

CONTRIBUTION DE LA SÉLECTION À L'AMÉLIORATION ET À LA STABILITÉ DES RENDEMENTS DE L'ORGE (*Hordeum vulgare* L.) DANS L'ÉTAGE BIOCLIMATIQUE SEMI-ARIDE.

H. BOUZERZOUR* , A. BENMAHAMMED**, N. BENKHARBACHE*** , KL. HASSOUS**

* ISN, Centre Universitaire Oum El Bouaghi, 4000.

** Station ITGC, BP 03, Sétif, 19000.

*** INA, Département phytotechnie, El Harrach, Alger, 16200.

Résumé : L'évaluation de la contribution de la sélection à l'amélioration et à la stabilité du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.), dans l'étage bioclimatique semi-aride a été réalisée sur la base du comportement de 13 variétés, au cours de six années consécutives, sur le site expérimental de la station ITGC de Sétif. Les résultats indiquent l'existence d'interactions génotype x environnement élevées qui sont la cause de l'instabilité d'expression de la capacité différentielle de rendement qui varie en moyenne de -4,5 à 20,3%. Le gain de rendement des nouvelles sélections n'est mis en évidence que lorsque le potentiel du milieu est conséquent. Il semble que pour le futur, la sélection doit être faite pour l'adaptation spécifique aux environnements les plus fréquents tout en tenant compte de la maîtrise de la durée du cycle (alternativité), de la tolérance aux basses températures (gel) en plus de la performance de rendement en grains.

Mots clés : *Hordeum vulgare* L., tolérance, stabilité, capacité différentielle de rendement, sélection, bioclimat semi-aride.

Summary : The evaluation of the breeding contribution to barley (*Hordeum vulgare* L.) grain yield improvement and stability, under semi-arid growth conditions, was done based on the behavior of 13 varieties, during six consecutive cropping seasons, at the ITGC agricultural research station, experimental site of Setif. The results indicated the occurrence of high genotype x environment interaction which caused the instability of the expression of the differential grain yield capacity which varied from -4.5 to 20.3%. Grain yield superiority of new selections was evident only when the production potential of the environment was consequent. It seems that for the future, selection must be done for specific adaptation to the most frequent environments, while controlling crop cycle duration, low temperatures tolerance and grain yield level.

Key words : *Hordeum vulgare* L., tolerance, stability, grain yield differential capacity, selection, semi-arid.

INTRODUCTION

Depuis le début des années soixante dix la Recherche Agronomique s'évertue à sélectionner de nouvelles variétés de céréales qui seraient capables d'améliorer sensiblement la production dans les zones où ces espèces occupent relativement de larges étendues, et notamment sur les hautes plaines de l'intérieur du pays. Trente années plus tard, plusieurs nouvelles variétés sont mises à la disposition des agriculteurs (BENMAHAMMED et al. 1999), mais les rendements restent faibles et variables, surtout dans les régions marginales où la variabilité climatique décide, au même titre sinon plus, que l'itinéraire technique et la variété adopté du résultat attendu (HAKIMI, 1989). Quel est l'apport due au progrès génétique réalisé ? Quel est le degré de stabilité de ce progrès ? La présente étude tente de répondre à ces questions en évaluant la contribution des nouvelles obtentions à l'amélioration et à la stabilité du rendement grain de l'orge cultivé dans l'étage bioclimatique semi-aride.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Dispositif expérimental et matériel végétal :

Onze nouvelles sélections plus les deux variétés locales d'orge, *Tichedrett* et *Saïda*, (Tableau I) ont été évaluées au cours de 6 années consécutives, 1991/92 à 1996/97, sur le site expérimental de la station ITGC de Sétif, situé dans l'étage bioclimatique semi-aride, à 1080 m d'altitude (36°5 N et 5° 21E). L'essai, mis en place chaque année, est conduit sous un dispositif en blocs complètement randomisés avec 4 répétitions. La parcelle élémentaire compte 6 rangs de 10 m de long, avec un espacement de 0,20 m entre deux rangs consécutifs.

Le semis est fait régulièrement au cours du mois de novembre. Les techniques culturales appliquées aux essais sont similaires à celles utilisées par la station pour son programme d'expérimentation et notamment l'apport de 1 q/ha de super phosphate à 46%, juste avant le semis, le désherbage effectué au 2,4-D à raison de 0,75 l/ha au cours de la phase de tallage et suivi part un apport de 1q/ha de sulfate d'ammonium à 21%.

Tableau I : Pedigree, année de sélection et origine des variétés d'orge évaluées sur le site expérimental de la station ITGC de Sétif.

Nom	Type	Sélection	Origine	Nom	Type	Sélection	Origine
Tichedrett	6 rangs	1950	locale	Tina	6 rangs	1986	Espagne
Saïda	6 rangs	1950	locale	Rahma	2 rangs	1990	Syrie
Ascad 176	6 rangs	1980	Syrie	Jaidor	6 rangs	1990	France
Soufara	2 rangs	1984	Syrie	Plaisant	6 rangs	1991	France
Barberousse	6 rangs	1986	France	Express	6 rangs	1991	France
Rihane	6 rangs	1986	Syrie	Tissa	2 rangs	1991	Syrie
Bégonia	6 rangs	1986	Espagne				

Mesures, notations et analyse des données :

Le suivi des essais comporte la datation de la réalisation des stades épiaison et maturité physiologique, la mesure de la hauteur des plantes, la biomasse aérienne produite au stade maturité et le rendement grain. Seul le rendement grain est développé dans le présent article, il est analysé selon le modèle additif avec deux facteurs étudiés. L'effet environnement est testé par rapport à la variance des blocs qui sont hiérarchisés aux environnements. L'effet génotype est testé par rapport à la variance d'interaction génotype x environnement (IGE) qui est testée par rapport à la variance résiduelle (MC INTOCH, 1983).

Les composantes de la variance sont déduites de la valeur des espérances moyennes (BOUZERZOUR et DJEKOUN, 1996). Le rapport de la variance d'interaction à la variance génotypique ($\sigma^2_{GE} / \sigma^2_G$) donne une mesure de l'amplitude de la variation environnementale. Le degré de stabilité est estimé par l'écovalence (W^2) de WRICKE (1962), la tolérance aux stress par l'indice S de FISCHER et MAURER (1978) et la supériorité génotypique par l'indice P de LIN et BINNS (1985). Ces indices sont calculés par les formules suivantes :

$$W^2 = \sum (\bar{x}_{ij} - \bar{x}_i - \bar{x}_j - \bar{x}_{..})^2$$

avec \bar{x}_{ij} est la moyenne observée du génotype i dans l'environnement j, \bar{x}_i est la moyenne du génotype i sur les N=6 environnements, \bar{x}_j est la moyenne de l'environnement j calculée sur les G =13 génotypes et $\bar{x}_{..}$ étant la moyenne générale de la matrice G x N.

$$S = (1 - \bar{x}_i \text{ st} / \bar{x}_i \text{ nst}) / (1 - \bar{x}_j \text{ st} / \bar{x}_j \text{ nst})$$

avec $\bar{x}_i \text{ st}$ est la moyenne observée du génotype i dans l'environnement stressé, $\bar{x}_i \text{ nst}$ est la moyenne du génotype i dans l'environnement non stressé, $\bar{x}_j \text{ st}$ est la moyenne de l'environnement j stressé et $\bar{x}_j \text{ nst}$ est la moyenne de l'environnement non stressée.

$$P = [\sum (\bar{x}_{ij} - \bar{x}_i)^2 / 2N]$$

avec \bar{x}_{ij} est la moyenne observée du génotype i dans l'environnement j, \bar{x}_i est la moyenne du génotype i le plus performant dans l'environnement j et N est le nombre d'environnements.

L'apport de chaque nouvelle sélection à l'amélioration du rendement, dite capacité différentielle de rendement (DYA) (FEYERHERM et al. 1984) est estimé par l'écart de rendement par rapport au témoin de référence Tichedrett:

$$DYA = \bar{x}_i - \bar{x}_{Tiched.}$$

avec \bar{x}_i = moyenne marginale de la sélection i et $\bar{x}_{Tiched.}$ = moyenne marginale de Tichedrett.

Une classification hiérarchique est faite pour grouper les environnements en fonction de la similitude de réponse des génotypes (MALHOTRA et al., 1991). Cette information oriente la sélection vers le génotype qui produit plus sur les environnements les plus fréquents et sur les pondérations à introduire dans le calcul des moyennes génotypiques (BOUZERZOUR, 1998). Une analyse en composantes principales est réalisée avec les données des valeurs prises par les indices P, S et W^2 et les rendements des 13 variétés dans les 6 environnements. Ces rendements ont été standardisés en divisant la moyenne de chaque génotype par l'étendue du site où cette moyenne a été notée, pour ne pas donner plus de poids aux environnements les plus performants (YAU, 1991).

Pour déterminer les paramètres climatiques qui sont mis en cause dans le comportement différentiel des variétés typiques, Tichedrett à cycle long et Acsad 176 à cycle court, une matrice de corrélations fut calculée entre les DYA de ces variétés typiques et les variables climatiques couramment prises par la station de l'Office National de la Météorologie sise à moins de 2 km du site expérimental (ONM, 1999).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Capacité différentielle de rendement (DYA) :

L'analyse de variance du rendement grain indique des effets environnement, génotype et interaction génotype x environnement (IGE) hautement significatifs (Tableau II). La présence d'une IGE complique les travaux de sélection, à cause de la variation du niveau d'expression du caractère mesuré induisant un changement dans l'ordre de classement des génotypes évalués, selon les environnements. IGE a pour origine la sensibilité des génotypes aux conditions environnementales de croissance. Parmi les phénomènes qui expliquent cette

sensibilité à la variation environnementale, la réponse des génotypes au cumul des degrés-jours est la plus importante, car elle fait varier la durée du cycle et le positionnement des phases critiques vis à vis de l'avènement des stress prévalants dans l'environnement de production. Ainsi une année trop chaude raccourcit la durée du cycle des variétés hâtives, les exposant plus aux risques des basses températures printanières, exagérant aussi les différences de durée de cycle entre ces dernières et celles qui sont plus vernaies (BOUZERZOUR et al. 2001). Ces différences, d'ordre phénologiques, sont moins nettes lorsque l'hiver est plus rigoureux (ABBASSENNE et al. 1998).

Tableau II : l'analyse de la variance du rendement en grain des 13 génotypes évalués dans six environnements.

source de Variation	ddl	SCE	CME	Espérance moyenne
- Totale	311	48310,07	155,34	
- Environnement (E)	5	38256,57	7651,31**	
- Blocs/E (B/E)	18	530,87	29,49	
- Génotypes (G)	12	2007,02	167,25*	$\sigma^2e+r\sigma^2G \times E + rE\sigma^2G$
- GxE	60	3409,04	56,82**	$\sigma^2e+r\sigma^2G \times E$
- Résiduelle	231	4506,58	19,51	σ^2e
- $\sigma^2G \times E$			9,32	
- σ^2G			4,60	
- $\sigma^2G \times E / \sigma^2G$			2,02	

G, B/E, E, r = respectivement nombre de génotypes, de blocs hiérarchisés aux environnements, environnements et répétitions.

*, ** effet significatif au seuil de 5 et 1%.

La variance génotypique est deux fois moins importante en valeur que la variance IGE. Le rapport de ces deux composantes indique que l'environnement de sélection est trop variable, induisant des changements dans les réponses des génotypes testés et un faible degré de l'héritabilité du rendement. La sélection faite sur la base de cette seule

variable serait donc peu efficace (Tableau II). L'ordre de grandeur des moyennes de rendement indique que *Rahma*, se distingue par une DYA positive de 7,35, soit un gain génétique relatif de 20,3% comparativement à la moyenne de *Tichedrett* prise comme indice 100 (Tableau III).

Tableau III : Moyenne de rendement grain (q/ha) par environnement, par variété et site x variété, valeurs de l'écovalence (W^2) de l'indice de sensibilité à la sécheresse (S) et supériorité génotypique (P).

Génotype	E1	E2	E3	E4	E5	E6	\bar{X}_i	DYA	W^2	S	P
Tiched	47,43	38,72	35,55	27,18	44,38	23,83	36,18	0,00	110,09	0,79	52,33
Tina	39,19	40,71	35,66	27,87	45,32	23,30	35,34	-0,84	112,03	0,78	55,98
Soufara	44,35	33,98	40,43	25,11	51,50	22,35	36,29	0,11	35,78	0,90	40,27
Saïda	43,03	37,70	38,65	29,13	52,13	18,05	36,45	0,27	8,31	1,04	33,52
Barber	49,85	44,90	42,72	29,55	59,28	20,78	41,18	5,00	22,20	1,03	6,75
Rihane	46,96	40,75	36,91	35,15	57,35	20,58	39,62	3,44	49,99	1,03	16,77
Rahma	50,52	46,54	46,18	33,93	63,13	20,88	43,53	7,35	41,69	1,07	0,98
Bégonia	48,09	37,28	40,92	28,99	60,83	23,40	39,92	3,44	40,46	0,98	14,80
Plaisant	47,50	38,36	47,45	27,66	61,25	18,88	40,18	4,00	86,9	1,10	13,35
Jaidor	43,64	34,29	41,47	21,09	61,18	15,10	36,17	-0,01	144,3	1,20	42,31
Express	42,94	39,34	29,94	26,10	48,95	20,05	34,55	-0,63	67,30	0,95	59,46
Tissa	46,79	35,15	40,51	28,97	55,45	18,75	37,60	1,42	20,93	1,06	26,27
Acsad	48,85	41,94	39,56	29,28	44,25	18,60	37,08	0,90	113,25	0,99	42,04
\bar{x}_j	46,79	39,21	39,71	28,46	54,23	20,35	38,01				
$\bar{x}_j - \bar{x}_{..}$	8,08	1,2	1,7	-9,55	16,22	-17,66	0,0				

Barberousse vient en deuxième position avec un gain relatif de 13,8%. Toutes les nouvelles sélections sont, en général, autant sinon plus performantes que le témoin de référence *Tichedrett*, et présentent une DYA variant de -4,5 à + 20,3% (Figure 1). Lorsque l'IGE est significative, le sélectionneur ne peut utiliser les moyennes \bar{X}_i pour choisir le meilleur génotype, parce qu'une IGE significative indique que chaque environnement a son classement spécifique des génotypes évalués. Ceci est d'autant plus vrai que les environnements testés divergent largement du point de vue capacité d'expression du potentiel de production. Les moyennes des environnements de la présente étude varient de 20,35 à 54,23 q/ha

(Tableau III). La capacité d'expression du potentiel de production est liée, entre autres, au degré de tolérance des génotypes évalués, à la nature, l'avènement, la durée et l'intensité des stress (BENMAHAMMED et al. 2001). Pour sélectionner un génotype donné, il faut donc tenir compte de sa réponse aux changements des milieux de production en plus de sa performance globale pour garantir à l'agriculteur les meilleures performances quelque soit l'année ou le milieu de production. C'est pourquoi dans les environnements variables, la sélection cherche à réaliser simultanément l'amélioration du niveau et de la stabilité du rendement.

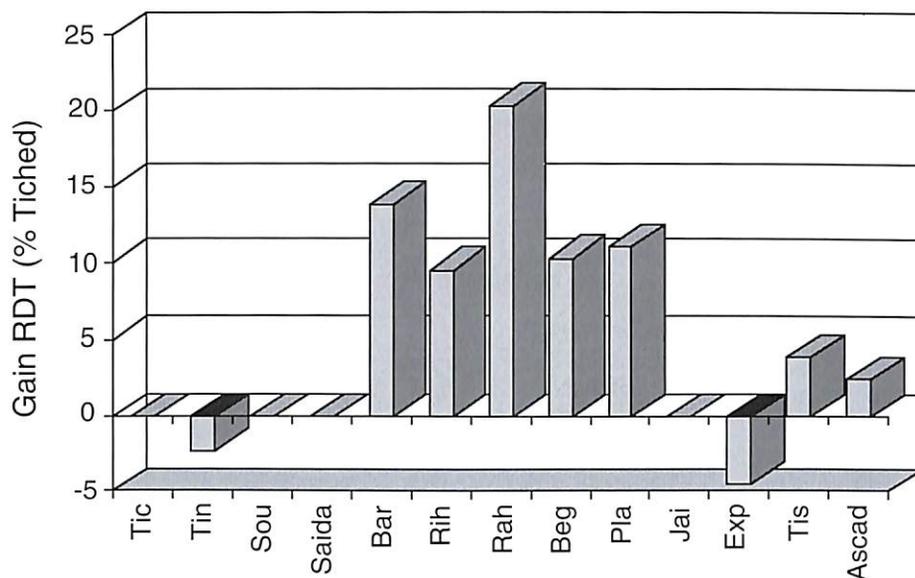


Figure 1: Capacité différentielle de rendement des nouvelles sélections (% Tichedrett, moyennes de 6 années).

Degré de stabilité du gain de rendement

En présence d'IGE significative, il est souvent suggéré de procéder à la structuration des environnements selon la similitude des réponses des génotypes évalués (LIN et BINNS, 1985, YAU et al. 1990). Cette procédure rend plus aisée le choix d'un génotype donné dans une série ou groupe d'environnements qui classent de manière uniforme les génotypes évalués. La classification hiérarchique aboutit à trois groupes d'environnements homogènes. Le premier groupe (GE1) est constitué par les environnements E1, E2 et E3, et se distingue par un potentiel de rendement de 41,67 q/ha, le deuxième groupe (GE2) est constitué par les environnements E4 et E6, avec un potentiel de rendement de 24,40 q/ha et le dernier groupe (GE3) est formé par un seul site (E5) dont le rendement est le plus élevé (54,23 q/ha). Ces groupes d'environnements diffèrent effectivement du point de vue similitude de réponses des génotypes testés (Figure 2).

Cette classification indique que les différences entre le potentiel de rendement des groupes d'environnements affectent l'expression des différences entre génotypes. Un faible potentiel du milieu laisse apparaître que parmi les nouvelles sélections, rares sont celles qui présentent une DYA positive et nombreuses sont celles qui deviennent peu productives. En effet le GE2 tend à inhiber la supériorité des nouvelles sélections, rendant la sélection peu évidente et seules *Rahma* et *Rihane* gardent un avantage de 7 et 9% respectivement. *Plaisant*, *Express* et *Jaïdor* accusent, par contre, des pertes de -9, -10 et -29% respectivement, dans ce groupe d'environnements (Figure 2). Le progrès génétique dans ce type d'environnements semble difficilement réalisable, parce qu'il est conditionné par de la tolérance aux stress.

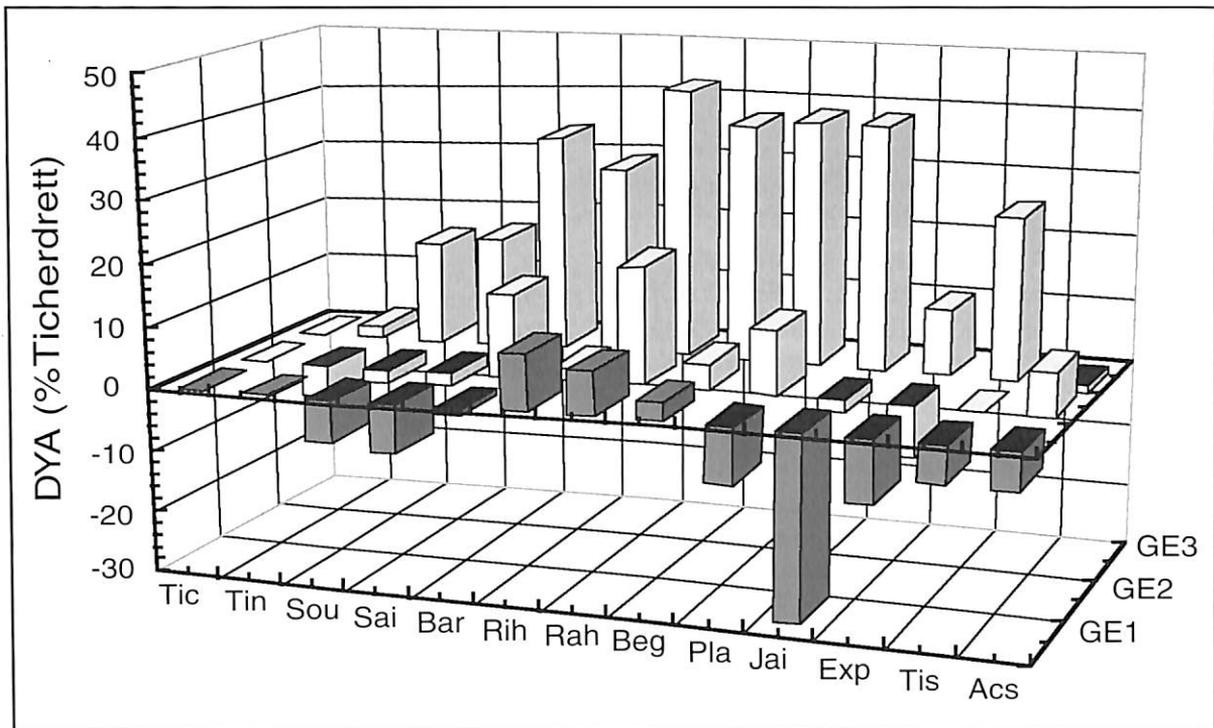


Figure 2: DYA des sélections dans les groupes d'environnements (GE) de même similitude de réponses.

Lorsque le potentiel de production du milieu est plus conséquent, les nouvelles sélections deviennent aussi sinon plus productives que le témoin de référence, comme dans le GE1 et GE2 (Figure 2). L'interaction génotype x environnement devient aussi importante, impliquant une sélection spécifique à chaque groupe d'environnements. C'est ainsi que dans le GE1, les variétés *Rahma*, *Barberousse Plaisant* et *Acsad* émergent, alors que dans le GE3, *Rahma* se maintient et elle est suivie par *Plaisant*, *Jaïdor* et *Bégonia* (Figure 2). Ces résultats montrent que l'expression du gain génétique obtenu en sélection est variable et fonction du potentiel du milieu et du degré de tolérance (ou de sensibilité) du génotype à la variation environnementale. Ils montrent aussi qu'il est possible de trouver un génotype performant et stable, valorisant tous types d'environnements. *Rahma* semble, en effet, se distinguer par une large adaptation associée

à un rendement élevé. Cette association entre productivité et adaptation est plus difficile à réaliser dans les environnements variables, lorsque la sélection est faite sur la seule base du rendement grain (PFEIFFER et al. 1993, FELLAH et al. 2001).

Dans la mesure où la sélection pour améliorer simultanément la stabilité et la performance est plus ardue, l'alternative est de savoir pour quel groupe d'environnements est on censé sélectionner? Il semble évident que c'est pour la série d'environnements qui se reproduit le plus souvent dans la région ciblée pour laquelle la sélection est envisagée. Le choix de *Rahma* est tout indiqué, suite à son comportement global sur les 6 environnements. Cette variété génère un gain relatif de +18, +7 et +42% respectivement dans les groupes d'environnements GE1, GE2 et GE3 (Figure 2, Tableau III).

Les agriculteurs semblent avoir peu d'attraction pour les orges à deux rangs. Le choix d'une variété à 6 rangs doit se faire sur la base des performances de cette variété dans les environnements les plus fréquents, GE1 et GE2, dont la somme des fréquences est de 83%. Cette méthode de choix introduit la notion de pondération à prendre en compte suite à la fréquence des GE (50% GE1, 33% GE2 et 17% GE3). Les données du tableau III et la figure 2 indiquent que le choix est à faire entre *Rihane*, mieux adaptée au GE2 et Barberousse qui se comporte mieux sur GE1.

En tenant compte des pondérations, *Rihane* présente un rendement moyen de 39,7 q/ha alors que Barberousse se démarque par une moyenne de 41,3 q/ha. C'est Barberousse qui doit remplacer *Rahma* et le manque à gagner, suite à la non adoption de *Rahma*, est de 2,3 q/ha. Ces résultats corroborent ceux de Malhotra et al. (1991) qui trouvent que la classification améliore la prévision des performances génotypiques à l'intérieur des différents groupes d'environnements, et conduit à une sélection pour l'adaptation spécifique.

Relations entre gain de rendement, tolérance et stabilité

La supériorité génotypique est mesurée par l'indice P, la stabilité par W^2 et la tolérance par S. Les liaisons entre les valeurs de ces tests montrent que W^2 n'est lié ni à S ($r = -0,111$; $P > 0,05$), ni à P ($r = 0,540$; $P > 0,05$) ni à la moyenne (X_i) associée à chaque génotype ($r = -0,394$; $P > 0,05$). Les génotypes stables peuvent être performants ou non, comme ils peuvent être tolérants ou sensibles aux stress. S est négativement lié à P ($r = -0,653$; $P < 0,05$) et non liée à la moyenne marginale X_i ($r = 0,420$; $P > 0,05$). Les génotypes tolérants ont tendance, donc, à être moins performants, cependant la moyenne marginale ne discrimine pas entre tolérance et sensible aux stress. L'indice P est très corrélé à la moyenne marginale X_i . ($r = -0,953$; $P < 0,01$) indiquant

que X_i est indicatrice des performances génotypiques au même titre que P.

L'analyse en composantes principales des moyennes de rendement génotypique par environnement, la moyenne marginale X_i , les indices W^2 , P et S explique 84% de la variation avec les trois premiers axes (49,8% pour l'axe1, 24% pour l'axe 2 et 10,2% pour l'axe 3). L'étude des corrélations avec les axes principaux montre que X_i et P sont liées à l'axe 1, S est lié à l'axe 2 et W^2 est lié à l'axe 3. L'axe 1 est donc indicateur de la capacité de production des génotypiques; l'axe 2, de la capacité à tolérer les stress et l'axe 3, de la capacité à minimiser la variation des rendements et ces trois caractéristiques ne sont pas corrélées entre elles. La sélection sur la base de l'une d'entre elles ne conduit, donc, pas nécessairement à l'identification de génotypes qui se distinguent par des valeurs désirables pour les autres caractéristiques non prises en compte dans le processus de sélection.

Rahma, Barberousse, Plaisant, *Rihane* et Bégonia s'opposent le long de l'axe 1 à Tina, Tichedrett et Express. Ces génotypes diffèrent du point de vue performance suite à leur position sur l'axe 1 et du point de vue degré de tolérance, vu leur position le long de l'axe 2 (Figure3). Ainsi *Rahma*, Barberousse et *Rihane* présentent le même degré de tolérance vis à vis des stress tels que mesurés par l'indice S, mais différent du point de vue performance. *Rihane* et Bégonia présente, par contre, le même degré de performance mais différent du point de vue tolérance aux stress, alors que Plaisant est plus performant que Tina, Tichedrett et Express et il est plus sensible aux stress (Figure 3). La sélection pour la tolérance privilégie Tichedrett suivie de Tina et celle pour la performance privilégie *Rahma* alors que celle pour ces deux caractéristiques identifie *Rahma*, suivie de Barberousse puis *Rihane* (Figure 3).

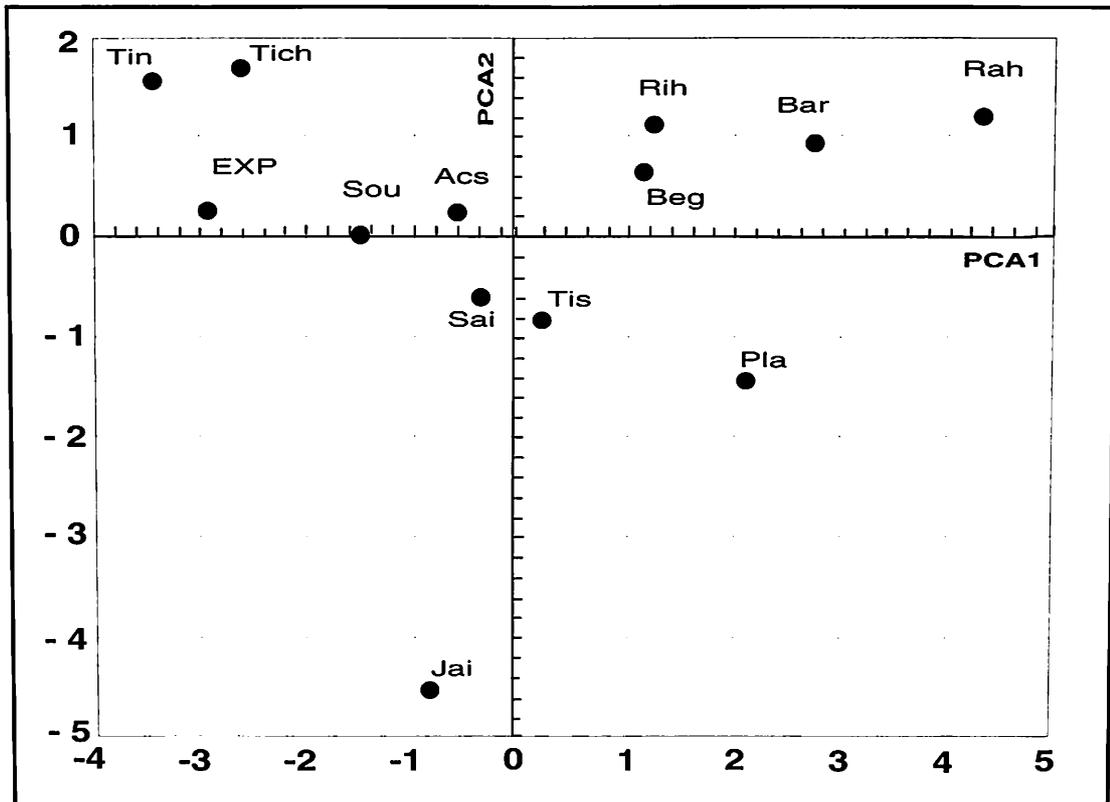


Figure 3 : Représentation des génotypes sur le plan des axes 1 et 2 de l'ACP
(Performance / tolérance).

L'information apportée par l'axe 3 indique que Saida et Tissa sont relativement stables alors qu'Acsad 176 se distingue par la valeur W^2 la plus élevée, après celle de Jaïdor. La liaison entre performance et degré de stabilité est moins évidente, chez les variétés étudiées, probablement parce qu'elles sont issues d'une sélection faite uniquement sur la base de la performance (Figure 4). Acsad 176 a été adoptée puis retirée de la production au cours de la période 1980/91, à cause de la

variabilité de ses rendements (BOUZERZOUR et BENMAHAMMED, 1991). Elle est représentative du type de variétés hâtives comme Jaïdor et contraste fortement de ce point de vue avec les variétés comme Tina, Barberousse et Tichedrett qui sont plus ou moins vernaies et sensibles à la photopériode (BOUZERZOUR, 1998). Les causes climatiques de l'instabilité de la capacité différentielle de rendement (DYA) chez ces types variétaux est plus aisée à aborder.

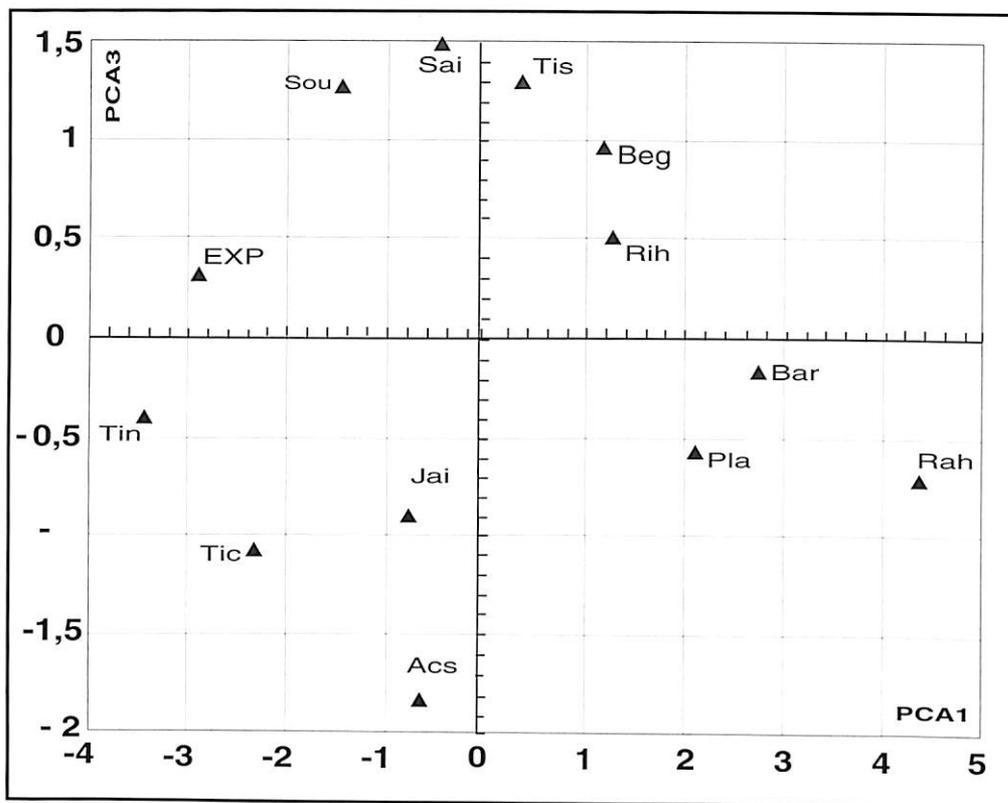


Figure 4 : Répartition des génotypes sur le plan 1 et 3 de l'ACP (Performance / stabilité).

Les causes de l'instabilité du gain de rendement chez les variétés typiques

La régularité des rendements est un aspect important de la production dans les zones semi-arides, où les agriculteurs n'ont pas toujours les moyens pour absorber les risques liés à des rendements trop faibles et trop variables. La variation climatique des zones semi-arides est la principale cause de l'instabilité des rendements. Trois facteurs climatiques interagissent pour permettre l'extériorisation ou l'inhibition du potentiel d'un génotype donné. Ces facteurs sont les basses températures, le cumul des degrés-jours et le cumul pluviométrique (KABOUCHE et al. 2001; MEKHLOUF et al. 2001, BOUZERZOUR et al.

2001). Si la réponse des génotypes à la variation de ces facteurs climatiques est prévisible, l'avènement de ces contraintes reste du domaine de l'imprévisible, de sorte que la sélection d'un génotype donné doit exprimer, certes, que ce génotype est potentiellement productif, mais aussi qu'il possède la capacité d'amortir les variations des environnements qu'il aura à subir, une fois adopté.

La DYA d'Acsad 176 a été déterminée pour la période 1982/83 à 1996/97 (BENMAHAMMED et al. 1999). Son étude montre qu'en fait il y a des années qui sont favorables à l'expression du rendement d'Acsad 176 et d'autres qui le sont à celui de *Tichedrett* (Figure 5).

Les valeurs prises par la DYA ont été confrontées aux paramètres climatiques usuellement pris par la station ONM, proche du site expérimental. Parmi toutes ces variables seule la température moyenne minimale du mois

d'avril est positivement corrélée avec DYA ($r=0.520$, $P<0.05$). Cette corrélation indique que parmi toutes ces variables celle qui handicape l'expression du potentiel du cultivar Acsad 176 est la température minimale du mois d'avril.

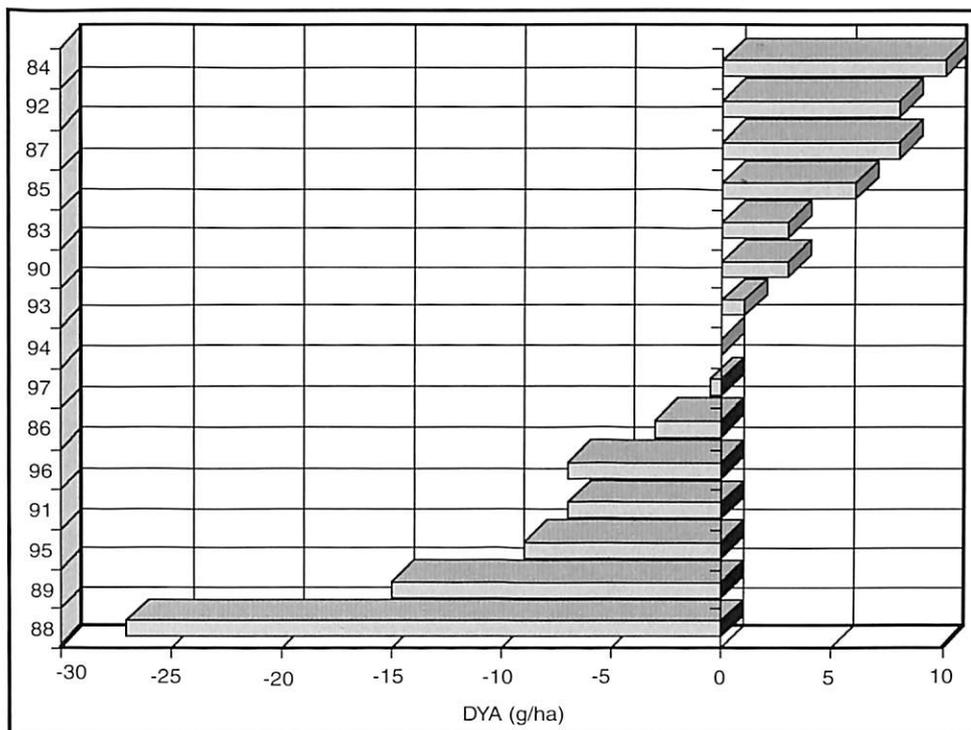


Figure 5 : DYA d'Acsad 176 de la période 1982/83 à 1996/97 sur le site expérimental ITGC de Sétif.

Plus la température moyenne minimale est basse plus la DYA devient négative (Figure 6). La corrélation n'est pas trop élevée, parce que probablement d'autres facteurs climatiques interviennent en interaction avec la température minimale de cette période qui coïncide avec l'élongation de l'épi et la formation des

organes floraux, pour faire exagérer ou minimiser la DYA entre ces types variétaux. La régression progressive est utilisée pour retenir, parmi les variables climatiques, celles qui ont un effet significatif au seuil de 5% sur la dimension de la DYA. Le modèle le plus significatif est :

$$DYA = 4,5972 X_{tm4} - 1,1188 JP2 + 0,9968 gel3 + 3,4029 \quad (R^2 = 0,8679)$$

Les trois variables retenues par le modèle prennent, au cours des 15 années étudiées, les valeurs caractéristiques (moyenne, max. et min.) de -0.3, 2 et -3.1 pour la température moyenne minimale du mois d'avril (X_{tm4}); 5, 19 et 1 pour le nombre de jours de pluie du

mois de février ($JP2$) et 8,8, 14 et 1 jours pour le nombre de jours de gel du mois de mars ($Gel3$). Plusieurs situations peuvent se présenter (a) un printemps froid et sec, (b) un printemps froid et pluvieux, (c) un printemps doux et pluvieux et (d) un printemps doux et

sec. Le modèle retenu prédit que *DYA* serait de -28,3 q/ha pour (a), -21,6 pour (b), -4,08 pour (c) et + 11,57 q/ha pour (d).

Ces résultats montrent que des températures minimales trop basses sont moins pénalisantes pour *Acsad 176*, si elles sont accompagnées par de la pluie. Un printemps relativement sec mais doux est plus favorable

à l'expression du potentiel productif des variétés précoces de type *Acsad 176* qu'à celui des variétés tardives de type *Tichedrett*. Ils suggèrent aussi que la sélection des variétés hâtives de type *Acsad 176* est subordonnée à la tolérance aux basses températures printanières pour améliorer le degré d'expression du gain génétique et réduire de la variabilité des rendements.

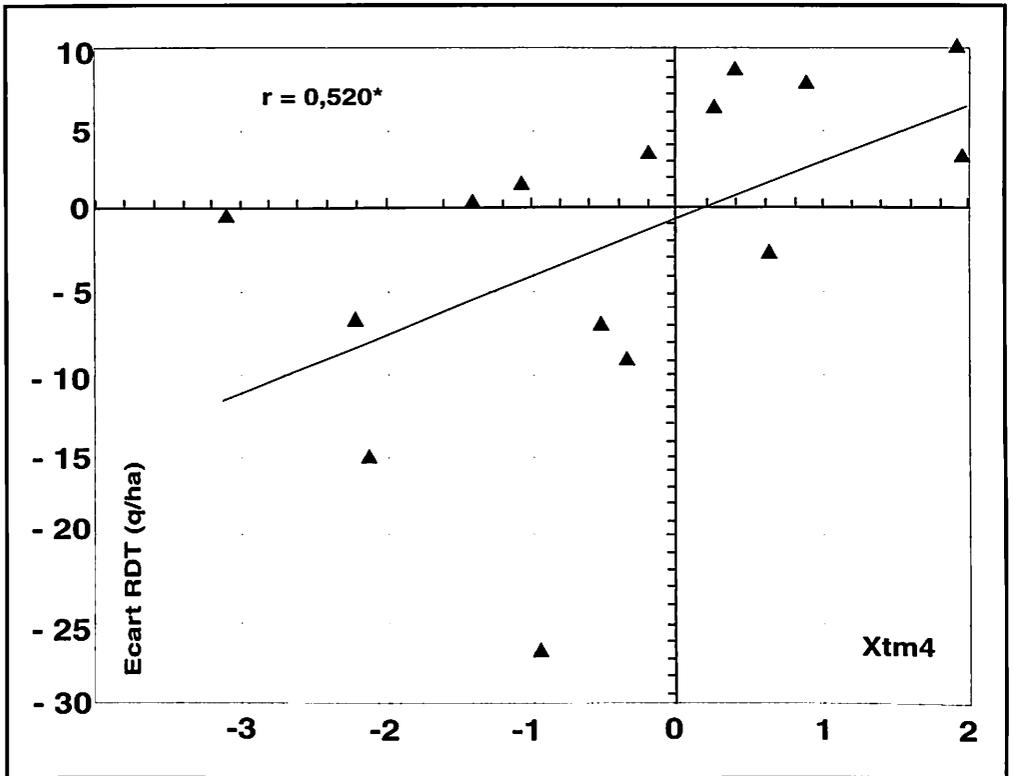


Figure 6 : Liaison entre la *DYA* d'*Acsad 176* et la température moyenne minimale d'avril (n = 15 années).

CONCLUSION

La présente étude montre que toutes les nouvelles sélections, faites par la station ITGC de Sétif sont, en moyenne, autant sinon plus performantes que le témoin *Tichedrett*, avec une contribution à l'amélioration du rendement variant de -4,5 (Express) à + 20,3%

(*Rahma*). La sélection est compliquée par la présence d'interactions génotype x environnement, dont la variance est deux fois plus élevée que celle d'origine génotypique. La stratification des environnements indique que plus le potentiel du milieu est faible moins nette est la différence entre génotypes, d'où un gain génétique très faible voire

négatif. Lorsque le potentiel du milieu est plus élevé, la présence de l'interaction G x E suggère une sélection pour l'adaptation spécifique aux environnements les plus fréquents. La performance est peu corrélée à la stabilité de rendement et à la tolérance aux stress.

La sélection sur la seule base du rendement grain n'assure pas la stabilité ni la tolérance aux stress, qui sont conditionnées, en partie, par le degré d'alternativité des nouvelles sélections qui divergent fortement pour cette caractéristique. Les variétés hâtives, de la classe Acsad 176, sont sensibles aux températures en interaction avec les pluies printanières qui déterminent l'expression de leur potentiel productif. Le choix du cycle de végétation est donc très important pour que la plante puisse faire une bonne utilisation des disponibilités du milieu tout en s'harmonisant aux conditions climatiques de l'environnement de production. L'amélioration de la tolérance au gel renforcerait l'utilisation de ce type de variétés qui possèdent la capacité d'esquiver les hautes températures et le déficit hydrique de fin de cycle.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **ABBASSENNE F., H. BOUZERZOUR, L. HACHEMI (1998)** Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride d'altitude. Annales Agronomiques de l'INA; 18: 24 -36.
- **BENMAHAMMED A., H. BOUZERZOUR, A. BENBELKACEM (1999)** Synthèse des activités de sélection des céréales des stations de Sétif, Khroub, Tiaret et Sidi Bel Abbes. Document Interne, Institut Technique des Grandes Cultures, Sétif.
- **BENMAHAMMED, A. H. BOUZERZOUR, A. DJEKOUN (2001)** Grain yield response of barley genotypes to varying environmental growth conditions in a Mediterranean-type climate. Proposed to Euphytica.
- **BOUZERZOUR H., A. BENMAHAMMED (1991)**. Regression and correlation studies in barley. Rachis 10:34 -36.
- **BOUZERZOUR H., A. DJEKOUN. (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. (1998)** Sélection pour le rendement, la précocité au stade épiaison, la biomasse aérienne et l'indice de récolte chez l'orge (*H. vulgare* L) en zone semi aride. Thèse Doctorat d'état, Univ. de Constantine, 170 pages.
- **BOUZERZOUR, H. A. BENMAHAMMED, A MEKHOLOUF, A. HADJ SAHRAOUI, N HARKATI (2001)** Variation climatique et comportement des variétés typiques de blé dur (*Triticum durum* Desf.) Soumis à Sécheresse.
- **FELLAH A., A. BENMAHAMMED, A. DJEKOUN, H. BOUZERZOUR (2000)** Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Soumis Aux Actes de l'IAV, Hassan II, (Maroc).
- **FEYERHERM A M, PAULSEN GM, SEBAUGH JL. (1984)** Contribution of genetic improvement to recent wheat yield increases in the USA. Agro J. 76 : 985-988.
- **FISHER RA., R. MAURER (1978)**. Drought resistance in spring wheat cultivars. Grain yield responses . Aust J. Agr. Res. 29:897-912.
- **HAKIMI M (1989)** Les systèmes traditionnels basés sur la culture de l'orge. Proc. Symp Int. on the agrometeorology of rainfed barley based farming systems. Eds WMO/Icarda 179-183.

- **KABOUCHE S., H., BOUZERZOUR, A., BENMAHAMMED , K.L., HASSOUS (2000).** Les nouvelles variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) et les risques climatiques des hautes plaines de l'Est : cas de la région de Sétif. Soumis à la revue céréaliculture.
- **LIN, CS., MR. BINNS (1985)** Procedural approach for assessing cultivar-location date : pairwise genotype-environment interactions of test cultivars with checks. *Can. J. Plant Sci.* 64:1065-1071.
- **MALHOTA JM, EH. EVERSON, J. HAMBLIN (1991)** Classification of environnements and genotypes in chickpeas. *Euphytica* 50:161-168.
- **MC INTOSH M. S. 1983.** Analysis of combined experiments. *Agro J.* 75:153-155.
- **MEKHOUF, A. H. BOUZERZOUR, F. DEHBI, A. HANNACHI (2001)** Rythme de développement et variabilité de réponses du blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux basses températures. Tentatives de sélection pour la tolérance au gel. In *Proceeding Séminaire sur la valorisation des milieux semi-arides, Oum El Bouaghi , 28 et 29 Mai, 2001, 35-38.*
- **ONM (1999)** Données météorologiques de la station ONM de sétif, période 1980/81 à 1996/97, 20pages.
- **PFEIFFER, WH. (1993)** Drought tolerance in bread wheat. Analysis of yield improvement over years in Cimmyt germplasm. In *Proc. of the Int. Conf. on Wheat Production Constraints in Tropical Environments.* Klatt (eds). Mexico D.F., Cimmyt, 274 - 284.
- **YAU SK . (1991)** Need of scale transformation in cluster analysis of genotypes based on mlulti-location yield data. *J. Genet. & Breed.,* 45:71-79.
- **YAU SK., GO. FERRARA, JP. SRIVASTAVA (1990)** Cluster analysis of wheat growing environments in West Asia , North Africa and Mediterranean Europe based on différentiel yield responses. *Crop Sci* 30 : 1125-1132.
- **WRICKE, G. (1962)** Ubereine methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in feldversuchen, *Z. Pflanzenzuecht* 47:92-96.