**

Les essais réalisés ont été conduits sur le site de la ferme expérimentale agricole de Sétif. Cette ferme relève de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC). Les sols, brun calcaire, appartiennent au groupe des sols steppiques de la classification française (PERRIER et SOYER, 1970). Les analyses indiquent que la texture de l'ensemble des parcelles est de nature argilo-limono-sableuse, de bonne stabilité structurale (Chenaffi, 1997). Le sol se caractérise par une forte teneur en calcaire total de 33,5% avec un pH eau égale à 8,5. La moyenne pluviométrique des 16 dernières campagnes est de 400 mm, ce qui confirme la classification de ce site en zone semi-aride, avec une altitude moyenne de plus de 1081 m (ONM, 1996).

### **2.- DISPOSITIF EXPERIMENTAL**

#### **2.1.- L'essai de 1<sup>ère</sup> année ( 1995/96)**

L'expérimentation a porté sur le suivi de 84 génotypes d'orge à 6 rangs. Le semis a été réalisé le 28 novembre 1995. Le matériel végétal provient essentiellement de l'Icarda (Centre International de la Recherche Agronomique en Zones Sèches). Il est mis en place sous la forme d'un essai en blocs complètement randomisés à deux répétitions. La parcelle élémentaire est constituée de 6 rangs de 2,5 m de long. Les rangs sont espacés de 20 cm, soit une largeur de la parcelle élémentaire de 1,20 m.

Les techniques culturales appliquées à l'expérimentation sont un labour profond réalisé au mois de février 1995, suivi de deux passages du cover crop, l'un au mois d'avril et l'autre à la fin du mois de mai. La préparation du lit de semis a débuté par le passage du cover crop, suivi de l'épandage de 46 unités/ha de superphosphate à 46%, du passage d'un cultivateur et de la herse lourde. L'apport de 30 unités/ha d'engrais azoté

sous forme de sulfate d'ammonium à 21%, suivi du désherbage au 2,4 D, à raison de 0,75 l de solution commerciale mélangée dans 250 l d'eau pour un hectare, ont été réalisés en plein stade tallage.

## 2.2.- Les notations réalisées

Les notations effectuées ont porté sur la date de réalisation de l'épiaison (JAE), comptée en nombre de jours du 1<sup>er</sup> janvier à la date de sortie de plus de 50% des épis par génotype par parcelle élémentaire. La date du 1<sup>er</sup> janvier est prise arbitrairement pour éviter les différences de date de semis entre années. La biomasse aérienne produite au stade épiaison (BIOJAE) et à maturité (BIOMAT) est déterminée sur la base du poids d'un échantillon récolté à partir d'un rang long de 100 cm par parcelle élémentaire, après passage à l'étuve à 105°C pendant 12 h. La hauteur des plantes (PHT) est mesurée du sol jusqu'au sommet des épis de la strate moyenne, barbes non incluses. Le nombre d'épis par unité de surface (NE) est compté sur l'échantillon ayant servi à la détermination de la biomasse aérienne produite à maturité. Le rendement en grain (RDT) est déterminé du produit de la récolte, à la moissonneuse batteuse, de l'essai. Le poids de 1000 grains (PMG) est basé sur le poids d'un échantillon de 250 grains. Le nombre de grains par épi (NGE) est calculé en utilisant le nombre d'épis, le poids moyen de mille grains et le rendement en grain.

## 2.3.- Analyse des données

Une analyse de la variance a été effectuée sur les données recueillies à partir des différentes parcelles de l'essai mis en place pour déterminer l'effet génotype (STEEL et Torrie, 1980). Le modèle additif adopté est :

$$y_{ij} = \mu + g_i + b_j + e_{ij}, \text{ avec}$$

$y_{ij}$  représente la valeur observée du génotype  $i$  sur la parcelle  $j$ .

$\mu$  est la moyenne générale de l'essai

$g_i$  est l'effet du génotype

$b_j$  est l'effet des blocs

$e_{ij}$  est la résiduelle de l'analyse de la variance.

Les relations entre les différentes paires de variables mesurées sont décrites et analysées par le calcul des corrélations phénotypiques, basées sur les moyennes génotypiques. La régression progressive a été utilisée pour identifier les variables qui participent le plus à l'explication de la variation du rendement en grain, observée au niveau de l'essai (TOMASSON *et al.* 1993). Dans cette méthode les variables explicatives sont introduites une à une dans le modèle, et seules celles qui expliquent le plus de la variation du caractère dépendant ( le rendement en grain), sont retenues par le modèle (DRAPER et SMITH, 1981). Ces analyses sont complétées par une analyse en composantes principales ( ACP). C'est une représentation plane des variables mesurées et des génotypes étudiés. L'intérêt de la méthode est de visualiser les groupages possibles entre variables mesurées et les génotypes correspondants (TOMASSON *et al.* 1993). Comme les coefficients de corrélations ne discriminent pas entre les causes et les effets de l'association entre les variables mesurées, on a utilisé l'analyse de piste (DEWEY et Lu, 1959). Cette méthode permet de subdiviser le coefficient de corrélation en effet direct du caractère corrélé sur la variable dépendante (rendement) et en effets indirects de ce même caractère via les autres variables non prises en compte par la corrélation.

L'héritabilité ( $h^2$ ) de chaque caractère a été calculée par le rapport :

$h^2 = \sigma^2g / \sigma^2p$ , avec  $\sigma^2p = \sigma^2g + \sigma^2e$ ,  $\sigma^2g$  étant la variance génotypique qui est déduite de la moyenne des carrés des écarts de l'analyse de la variance du caractère considéré.  $\sigma^2e$  est la variance résiduelle. Elle est égale au carré moyen résiduel divisé par le nombre de répétitions.  $\sigma^2p$  est la variance phénotypique qui est égale à la somme des deux variances citées précédemment (COMSTOCK et MOLL, 1963). Le gain génétique attendu (GGA) en sélection sur la base d'un caractère donné est calculé par :  $GGA = kh^2\sigma p$ .

Le coefficient k mesure l'intensité de la sélection en unité d'écart type. Il est égale à 2,06 au seuil de 5%.  $h^2$  est le coefficient de l'héritabilité.  $\sigma p$  est l'écart type phénotypique du caractère sélectionné (ALLARD, 1960). Une sélection divergente est menée sur la base de la précocité au stade épiaison. Les génotypes sélectionnés ont fait l'objet de l'expérimentation de la campagne 1996/97. La différentielle de sélection (DS) est prise comme la différence entre les moyennes des groupes de génotypes divergents pour le caractère pris comme critère de sélection. Le groupe de génotypes tardifs à l'épiaison est noté T et celui des génotypes précoces est noté P. La différentielle de sélection (DS) est calculée par :  $DS = XT - XP$ , X étant la

moyenne du nombre de jours à l'épiaison de l'ensemble des géotypes constituant un groupe donné.

### 3.- L'ESSAI DE 2<sup>ème</sup> ANNEE (1996/97)

Les groupes de géotypes contrastés pour la précocité à l'épiaison (Tableau 1) ont été semés le 25 novembre 1996, dans un dispositif en blocs complètement randomisés avec trois répétitions. La parcelle élémentaire est constituée de 2 rangs de 2 m de long avec des écartements de 20 cm entre les rangs. Les notations réalisées ont portés sur les mêmes caractères mesurés sur l'essai de la première année. La réponse à la sélection (RS) est calculée par la différence entre les moyennes des groupes divergents T et P:  $RS = XT - XP$ , X étant la moyenne de la durée à l'épiaison, calculée sur l'ensemble des géotypes d'un groupe donné. Les réponses corrélatives sont aussi calculées et discutées. L'héritabilité réalisée en sélection sur la base de la durée à l'épiaison est calculée par le rapport RS/DS (SHARMA et SMITH, 1986).

**Tableau 1** - Liste des géotypes sélectionnés sur la base de la précocité à l'épiaison

Ordre	Pedigree	N°*
<b><i>Géotypes précoces à l'épiaison (P)</i></b>		
P1	Arizona5908/Aths//Lignée640/3/Ci8887//Ci5761/3/Lignée 640	51
P2	Awnblack/Aths//Arar/3/Tichedrett	60
P3	M66-69-1/Mg5-94//70-22.109/3/Apm//B65/4/Gido's/5/Cm67/Centeno//Cam	35
P4	Pue//M126/Cm67//C63/4/Ager//Api/Cm67/3/Cel/Wi2269//Ore/Giza 121	76
P5	Guscoe/7/Api/Cm67//Har03/4/Cal/Cm67//Apm/3/Rm1508/5/Atiki/6/Mar/Aths	17
P6	Comp. Cross 229//AS.46/Pro/3/Deiralla106/Mza/D171	01
P7	Aths/Lignée686//9.Cr.279.07/3/Roho	50
P8	Awnblack/Aths//Arar/3/NKH1272/Moroco9.75	04
<b><i>Géotypes tardifs à l'épiaison (T)</i></b>		
T1	As57/Kitchin	47
T2	Lignée527/NKH1272/4/Lignée527//Bahtim/D171/3/Api/Cm67//Mzq	29
T3	Quinn/Rihane//Quinn/3/Lignée640/4/Cm67//Agro/3/Sv2109/Maris	09
T4	Lignée527/Chaarani01//Rihane03	22
T5	Matnan01/VL76252//Jaidor	56
T6	80.5145/N.acc.4000.301.80	53
T7	Nacha2/3/Arizona5908/Aths//Lignée640	11
T8	Clipper/Deiralla108.50.2	31

\* = numéro dans l'essai d'origine " Barley Yield Trial Algeria 1995/96".



## RESULTATS ET DISCUSSION

### 1.- ETUDE DE LA VARIABILITE PHENO-MORPHOLOGIQUE DE L'ESSAI DE 1995/1996

L'utilité de la caractérisation phénotypique est de déterminer l'étendue de la variabilité génotypique pour les caractères morphologiques qui contribuent à l'adaptation et à la productivité de la plante dans un milieu donné. L'étude de la variabilité est nécessaire pour évaluer le progrès possible suite à la sélection d'un caractère donnée (KERVALLA *et al.* 1991). L'analyse de la variance des caractères mesurés indique des effets génotypes significatifs pour le précocité, la hauteur des plantes, le poids de 1000 grains, la biomasse aérienne produite à l'épiaison et à maturité, le nombre de grains par épi et le rendement grain. Le nombre d'épis/m<sup>2</sup> ne montre pas d'effet génotype significatif (Tableau 2).

#### 1.1.- Liaisons entre les caractères mesurés

Le rendement en grain est la résultante de plusieurs caractères qui contribuent à sa réalisation. Ce caractère est de ce fait le plus étudié pour déterminer comment l'améliorer dans un environnement donné (McKee, 1978). La corrélation entre le rendement en grain et les caractères mesurés renseigne sur les changements qui s'opèrent dans le rendement lorsque le caractère lié varie (GRAFIUS, 1978). Les caractères liés au rendement en grain sont utiles à identifier dans le milieu pour lequel la sélection est souhaitée, parce qu'ils déterminent la réalisation d'un niveau donné de rendement comme ils déterminent souvent sa stabilité (CECCARELLI *et al.* 1992). Le rendement en grain est corrélé positivement et significativement au nombre de grains par épi ( $r = 0,831^{**}$ ), à la biomasse aérienne mesurée à maturité ( $r=0,521^*$ ) et à la durée à l'épiaison ( $r = 0,489^{**}$ ). Le nombre de grains par épi est positivement corrélé à la biomasse produite à maturité ( $r=0,485^{**}$ ), à la durée à l'épiaison ( $r = 0,568^{**}$ ) et négativement corrélé au nombre d'épis/m<sup>2</sup> ( $r = -0,509^{**}$ ). Une bonne fertilité est donc indicatrice d'un bon rendement en grain et d'une bonne production de biomasse aérienne à maturité. Elle est aussi indicatrice d'une tardiveté à l'épiaison et d'un nombre d'épis/m<sup>2</sup> au dessous de la moyenne. Ces résultats indiquent que le nombre de grains/épi est associé positivement à la phénologie de la plante et qu'il détermine le rendement en grain.

**Tableau 2** - Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des caractères mesurés des 84 géotypes et différentielle de sélection de la précocité à l'épiaison

<b>Carrés moyens des écarts</b>									
Source	ddl	JAE	BIO <sub>JAE</sub>	BIO <sub>MAT</sub>	PHT	NE	PMG	RDT	NGE
Géotype	83	64,4**	25741**	90483**	90**	35420ns	27,6*	11284**	16,4*
Résidus	84	12,6	14607	35874	28	29600	16,5	4224	10,2
CV(%)		3,3	20,5	17,2	8,5	23,5	9,1	25,3	48,5
<b>Moyennes caractéristiques de l'ensemble des 84 géotypes étudiés</b>									
X Gén.		107,6	588,1	1102,5	63,8	730,6	44,7	257,2	8,3
X Max.		129,0	992,0	1320,0	75,5	1194,0	78,0	485,0	15,9
X min.		102,0	323,0	693,0	40,5	300,0	44,0	100,0	2,0
Ppds(5%)		5,9	200,0	314,0	8,7	285,5	6,7	107,8	5,3
<b>Différentielle de sélection et caractéristiques des groupes contrastés pour la précocité</b>									
XT		111,6	64,5	609,2	994,6	787,1	43,3	292,1	8,0
XP		103,6	57,9	597,5	1076,0	730,7	44,0	207,4	6,9
DS		8,0*	6,6*	11,7ns	-81,3ns	56,5ns	-0,7ns	84,6*	1,1ns

JAE = durée en jours à l'épiaison; BIO<sub>JAE</sub> = Biomasse à l'épiaison; BIO<sub>MAT</sub> = biomasse aérienne à maturité PHT = hauteur des plantes; NE = nombre d'épis/m<sup>2</sup>; PMG = poids de 1000 grains; RDT = rendement grain; NGE = nombre de grains/épi; X Gén. = moyenne générale de l'essai de 1995/96; X Max. = valeur maximale observée; X min. = valeur minimale observée; XT = moyenne observée en 1995/96 du groupe de géotypes tardifs; XP = moyenne du groupe précoce; DS = différentielle de sélection.; ns, \*, \*\* : effet géotype non significatif, significatif au seuil de 5 et 1% respectivement.

La hauteur de la plante est positivement corrélée à la durée à l'épiaison ( $r = 0,423^{**}$ ), à la biomasse à maturité ( $r = 0,375^{**}$ ), au poids de 1000 grains ( $r = 0,381^{**}$ ), et au nombre d'épis/m<sup>2</sup> ( $r = 0,466^{**}$ ). Le poids de 1000 grains est positivement corrélé à la biomasse aérienne produite à maturité ( $r = 0,361^{**}$ ). Ces résultats corroborent ceux rapportés par BOUZERZOUR et MONNEVEUX (1992) qui notent que la hauteur des plantes, corrélée positivement à la biomasse aérienne produite à maturité, est un indicateur d'une forte production de paille. Ils observent aussi que les variétés, les plus hautes, produisent un grain plus gros et elles sont plus tardives au stade épiaison. La grosseur du grain contribue donc aux différences génotypiques de la biomasse aérienne produite à maturité. Les résultats de l'étude des corrélations montrent que la durée à l'épiaison joue un rôle important dans la réalisation du rendement en grain d'un génotype donné. La précocité rythme le développement de la plante, ajuste le nombre de grains/épi et la biomasse aérienne produite à maturité qui agissent positivement sur le rendement en grain. Ces résultats confirment ceux rapportés par ABBASSENNE *et al.* (1998) qui trouvent, chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.), une corrélation positive entre le rendement grain et la biomasse produite à maturité.

La régression progressive indique que le rendement en grain est déterminé à 95% par ses composantes :

$$RDT = 28,8 \text{ NGE} + 0,29 \text{ NE} + 4,10 \text{ PMG} \quad (R^2 \text{ multiple} = 0,95).$$

La coefficient de détermination partiel, qui mesure l'importance de la contribution de chaque variable active à l'explication de la variation du rendement en grain indique que la fertilité est l'élément essentiel dans la formation du rendement en grain des génotypes étudiés au cours de la première année d'étude ( $r$  partiel du NGE = 0,90,  $r$  partiel du NE = 0,68, et  $r$  partiel du PMG = 0,30). La contribution de cette composante du rendement en grain se confirme au niveau de l'analyse de piste qui montre que l'effet direct le plus important est celui de la fertilité ( $P_i = 1,0825$ ), suivi du nombre des épis /m<sup>2</sup> ( $P_i = 0,5680$ ) et du poids de 1000 grains ( $P_i = 0,2280$ ) (Tableau 3). La fertilité agit indirectement et positivement sur le rendement en grain par le biais de la durée à l'épiaison ( $r_{ij}P_{ij} = 0,6152$ ) et de la hauteur des plantes ( $r_{ij}P_{ij} = 0,5245$ ). Elle agit négativement sur ce même caractère par le biais de la biomasse produite à maturité et par le nombre d'épis/m<sup>2</sup>; parce que les fortes valeurs du nombre de grains/épi sont associées avec de faibles valeurs de la biomasse aérienne et du nombre d'épis/m<sup>2</sup>.

**Tableau 3** - Coefficients de piste (P) entre le rendement grain et les variables mesurées chez les 84 géotypes

Variables	P	Effets indirects via						
		JAE	BIO <sub>JAE</sub>	BIO <sub>MAT</sub>	PHT	NE	PMG	NGE
JAE	0,0281	...	-0,004	0,001	0,011	-0,009	0,005	0,016
BIO <sub>JAE</sub>	0,0324	-0,005	...	0,005	0,006	0,004	0,000	-0,001
BIO <sub>MAT</sub>	-0,0727	-0,002	-0,010	...	-0,027	-0,033	-0,027	0,009
PHT	0,0243	0,010	0,004	0,009	...	-0,004	0,008	0,012
NE	0,5680	-0,199	0,062	0,265	-0,098	...	-0,086	-0,289
PMG	0,2228	0,042	0,002	0,085	0,080	-0,033	...	0,001
NGE	1,0825	0,615	-0,004	-1,365	0,524	-0,550	0,003	...

JAE = Durée en jours à l'épiaison; BIO<sub>JAE</sub>= Biomasse à l'épiaison; BIO<sub>MAT</sub>= Biomasse aérienne à maturité  
PHT= Hauteur des plantes; NE= Nombre d'épis/m<sup>2</sup>; PMG = Poids de 1000 grains; RDT = Rendement grain;  
NGE = Nombre de grains/épi.

Les résultats de l'analyse en composantes principales montrent que la variation de la productivité chez les génotypes étudiés est dépendante de la durée à l'épiaison et de la biomasse aérienne mesurée à maturité (Figure 1). La durée à l'épiaison, le rendement en grain, le nombre de grains/épi et la hauteur de la plante sont positivement corrélés à l'axe 1, qui explique 43,6% de la variation observée. Le nombre d'épis/m<sup>2</sup> est négativement lié à l'axe 1. La biomasse aérienne produite au stade épiaison est mal représentée par le plan des axes 1 et 2. La biomasse produite à maturité et le poids de 1000 grains sont négativement corrélés à l'axe 2 qui explique 26,4% de la variation observée. La précocité apparaît donc comme une caractéristique qui intervient dans la réalisation du rendement et de ses composantes chez un génotype donné. Elle doit être étudiée pour déterminer l'optimum qui permet l'extériorisation d'un niveau de rendement acceptable dans le milieu pour lequel la sélection est envisagée.

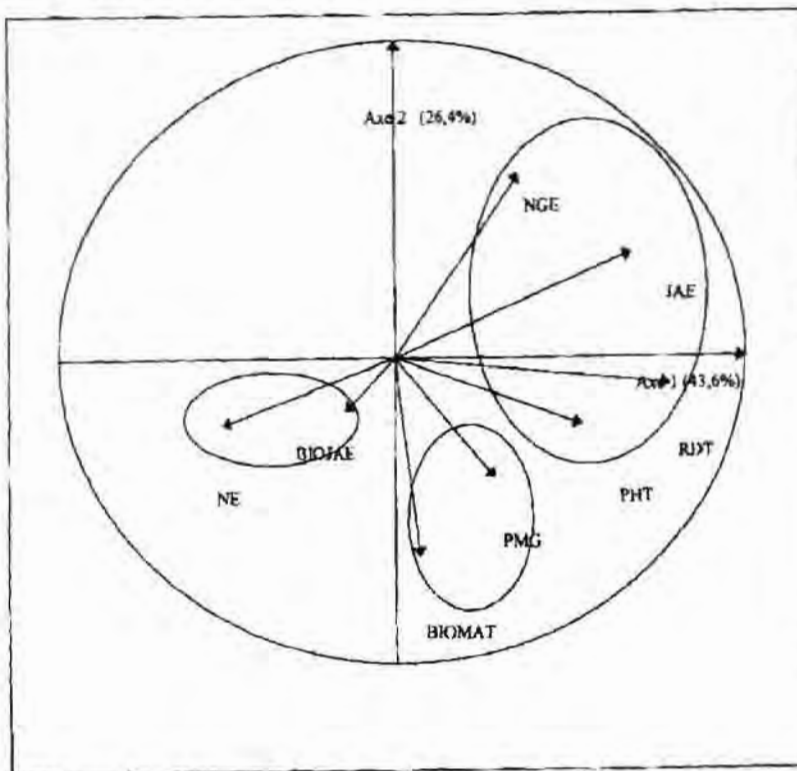


Figure 1 : Cercle de corrélations des caractères des 84 génotypes sur le plan des axes 1 et 2 de l'ACP.

### **1.2.- Héritabilité et gain génétique attendu en sélection de la précocité**

La distribution fréquentielle de la durée à l'épiaison, observée chez les 84 génotypes étudiés, montre une prépondérance (90%) de génotypes relativement plus précoces, avec une durée inférieure à 112 jours. Le sens de la sélection est dirigé vers la recherche d'une plus grande précocité à l'épiaison. Les génotypes tardifs sont peu représentés dans l'échantillon étudié. La précocité est utilisée dans ce cas, comme mécanisme d'esquive des effets pénalisants de la sécheresse et des hautes températures de fin de cycle, qui sont omniprésents en zones arides et semi-arides. L'héritabilité au sens large de ce caractère est de 0,67. Le gain génétique attendu en sélection est de 8,6 jours soit 8% de la moyenne de l'échantillon des génotypes étudiés. La sélection des génotypes extrêmes donne une différentielle de sélection de 8 jours. Cette différentielle est assez importante en comparaison de la plus petite différence significative au seuil de 5% qui est de 5,9 jours. Les moyennes des groupes précoce et tardif sont égales à 103,6 et 111,6 jours (Tableau 2). La différentielle de sélection, de 8 jours en faveur d'une longue durée à l'épiaison, s'accompagne par des écarts positifs et significatifs pour la hauteur de paille et le rendement en grain. Le nombre d'épis/m<sup>2</sup> et la biomasse aérienne à maturité sont en faveur d'une longue durée de la phase levée-épiaison, mais leurs effets ne sont pas significatifs (Tableau 4).

**Tableau 4** - Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des caractères mesurés des groupes de géotypes divergents pour la précocité aux cours des deux années (1995/96 et 1996/97), réponse à la sélection et moyennes des caractères mesurés.

<b>Carrés moyens des écarts</b>									
Source	ddl	JAE	PHT	BIO <sub>JAE</sub>	BIO <sub>MAT</sub>	NE	PMG	RDT	NGE
Année (A)	1	1207**	810**	398792**	1969460**	428ns	1236*	155039**	41*
Génot (G)	15	52**	44**	12841**	69123**	41908ns	15ns	7305*	9,8ns
P vs T	1	612**	192**	12825ns	28942ns	92,6ns	1ns	16065*	14ns
A x G	15	16**	97*	16170ns	41755ns	37400ns	15ns	8049*	8,8ns
P1 vs P2	1	682**	2888**	111038**	215240**	23058ns	606**	14407*	16ns
T1 vs T2	1	378**	5075**	313434**	778440**	32765ns	630**	190807**	5,6ns
Résiduelle	31	7,3	11,7	9224	10037	5666	6,2	1442	4,5
<i>Réponse à la sélection (RS) et caractéristiques des groupes divergents</i>									
XT		118,4	39,3	411,3	682,6	723,1	34,4	137,6	6,2
XP		114,0	38,9	479,6	686,3	784,3	35,3	162,0	5,4
RS		4,4**	0,3ns	-67,3*	-3,6ns	-67,2*	-0,8*	-4,3ns	0,7ns
<i>Effet moyen de la sélection sur la base de la précocité</i>									
XGT		115,0	51,9	510,2	838,6	755,2	39,6	214,9	7,1
XGP		108,8	48,4	538,5	881,1	762,5	38,8	183,2	6,2
Différence		6,0*	3,4*	-28,3ns	-42,5ns	-7,3ns	0,8*	31,7*	0,9ns
<i>Effet moyen année</i>									
X95/96		107,6	61,2	603,3	1035,3	758,9	43,6	248,2	7,4
X96/97		116,2	39,1	445,5	684,5	753,7	34,8	149,8	5,8
Différence		-8,6	22,0*	157,8*	350,8*	5,1ns	8,7*	98,4*	1,6*
Moy. générale		111	50,1	524,4	859,5	756,3	39,2	199,1	6,6

P= Groupe de géotypes précoces, avec P1 valeurs de la première année (95/96) et P2 = valeurs de la deuxième année (96/97); T= groupe de géotypes tardifs, avec T1 valeurs de la première année (95/96) et P2 = valeurs de la deuxième année (96/97); JAE = durée en jours à l'épiaison; BIO<sub>JAE</sub> = Biomasse à l'épiaison; BIO<sub>MAT</sub> = biomasse aérienne à maturité; PHT= hauteur des plantes; NE= nombre d'épis/m<sup>2</sup>; PMG = poids de 1000 grains; RDT = rendement grain; NGE = nombre de grains/épi; XT= moyenne observée en 1996/97 du groupe de géotypes tardifs; XP= moyenne observée en 1996/97 du groupe de géotypes précoces; RS= Réponse à la sélection; XGT= moyenne des deux années du groupe de géotypes tardifs; XGP = moyenne des deux années du groupe de géotypes précoces; X = moyenne du caractère; ns, \*, \*\* : effet géotype non significatif, significatif au seuil de 5 et 1% respectivement.

## **2.- REPONSE A LA SELECTION ET INTERACTION GENOTYPE X ANNEE DE LA PRECOCITE**

### **2.1.- Réponse à la sélection de la précocité**

La réponse à la sélection de la précocité est positive et significative puisque la différentielle de la sélection de 8 jours est réduite à 4,4 jours soit un coefficient de l'héritabilité réalisé de 0,55. La sélection sur la base de la précocité est donc effective puisque la différence entre groupes divergents se maintient l'année suivante. Ces résultats sont en accord avec ceux de BALKEMA-BOOMSTRA (1988) qui, en sélectionnant sur la base de la précocité au stade gonflement, réussit à réduire la durée à l'épiaison de 5 jours, chez trois populations de blé tendre (*Triticum aestivum* L.). La réponse directe à la sélection s'accompagne de réponses corrélatives significatives de la part de la biomasse aérienne produite à l'épiaison, du nombre d'épis/m<sup>2</sup> et du rendement en grain. Les moyennes de ces caractères sont en faveur du groupe de génotypes précoces (Tableau 4). Ces résultats corroborent ceux rapportés par TURNER et Nicolas (1987) et par LE GOUIS (1992). Les réponses corrélatives des autres caractères sont non significatives, indiquant que de fortes et faibles valeurs de ces variables coexistent aussi bien chez des génotypes précoces que tardifs au stade épiaison. Ces résultats diffèrent cependant de ceux observés en première année de la présente étude et de ceux rapportés par BOUZERZOUR et BENMAHAMMED (1994) et par BOUZERZOUR et DJEKOUN, (1996) qui trouvent que le nombre de grains/épi est positivement corrélé à la durée de la phase levée-épiaison et que la moyenne de ce caractère augmente à mesure que la durée à l'épiaison est longue. Cette divergence des résultats indique l'existence d'interactions génotype x année qui diminuent l'information apportée par les liaisons inter-caractères basées sur les données d'une seule année.

### **2.2.- Interaction génotype x année de la précocité**

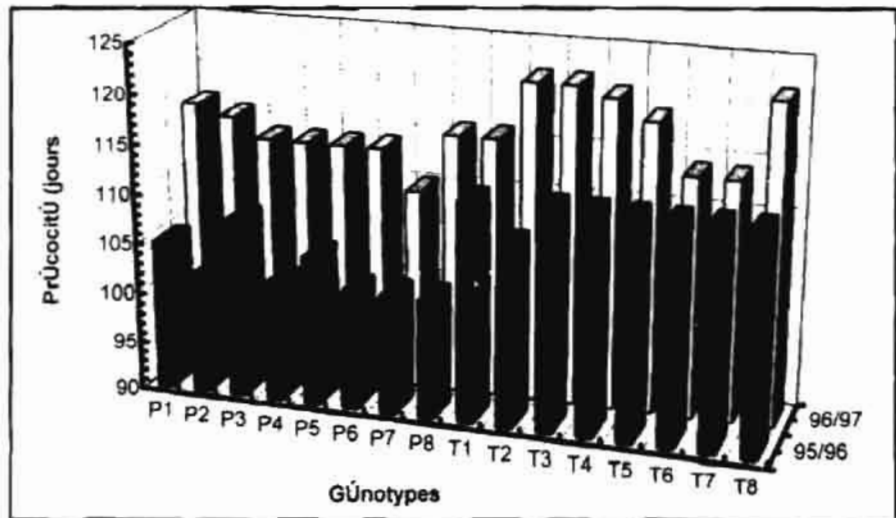
L'analyse de la variance des données des groupes contrastés pour la précocité, des deux années, indique un effet année très important et significatif pour l'ensemble des variables analysées, donc les caractères phéno-morphologiques de l'orge conduite en zone semi-aride sont fortement soumis à la variation inter-annuelle. L'effet génotype et l'interaction génotype x année ne sont significatifs que pour la précocité à l'épiaison, pour la



hauteur des plantes et pour le rendement en grain (Tableau 4). Ces résultats indiquent que les niveaux des moyennes affichés par les variables mesurées changent fortement en fonction des années. Les différences entre génotypes réussissent à s'exprimer malgré cet effet année très élevé. Cependant les différences génotypiques changent de sens ou d'amplitude selon l'année pour ces caractères. En effet l'écart inter-années varie de 2 jours pour la durée à l'épiaison de 80.5145 /N.acc. 4000. 301. 80 (T6) à 14 jours chez Awnblack/ Aths// Arar/3/ Tichedrett (P2) ( Figure 2). L'écart de rendement grain varie de -25 g/m<sup>2</sup> chez Pue// M126/ Cm67// C63/4/ Ager// Api/ Cm67/3/ Cel/Wi2269// Ore/Giza 121 (P4) , à zéro chez Nacha2/3/ Arizona5908 /Aths// Lignée 640 (T7) à +215 g/m<sup>2</sup> chez 80.5145/N.acc.4000.301.80 (T6) (Figure 3). L'interaction génotype x année significative indique que les génotypes sélectionnés ne sont pas stables pour les caractères analysés, d'une année à l'autre. Ceci est très important, parce que le recours à la sélection sur la base des caractères autres que le rendement grain est réalisé sous l'hypothèse que ces derniers sont moins soumis à la variation environnementale comparativement au rendement en grain (CECCARELLI *et al.* 1992; BOUZERZOUR et DJEKOUN, 1996; BOUZERZOUR *et al.* 1998). L'utilité de la sélection sur la base de la précocité au stade épiaison est justifiée aussi par le souci de donner à la plante un cycle de développement qui lui permet d'éviter les contraintes climatiques tels que le froid tardif (BOUZERZOUR et BENMAHAMMED, 1994), la sécheresse et les hautes températures de fin de cycle (OOSTEROM *et al.* 1993). Dans cet objectif, la stabilité de la précocité au stade épiaison est importante pour limiter les risques liés à la variabilité climatique (HADJICHRISTODOULOU, 1987; ABBASSENNE *et al.* 1998).

L'étude des moyennes des deux années montre que le matériel végétal étudié a épié plus tôt en 1995/96 qu'en 1996/97, les moyennes par année étant respectivement de 107,6 et 116,2 jours. La différence de 8,6 jours est due aux effets de la sécheresse qui a fortement marqué l'hiver de la campagne 1996/97. La pluie cumulée en 1995/96 et en 1996/97 a été de 203 et 44,3 mm pour la période janvier à mars. Cette sécheresse a fortement réduit de la production de la biomasse aérienne et de la vitesse de croissance et de développement des génotypes étudiés. Elle a engendré une tardiveté au stade épiaison associée à une forte réduction de la hauteur des plantes (-22,1 cm), de la biomasse aérienne (-350,0 g/m<sup>2</sup>), du rendement en grain (-98,0 g/m<sup>2</sup>) et du poids de 1000 grains (-8,8 g/1000 grains) (Tableau 4). Les écarts de précocité entre années, par génotype, varient de 9 à 17

jours chez le groupe de génotypes précoces et de 5 à 17 jours chez le groupe de génotypes tardifs. La variance phénotypique est cependant de 156,5 jours chez le groupe de génotypes précoces et de 116,3 jours chez le groupe de génotypes tardifs. Le rapport des variances est égale à 1,35. Il indique une plus grande variation de la durée levée-épiaison chez les génotypes précoces. Un génotype précoce a tendance, donc, à épier plus tôt ou plus tard, selon que l'hiver est plus doux ou plus rigoureux. Les génotypes tardifs ont tendance, par contre, à épier à une date plus ou fixe ( Figure 2).



**Figure 2 :** Variation de la durée à l'épiaison sur deux années (1995/96 et 1996/97) chez les groupes de génotypes sélectionnés sur la base de la précocité ( P1 à P8 génotypes précoces, T1 à T8 génotypes tardifs et pour le pedigree voir tableau 1).

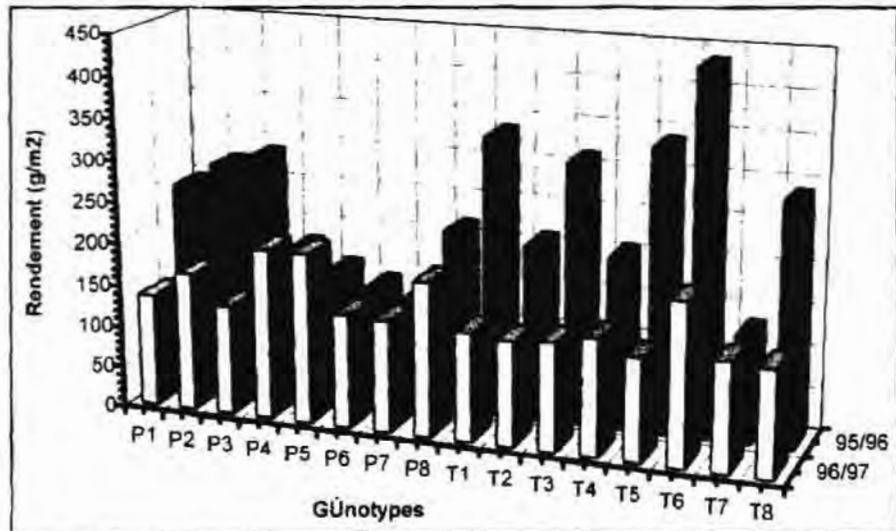
En effet, en moyenne des deux années, la durée à l'épiaison chez le groupe tardif est de 115 jours avec une étendue inter-année de 107,6 à 118,4 jours; alors que chez le groupe précoce, la moyenne des deux années est de 108,8 jours avec une variation inter-année de 103,6 à 114, 0 jours.

Le groupe précoce, en deuxième année, est plus tardif que le groupe tardif en première année (Tableau 4). Certains génotypes du groupe tardif attirent l'attention sur leur capacité à épier à plus ou moins un date fixe ( Figure 2). ABBASSENNE *et al.* (1998) ont observé le même phénomène chez le blé dur.

Ceci s'explique probablement par le fait que les génotypes précoces répondent plus aux sommes des degrés-jours accumulés, alors que les génotypes tardifs répondent plus aux températures vernales et à la photopériode (WORLAND *et al.* 1994). Ces résultats corroborent ceux de HADJICHRISTODOULOU (1987) qui trouve que les variétés tardives sont plus régulières du point de vue date d'épiaison et de production. ABBASSENNE *et al.* (1998) rapportent l'existence de génotypes très stables pour la date d'épiaison chez le blé dur. Ces auteurs recommandent que les mécanismes génétiques et physiologiques qui sont à la base du contrôle de la précocité à l'épiaison soient étudiés pour faciliter le choix de génotypes appropriés dans la recherche d'une plus grande adaptation à la variabilité climatique de la région.

L'interaction génotype x année du rendement en grain indique un changement dans le comportement des groupes de génotypes sélectionnés (Figure 3). En effet la première année de l'étude (1995/96), les meilleurs rendements sont observés chez les génotypes plutôt tardifs à l'épiaison avec une moyenne de 292,7 g/m<sup>2</sup> contre 207,4 g/m<sup>2</sup> pour le groupe de génotypes précoces à l'épiaison. La seconde année, on note une inversion de la productivité chez les groupes de génotypes sélectionnés. L'avantage devient au profit des génotypes précoces à l'épiaison, avec une moyenne de rendement en grain de 161,8 g/m<sup>2</sup> contre 137,6 g/m<sup>2</sup>. L'avantage de rendement, en faveur de la précocité, s'explique par l'action de la sécheresse qui a été plus forte sur le matériel tardif et aussi à l'absence d'effet du gel tardif. Du point de vue variabilité de rendement en grain, on note que les rendements du groupe de génotypes précoces sont plus groupés, alors que ceux du groupe de génotypes tardifs sont plus dispersés. Les variances d'échantillons sont respectivement égales à 2677,1 et 9651,5. Les moyennes de rendement en grain des deux années sont de 183,0 et 214,8 g/m<sup>2</sup>, respectivement pour les groupes de génotypes précoces et tardifs au stade épiaison. Ces résultats mettent en relief l'influence de la variation de la date d'épiaison dans la variabilité du rendement en grain. En effet lors des années caractérisées par une sécheresse de fin de cycle assez élevée, associée à de fortes températures, l'avantage de production va aux génotypes précoces à l'épiaison qui réussissent à réduire des effets pénalisants des contraintes

climatiques de fin de cycle. C'était le cas de la campagne 1996/97, où une différence de 4,4 jours de précocité, en moyenne entre groupes divergents, a permis un avantage de rendement grain de 24,3 g/m<sup>2</sup>, soit 5,5 g/m<sup>2</sup> pour chaque jour gagné en précocité au stade épiaison. FISHER et KERTZ (1976) rapportent 30 g/m<sup>2</sup> pour chaque jour gagné en précocité. A l'inverse, lors des années avec une fin de cycle plus clémente, les génotypes tardifs sont les plus productifs. C'était le cas de la campagne 1995/96, où une différence de précocité entre groupes divergents de 8 jours, s'accompagne par une différence de productivité de 81,69 g/m<sup>2</sup>, soit 10,58 g/m<sup>2</sup> de rendement de gagné par jour de retard au stade épiaison.



**Figure 3 :** Variation du rendement grain sur deux années (1995/96 et 96/97) chez les groupes de génotypes sélectionnés sur la base de la précocité (P1 à P8 génotypes précoces, T1 à T8 génotypes tardifs et pour le pedigree voir tableau 1).

Comme la sécheresse et les hautes températures de fin de cycle sont les caractéristiques dominantes des zones semi-arides d'altitudes (BALDY, 1974), il serait judicieux de privilégier la sélection vers une plus grande précocité au stade épiaison. Cependant ce choix reste limité car il comporte des risques encourus vis à vis du gel tardif qui est une autre caractéristique, certes moins présente comparativement à la sécheresse, mais qui existe néanmoins en zones semi-arides d'altitude (CECCARELLI *et al.* 1992, OOSTEROM *et al.* 1993). La recherche sur la tolérance au froid tardif est nécessaire pour pouvoir exploiter l'avantage de productivité des génotypes précoces et échapper aux stress de fin de cycle.

## CONCLUSION

La sélection sur la base de la précocité au stade épiaison est efficace de par la réponse qui est positive et significative. Cependant, cette sélection s'accompagne par des réponses corrélatives du rendement en grain variables d'une année à l'autre. Cette variabilité du rendement grain est expliquée par le fait que lors des années gélives, l'avantage de productivité est en faveur des génotypes tardifs, alors que lors les années non gélives, aux fins de cycle sèches, ce sont les génotypes précoces qui réussissent à produire plus. De ce fait l'utilisation de la précocité au stade épiaison pour échapper aux stress de fin de cycle nécessite l'introduction la tolérance au gel tardif chez les génotypes d'orge destinés aux zones semi-arides d'altitude.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABBASSENNE F., BOUZERZOUR H., HACHEMI L., 1998** - Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride d'altitude. Annales Agronomiques de l'INA, Alger. 18, 24 -36.
- ACEVEDO E., CRAFURD P.Q., AUSTIN R.D., PEREZ MARCO P., 1991**- Traits associated with high grain yield in barley in low yielding environments. J. Agric. Sci. Camb. 116, 23-36.
- ALLARD R.W., 1960** - Principles of plant breeding. Longman, N.Y, London, 278 p.
- BALDY G., 1974** - Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques et de leurs influences sur la production des principales zones céréalières. Document Projet céréale, 70 p.
- BALKEMA-BOOMSTRA A.G., 1988** - The effects of selection for earliness and ear density on grain yield improvement in spring barley. Euphytica (S), 125-129.
- BOUZERZOUR H., 1998** - Sélection pour le rendement, la précocité au stade épisaison, 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, 170 p.
- BOUZERZOUR H., MONNEVEUX P., 1992** - Analyses des facteurs de stabilité du rendement de l'orge dans les conditions des hauts plateaux algériens. In Séminaire sur la tolérance à la sécheresse, INRA France, les Colloques 64, 205 - 215.
- BOUZERZOUR H., BENMAHAMMED A., 1994** - Environmental factors limiting barley grain yield in the high plateaux of eastern Algeria. Rachis 12, 11-14.
- BOUZERZOUR H., DJEKOUN A., 1996** - Etude de l'interaction génotype x lieu du rendement de l'orge en zone semi-aride. Rev. Sci. & Techn. Univ. Constantine, 7, 16-28.

- BOUZERZOUR H., ZERARGUI H., DEKHILI M., 1995** - Relationships among duration of vegetative and grain filling periods, yield components and grain yield in durum wheat, *Awamia* 75, 15-23.
- BOUZERZOUR H., DJEKOUN A., BENMAHAMMED A., HASSOUS K.L., 1998** - 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.
- CECCARELLI S., GRANDO S., HAMBLIN J., 1992** - Relationships between barley grain yield measured in low and high yielding environments. *Euphytica*, 64, 49-58.
- CHENAFI H., 1997** - Optimisation de l'apport d'appoint d'eau sur trois variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) à différents stades. Cas des hautes plaines Sétifiennes. Thèse magister, INA Alger, 64 p.
- COMSTOCK R.E., MOLL R.H., 1963** - Genotype-environment interactions. *In* Statistical genetics and plant breeding, Hanson WD, et Binson HF, (Eds), Proc. Natl. Acad. Sci. Publication 982, 164-196.
- DAVIDSON J.L., CHRISTIAN K.R., JONES D.B., BREMMER P.M., 1985** - Vernalization and photoperiod responses in bread wheat. *Aust. J. Agri. Res.* 36, 347-359.
- DEWEY D.R., LU K.H., 1959** - Correlation and path analysis of components of Crested wheat seed production. *Agro. J.*, 51,1-10.
- DRAPER N.R., SMITH H., 1981** - Applied regression analysis, 2<sup>nd</sup> eds. John Willey & Son, 700p.
- EHDAIE B., WAINES J.Gm 1988** - Differential responses of landraces and improved spring wheat genotypes to stress environment. *Crop Sci.* 28, 838-842.
- FALCONER D.S., 1982** - Introduction to quantitative genetics. Longman ed., London, NY. 340 p.
- FISHER R.A., KERTZ Z., 1978** - Harvest index in spaced population and grain weight in microplots as indicateurs of yielding ability in spring wheat. *Crop Sci.* 16, 55-59.



- FLETCHER R.J., 1983** - Breeding for frost resistance in early flowering wheat. Proc. 6th Inter. Wheat genetics Sympo. 965-969.
- GRAFIUS J., 1978** - Multiple characters and correlated response. Crop. Sci. 18,931-934.
- HADJICHRISTODOULOU M., 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. Agric. Sci. Camb. 108, 599-608.
- HAKIMI M., 1989** - Les systèmes traditionnels basés sur la culture de l'orge. Proc. Symp. on the agrometeorology of rainfed barley based farming systems. Eds WMO/Icarda, 179-183.
- 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.
- LE GOUIS J., 1992** - Etude de la variabilité génétique pour l'élaboration du rendement en grain de l'orge d'hiver (*Hordeum vulgare* L.). Comparaison de variétés à 2 et 6 rangs. Thèse de Doctorat INA PG., 87p.
- McKEE P., 1978** - The genetic basis of wheat systematics. Skh Bio. 3,12-25.ONM, -1996- Données climatologiques de la région de Sétif, 17p.
- 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.
- PERRIER A., SOYER J.P., 1970** - Culture céréalière sur les hauts plateaux. Etude de la rotation blé/jachère dans la région de Sétif. Doc Interne Station ITGC Sétif 25 p.
- SHARMA R.C., SMITH E.L., 1986** - Selection for high and low harvest index in three winter wheat populations. Crop Sci. 26, 1147-1150.
- SOMEL K., 1988** - The importance of barley in food production and demand in West Asia and North Africa. In Proc. Seminar on Increasing small ruminants productivity in semi arid areas. Eds Thomson EF, Thomson FS, 27-35.



**STEEL R.G.D., TORRIE J.H., 1980** - Principles and procedures of statistics. Mc Graw Hill Book Company Inc. NY. 632p.

**TOMASSON R., DERVIN C., MASSON J.P., 1993** - Biométrie : Modélisation des phénomènes biologiques. Ed Masson, Paris, 900 p.

**TURNER N.C., NICVOLAS M.E., 1987** - Drought resistance of wheat for light-textured soils in a Mediterranean climate. *In drought tolerance in winter cereals*. Eds Srivastava JP, Porceddu E, ACEVEDO E, Varma S. 203-216.

**WORLAND A.J., APENDINA M.L., SAYERS E.J., 1994** - The distribution in European winter wheat of genes that influence ecoclimatic adaptability while determining photoperiod insensitivity and plant height. *Euphytica* 80, 219-228.