

Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.)

Abderzak FELLAH¹, Hamenna BOUZERZOUR¹*,
Amar BENMAHAMMED² & Abdelhamid DJEKOUN³

(Reçu le 14/04/2000 ; Révisé le 08/11/2000 ; Accepté le 09/03/2001)

ايار تحين تحمل الإهدات المايوية ند اقمح اقبلي (*Triticum durum* Desf)

هدف هذه ادر اة مل الإهدات المايوية ند اقمح اقبلي (*Triticum durum* Desf) (لى أس ارات افيز و و بية. كون المادة اور اية ن 18 لة در ت لى و و عين أناء و مين لعين، صميم اقطع اكللة ظهر انائج أن ردر دة الحة ر طة عدد الحات المنة ي و دة الملة، اكللة المايوية المقلة ند انضج، ديل عمير الحة و كفاءة اغلال الماء. ظهر اقيم انية مللا المحطمة، الإلاء المائي لورة و ر يز ايضور أ لى ر يز ايضور ب أل لاز م مع و طات اصفات افينو-رو و بية المقلة ي ل و ع - ر طة الخلا المحطمة و الإفاخ اور ي مع افاض ردر دة الحة تحت الإهداد. قلص الأنماط اور اية و افاض ردر دة الحة ي ايات المجهدة ينماغل المالات الحلة طرقة أضل ي المواع و ايات الملائمة ظهور ألى در ة إلبية.

الكلمات المفاية: *Triticum durum* Desf. - الخلا المحطمة- ايضور أ و ب- الإلاء المائي لور ة - امل - اراف المردود

Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.)

La présente étude s'est fixée pour objectif la sélection pour la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) à l'aide de tests physiologiques. 18 génotypes ont été étudiés sur deux sites au cours de deux années consécutives dans un dispositif en blocs complètement randomisés. Les résultats montrent que le rendement grain est lié au nombre de grains produit par unité de surface, à la biomasse aérienne mesurée à maturité, à l'indice de remplissage du grain et à l'efficacité d'utilisation de l'eau. Les valeurs de l'intégrité cellulaire, la turgescence foliaire et le rapport des concentrations chlorophylliennes a et b sont peu corrélées avec les moyennes des caractères phéno-morphologiques mesurés par site. L'intégrité cellulaire et la turgescence foliaire sont associées à la réduction du rendement grain sous stress. Les génotypes tolérants aux stress abiotiques minimisent la baisse du rendement en grains dans les environnements défavorables alors que les génotypes sensibles valorisent nettement mieux les sites et environnements favorables à l'expression du potentiel de production.

Mots clés: *Triticum durum* Desf. - Intégrité cellulaire - Chlorophylles a et b - Turgescence foliaire - Tolérance-Écart de rendement

Selection for tolerance to abiotic stress in durum wheat (*Triticum durum* Desf.)

The objective of this study was selection of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) for tolerance to abiotic stress based on physiological tests. 18 genotypes were studied on two sites during two years in a complete blocks design. Results showed that grain yield was correlated with the number of kernels produced per unit area, with above ground biomass, with grain filling rate and with water use efficiency. Cellular thermostability, relative water content and ratio of chlorophyll concentrations values were little correlated with the measured traits per site. Cellular thermostability and relative water content were correlated to grain yield reduction under stress. Stress abiotic tolerant genotypes were able to minimize yield reduction in less favorable environments while sensitive ones make best use of favorable sites which allowed the expression of production potential.

Key words: *Triticum durum* Desf. - Cellular thermostability - a and b chlorophyll - Relative water content - Tolerance - Grain yield reduction

¹ Département d'Agronomie, CU. Larbi Ben M'hidi, OEB, 4000, Algérie

² Station de la Recherche Agronomique, ITGC, BP 03, Sétif, 19000, Algérie

³ Laboratoire d'Eco-physiologie, Fac. des Sciences, Université Mentouri, Constantine, 25000, Algérie

* Auteur correspondant

INTRODUCTION

La variation des rendements en grains du blé dur (*Triticum durum* Desf.) des zones semi-arides d'altitude tire son origine en grande partie des effets des contraintes abiotiques de nature hydrique et calorique (Bouzerzour & Benmahammed, 1994; Abbassenne *et al.*, 1998). La sélection pour améliorer simultanément le rendement en grains et l'adaptation dans ces environnements au climat de type méditerranéen doit être assistée par des approches physiologiques (Richards *et al.*, 1997).

Divers mécanismes physiologiques sont utilisés par la céréale pour s'adapter à son environnement. Le stockage des substrats carbonés dans le col de l'épi et leur transfert pour aider à un meilleur remplissage du grain (Avey *et al.*, 1982), la thermostabilité cellulaire (Sullivan, 1972; Saadalla *et al.* 1990), la vitesse de remplissage du grain (Wardlaw & Moncor, 1995) ainsi que l'efficacité d'utilisation de l'eau pour produire du grain (Passioura, 1977; Ykhlef *et al.* 1998) sont autant d'indicateurs des capacités physiologiques d'adaptation.

Cette étude évalue l'utilisation de quelques tests physiologiques comme aide à la sélection pour la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) cultivé en zone semi-aride d'altitude.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

L'étude a été menée à la Station Expérimentale Agricole (Institut Technique des Grandes Cultures de Sétif) et au Département d'Agronomie (Institut des Sciences de la Nature, Centre Universitaire d'Oum El Bouaghi).

L'expérimentation mise en place au cours de la campagne 1997/98, comporte 18 sélections de blé dur parmi les variétés locales Mohammed Ben Bachir (08) et Oued Zenati 368 (02), trois lignées sœurs, Mrb3/Chen/Mbb 4S, (16) 5S (17) et 9S (18), de génération F7, issues des croisements de Sétif et des lignées fixées, Agathé (01), Guerou 1 (03), Korifla (05), Fg/Palestinian//Mexicale/3/Rabicorno (06), Chen/Auk (09), Gabgel 79 (11), Auk6 (13), Auk5 (12), Oumtel (07), Enté/Mario//Cando (04), Polonicum/Grulla//Swan (10), Chen/Altar84//Lahn (14), Mexican 311/ Iraq//Mrb5/3/Sabil2 (15), sélectionnées à partir des pépinières introduites de l'icarda.

Les essais ont été conduits selon un dispositif en blocs randomisés avec 4 répétitions. La parcelle élémentaire fait 6 rangs x 5 m de long x 0,20 m d'écart inter-rangs. L'expérimentation a été reconduite au cours de la campagne 1998/99 sur le site expérimental de Sétif avec 8 génotypes sélectionnés: Agathé (01), Guerou I (03), Korifla (05), Mohammed Ben Bachir (08), Chen/Auk (09), Auk 5 (12), Chen/Altar//Lahn (14), et Mexican 311/ Iraq//Mrb5/3/Sabil2 (15) parmi les 18 évalués la première année.

Les caractéristiques phéno-morpho-physiologiques mesurées sont la durée des phases végétative (DHE, j) et de remplissage du grain (GFP, j), la biomasse aérienne produite à maturité (BIO, g/m²), le rendement (RDT, g/m²) et ses composantes: le nombre dépis/m² (NE), le poids moyen de 1000 grains (PMG, g), le nombre de grains par épi (NGE) et le nombre de grains par m² (NGM²), la hauteur (PHT, cm) des plantes, l'indice de récolte (HI, %) et l'indice de remplissage du grain (IR, mg/j.m²). Les méthodes utilisées ont été rapportées par Bouzerzour *et al.* (1998, 1999).

L'efficacité d'utilisation de l'eau pour produire de la biomasse (EUE_{BIO}, g/mm.m²) et du grain (EUE_{RDT}, g/mm.m²) a été déterminée par le rapport de la biomasse et du rendement en grains sur la quantité de pluie enregistrée de septembre à la date de maturité physiologique. Quoique le semis ait été fait au mois de novembre, les pluies d'avant cette date sont considérées comme effectives puisqu'elles contribuent à la remise à niveau du réservoir du sol qui est à zéro suite à l'absence des pluies d'été. Au stade épiaison, la température du couvert végétal (TCV) a été prise avec un thermomètre à infra rouge. La vitesse de perte d'eau foliaire (VPE) a été déterminée par régression du poids frais déduit du poids sec, divisé par la surface des feuilles étendards échantillonnées, lesquelles ont été soumises à une température de 45°C pendant 160 mm et pesées toutes les 10 mm.

De ces données ont été déduits la teneur relative en eau (TREFS) et le temps mis (TIMFS) correspondant à la fermeture des stomates. La turgescence foliaire (TRE) a été déterminée sur trois feuilles étendards, dont la surface a été mesurée par génotype et par répétition, selon la procédure décrite par Shirefaw & Baker (1996), la concentration des chlorophylles a et b selon Laval & Mazliak (1979) et l'intégrité cellulaire (IC) d'après Sullivan (1972).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Valeurs des tests et variabilité phéno-morphologique intra-site

Les quantités de pluie enregistrées, du mois de septembre au mois de juin inclus, étaient de 457 et 353 mm pour la première et seconde année à Sétif et 509 mm pour la première campagne à Oum El Bouaghi. Les moyennes pluri-annuelles, 1981/1996, pour la période de septembre à juin inclus, sont de 370 et 300 mm pour les deux sites dans l'ordre cité. L'analyse de la variance des résultats combinés des deux expérimentations conduites respectivement à Sétif (S) et à OEB (O), au cours de la première année, indique une interaction génotype x site (GxE) significative pour l'ensemble des caractères mesurés. L'effet génotype testé par rapport à l'interaction GxE n'est significatif que pour la durée des phases de développement et le rapport des concentrations chlorophylliennes. Les deux sites divergent du point de vue degré d'expression des caractères (Tableau 1).

Cependant, les différences entre sites sont relativement moins importantes en ce qui concerne la biomasse aérienne, la durée de la phase végétative, l'efficacité d'utilisation de l'eau pour produire de la biomasse et le rapport des

chlorophylles a et b (Tableau 1). L'amplitude intra-site des caractères est assez large, indiquant des différences de comportement des génotypes dans chaque environnement. Le site S a été plus favorable à l'expression des caractères.

Le rendement grain est positivement et significativement corrélé, sur les deux sites, au nombre de grains par épi ($r^2 = 0,3969$ et $r^2 = 0,2704$, respectivement sur les sites S et O, au nombre de grains/m² ($r^2 = 0,7396$ et $r^2 = 0,5776$), à l'indice de remplissage du grain ($r^2 = 0,9409$ et $r = 0,6724$), à la biomasse aérienne ($r = 0,8100$ et $r = 0,2916$), et à l'efficacité d'utilisation de l'eau ($r^2 = 0,9801$). Sur le site S, le rendement est positivement corrélé à l'indice de récolte ($r^2 = 0,4624$) et sur le site O, il est négativement corrélé au nombre d'épis/m² ($r^2 = -0,2601$). Bien que la variation intra-site du poids de 1000 grains soit assez conséquente (52,0 à 36,7g sur le site S et 25,9 à 15,9 sur le site O), elle ne semble pas suffire, à elle seule, à faire les différences de rendement ($r = 0,06$ ns et $r = 0,03$ ns).

Les différences du nombre de grains/m² sont plus déterminantes: cette résultante du produit entre les épis et le nombre de grains par épi est plus indicatrice des capacités productives d'un génotype donné. Il en est de même des différences intra-sites de l'indice de remplissage et celles

Tableau 1. Valeurs moyennes (moy), maximales (max) et minimales (min) des caractères mesurés au cours de la campagne 1997/98 des deux sites et par site, à Sétif et à Oum El Bouaghi (OEB)

CaractèresMoyennes des deux sites.....			Ppds 5% (1)Moyenne par site.....	
	Moy	Max	Min		Sétif	OEB
RDT (q/ha)	30,65	61,3	11,9	16,1	44,6	16,7
NE (m ²)	450,0	688	248	183,4	529	371
NGE (épi)	20,6	31,0	15,3	10,5	20,6	20,6
PMG (g)	32,10	52,0	15,9	9,4	44,0	20,2
NGM ² (10 ³)	9,05	14,6	5,03	4,8	10,5	7,60
HI (%)	32,5	60,5	11,8	7,5	50,5	14,5
BIO (g/m ²)	670,5	916,8	407,5	207,5	720	621
PHT (cm)	66,0	97,0	41,9	13,1	72,3	59,7
DHE (j)	141,8	157,0	131,0	3,6	145,4	138,1
GFP (j)	57,55	76,8	30,0	4,7	72,2	42,9
IR (g/j.m ²)	4,80	9,21	2,34	2,6	6,08	3,53
TRE (%)	77,5	75,0	83,3	7,7	68,2	86,8
IC (%)	81,9	94,8	46,8	17,5	86,4	77,3
EUE _{BIO} (g/mm.m ²)	2,30	3,05	1,44	0,71	2,40	2,19
EUE _{RDT} (g/mm.m ²)	1,05	2,04	0,42	0,54	1,50	0,60
a/b	1,47	1,78	1,18	0,02	1,54	1,40

RDT= rendement en grains, NE =nombre d'épis/m², NGE = nombre de grains par épi, PMG = poids de 1000 grains, PHT= hauteur des plantes, NGM² = nombre de grains/m², DHE= durée de la phase végétative, IR= indice de remplissage du grain, HI= indice de récolte, BIO= biomasse aérienne, EUE= efficacité d'utilisation de l'eau, TRE = turgescence foliaire, IC= intégrité cellulaire, GFP= durée de la phase de remplissage du grain, a/b= rapport des chlorophylles. ⁽¹⁾ Ppds 5% basée sur le CME de l'interaction G x E.

relatives à l'efficacité d'utilisation de l'eau. Les génotypes produisant plus de grains/m², se distinguant par un indice de remplissage élevé, sont plus efficaces du point de vue utilisation de l'eau. De tels génotypes sont plus désirables en milieux favorables qu'en milieux non favorables à l'expression du potentiel productif.

La turgescence foliaire ne présente aucune liaison statistiquement significative avec les caractères mesurés sur le site S, mais elle est négativement corrélée avec le poids de 1000 grains du site O ($r^2 = -0,2209$). Étant mesurée avant la réalisation définitive du poids de 1000 grains, la turgescence foliaire reste donc indépendante des conditions climatiques au cours desquelles le poids de 1000 grains s'est matérialisé. Sur le site O, les variétés tardives ont une teneur en eau plus élevée. Cependant, suite à leur tardiveté plus prononcée, elles sont plus pénalisées par les stress hydriques et thermiques de fin de cycle. Ces effets sont observés sur le poids de 1000 grains.

L'intégrité cellulaire ne présente de liaisons significatives qu'avec l'indice de récolte, mesuré sur le site O ($r^2 = -0,2809$). La liaison indique que les génotypes fortement endommagés par le stress thermique sont ceux qui sous-valorisent la biomasse produite sous forme de grains. L'indice de récolte, étant mesuré plus tardivement que l'intégrité cellulaire, semble constitutif du génotype. Le rapport a/b des chlorophylles est positivement corrélé uniquement à la hauteur des plantes ($r^2 = 0,2809$), à la biomasse aérienne ($r^2 = 0,3025$) et à l'efficacité d'utilisation de l'eau pour produire de la biomasse (0,2916) du site O. Il ne semble pas lié à la productivité des génotypes.

2. Valeurs des tests et variabilité phéno-morphologique inter-sites

La corrélation inter-sites mesure le degré de changement des valeurs prises pour une variable donnée par des génotypes différents en passant d'un environnement à un autre. Cette corrélation indique qu'il y a une meilleure ressemblance entre les deux sites, uniquement pour la hauteur des plantes ($r^2 = 0,3116$), la durée des phases de développement ($r^2 = 0,8464$ pour la DHE et $r^2 = 0,6489$ pour la GFP), l'intégrité cellulaire ($r^2 = 0,8464$) et le rapport des chlorophylles a et b ($r^2 = 0,9409$). Ces caractères montrent une interaction de nature quantitative, alors que les autres variables montrent une interaction de nature qualitative. Une telle interaction indique

des changements de positions des génotypes évaluées en fonction des environnements. Le progrès attendu en sélection est fortement réduit par de telles interactions.

Le rendement en grains est un des principaux objectifs en sélection. La hauteur des plantes et la durée de la phase végétative déterminent la régularité de la production des zones à fortes contraintes abiotiques (Oosterom *et al.*, 1993). La durée de la phase végétative intervient dans l'évitement des contraintes (Bahlouli *et al.*, 1999). La hauteur des plantes, grâce à ses stocks de substrats, minimise la baisse des rendements en grains lors des années difficiles (Nachit & Jarrah, 1986). La dimension des écarts relatifs du rendement, de la durée de la phase végétative et de la hauteur des plantes renseigne sur le degré de stabilité du comportement d'un génotype donné. Cette stabilité mesure le degré de tolérance, exprimé par les génotypes évalués, aux différents stress qui ont prévalu sur les deux sites d'étude. Les écarts relatifs de la hauteur des plantes, du rendement en grains et du degré de précocité au stade épiaison, intégrées sous la forme d'un index, comme celui qui est exprimé par l'axe de l'analyse en composantes principales, peuvent servir d'indicateurs d'adaptation et de productivité (Figure 1).

Les trois premiers axes de l'analyse en composantes principales expliquent 74% de la variation totale disponible dans les données soumises à l'analyse. L'étude des corrélations avec les axes principaux montre que l'axe 1 représente

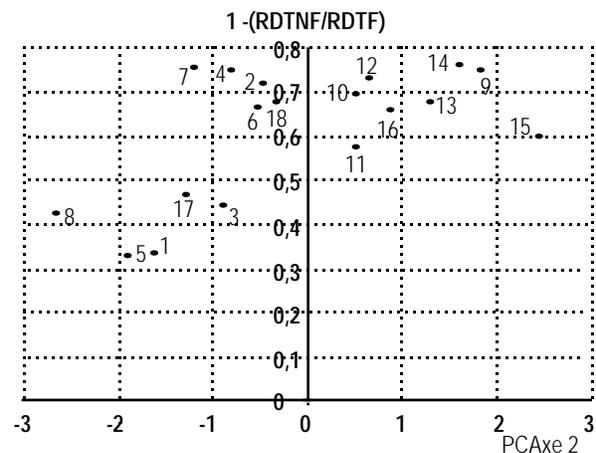


Figure 1. Représentation des écarts relatifs du rendement en grains en fonction de l'information apportée par l'axe 2 de l'ACP

les écarts inter-sites du rendement en grains, de la hauteur de paille et de l'indice de remplissage du grain, qui lui sont positivement liés (Tableau 2). L'axe 1 donne donc une mesure de la stabilité de ces caractères. L'axe 2 représente l'intégrité cellulaire, les écarts de la turgescence foliaire, de la durée à l'épiaison et ceux du poids de 1000 grains. Cet axe donne une mesure de la tolérance et de l'esquive des stress abiotiques. L'axe 3 représente le rapport des chlorophylles a et b qui lui est négativement corrélé (Tableau 2).

La distribution des écarts relatifs de rendement en grains, en fonction des coordonnées des différents génotypes sur l'axe 2, est illustrée par la figure 1. La tendance de cette distribution indique que plus la tolérance aux stress hydriques et thermiques est élevée, plus la variation inter-sites du rendement est faible.

Les moyennes caractéristiques des 4 génotypes extrêmes de la figure 1 (Tableau 3) montrent que la tolérance aux stress abiotiques est associée à des

performances modestes sur le site favorable S, dues à une faible efficacité d'utilisation de l'eau pour produire de la biomasse et des grains, une moindre production de grains/m² et un faible indice de remplissage du grain. Les génotypes tolérants expriment une meilleure hauteur sur le site défavorable plus qu'ils ne le font sur le site favorable à l'inverse des génotypes sensibles. Ces deux groupes diffèrent peu pour le poids de 1000 grains, le degré de précocité au stade épiaison et le rapport a/b.

Comme les écarts de rendement inter-sites sont positivement et significativement corrélés avec le rendement du site favorable ($r^2 = 0,7921$) et négativement corrélés avec celui du site défavorable ($r^2 = -0,3025^{**}$), de hauts rendements ne sont donc possibles qu'au détriment de la stabilité de la production. La perte de rendement (RDT) est de 0,49 pour le groupe de génotypes tolérants contre 0,70 pour le groupe de génotypes sensibles (Tableau 3).

Tableau 2. Corrélations entre les variables et les axes principaux de l'ACP

Variables	IC	a/b	TRE	RDT	PHT	DHE	IR	PMG
Axe ₁	-0,0312	-0,3569	-0,1545	0,8729	0,8214	-0,4866	0,9132	-0,4848
Axe ₂	0,6651	0,1154	-0,7318	0,2293	0,2145	0,5270	0,1521	0,6394
Axe ₃	0,5504	-0,7320	0,0712	-0,3267	0,1531	-0,4206	-0,2454	0,1118

= écarts inter-sites

Tableau 3. Moyennes du site favorable (X_S) et écarts inter sites (X_S-X_O) caractéristiques des groupes de génotypes tolérants et sensibles aux stress abiotiques

Caractères Groupe sensible (n=4)Groupe tolérant (n=4)	
	X _S	Écart	X _S	Écart
Caractères liés à la productivité				
RDT	46,4	31,6	36,18	14,32
RDT*	0,70	—	0,49	—
PMG	45,3	26,5	46,6	25,4
NGM ²	10437	3301	8040	-624
IR	324,2	-179,5	247,6	-257,0
EUE _{BIO}	2,45	0,49	2,05	-0,26
EUE _{RDT}	1,54	1,02	1,22	0,46
Caractères liés à l'adaptation au milieu				
PHT	68,8	5,4	70,5	-4,4
PHT*	0,24	—	0,26	—
DHE	145,9	7,8	144,5	7,5
DHE*	0,16	—	0,13	—
Caractères liés à la tolérance aux stress				
IC	92,3	4,7	74,9	11,8
TRE	66,0	-21,6	71,1	-14,61
a/b	1,52	0,15	1,5	0,13

X= moyenne observée sur le site S; * = perte relative d'expression de la moyenne du caractère en passant du site favorable au site non favorable.

Les génotypes tolérants minimisent donc la baisse des rendements en grains lors des années défavorables alors que les génotypes sensibles valorisent les sites et les années les plus favorables à l'expression du potentiel de production. Les génotypes tolérants se démarquent aussi par une hauteur de paille légèrement plus élevée et une moindre variation de la durée de la phase végétative (Tableau 3).

Les données collectées la seconde année à partir du suivi des génotypes échantillonnés montrent que les génotypes tolérants aux stress abiotiques sont moins productifs. Ils sont plus hauts de paille, plus tardifs au stade épiaison et perdent moins d'eau foliaire par unité de temps. Ils ont aussi une température du couvert moins élevée et se distinguent par une faible turgescence foliaire au moment de la fermeture des stomates sous stress. Ils mettent plus de temps pour fermer leurs stomates.

Les différences entre groupes sont moins nettes pour la teneur relative en eau, mais elles le sont pour l'intégrité cellulaire. Ceci indique que les génotypes tolérants sont relativement moins endommagés par le choc thermique et ont plus de chlorophylle a (Tableau 4).

Pour améliorer l'indice de récolte, sous conditions de stress qui ont lieu après l'anthèse, l'alternative est donc de favoriser la dimension des sites de stockage des substrats et le transfert du maximum de ces substrats produits avant l'épiaison vers le grain. La dimension des sites doit être approchée par le choix de variétés plus ou moins hautes de paille, alors que le transfert du maximum des

substrats stockés peut se faire en améliorant la vitesse de remplissage du grain et/ou la durée de la phase de remplissage sous stress.

Borghi *et al.* (1989) indiquent que les nouvelles variétés italiennes, adoptées dans le sud, se distinguent surtout par une vitesse élevée de remplissage qui permet au grain d'atteindre son poids maximal dans les 4 semaines qui suivent la date d'épiaison minimisant les effets des stress de fin de cycle qui sont omniprésents. La réduction du rendement en grains sous stress abiotiques de nature hydrique est plus importante chez les variétés naines que chez les variétés hautes, ayant le même degré de précocité (Nizamuddin & Marshall, 1989).

Les génotypes tolérants aux stress hydriques et thermiques sont capables de maintenir la température de leur feuillage à un seuil inférieur à celui de la température maximale de l'air ambiant (Reynolds *et al.*, 1994). L'élévation de la température au delà des 25°C oblige la plante à utiliser une partie des substrats carbonés stockés dans le col de l'épi et la dernière feuille (Wardlaw & Moncur, 1995).

L'utilisation des substrats est nécessaire pour la survie de la plante au stress. L'adaptation au stress est donc dépendante, au moins partiellement, de la capacité de la plante à dérouter des substrats du processus de croissance vers le processus d'entretien, afin de combler le surcoût énergétique supplémentaire demandé par le phénomène d'adaptation. Celui-ci permet à la plante de produire un tant soit peu et à un niveau acceptable pour l'environnement de production.

Tableau 4. Valeurs moyennes et étendues caractéristiques des groupes de génotypes tolérants et sensibles aux stress hydrique et thermique suivis la seconde année sur le site de Sétif (S2)

Variables Groupes tolérants (n =4).....		 Groupes sensibles (n =4)		
	X	Max	Min	X	Max	Min
RDT	23,8	30,3	17,6	30,2	36,5	22,4
PHT	56,2	63,3	45,8	49,3	56,0	45,0
DHE	126,6	132,0	121,3	121,6	125,3	117,8
TRE	83,5	88,5	77,5	86,6	91,5	78,5
IC	73,5	83,5	61,3	74,8	80,8	69,7
a/b	0,85	0,91	0,80	0,81	0,86	0,72
VDE (mg/cm ² .min)	4,77	6,29	2,90	7,18	9,37	6,42
TCV (T-38°C)	-2,5	2,25	-1,75	2,37	7,0	-2,5
TREFS (%)	52,7	66,9	43,9	64,3	69,8	59,7
TIMFS (min)	99,7	108	93	79	85,6	71,6

Génotypes tolérants = numéros 1,3, 5, et 8; génotypes sensibles = numéros 9,12,14 et 15 (voir figure 1); VPE = Vitesse de perte d'eau foliaire; TIMFS = temps mis pour la fermeture des stomates; TREFS = teneur relative correspondant à la fermeture des stomates.

CONCLUSION

La présente étude montre que la productivité est liée au nombre de grains produit par unité de surface, à la biomasse aérienne mesurée au stade maturité, à l'indice de remplissage des grains et à l'efficacité d'utilisation de l'eau. Les valeurs des tests de l'intégrité cellulaire, la turgescence foliaire et le rapport des concentrations chlorophylliennes a et b sont peu corrélées avec les valeurs des différents caractères phéno-morphologiques mesurés par site. Les tests de l'intégrité cellulaire et la turgescence foliaire sont associés à la variation inter-sites des rendements. Les génotypes tolérants aux stress abiotiques minimisent la baisse du rendement grain dans les environnements défavorables alors que les génotypes sensibles valorisent nettement mieux les sites et environnements favorables à l'expression de hauts rendements en grains.

Les génotypes tolérants se démarquent aussi par une température du couvert végétal moins élevée que celle de l'air ambiant et par une meilleure stabilité de la hauteur de paille. Ils font une moins bonne utilisation de l'eau sur sites favorables, produisant peu de grains/m² et se distinguent par une faible vitesse de remplissage des grains, d'où un faible indice de récolte. Ils mettent plus de temps, sous stress, à fermer leurs stomates. La fermeture de leurs stomates a lieu à des turgescences plus faibles.

Ces génotypes semblent capables de dérouter des substrats stockés pour les utiliser à un moment où les génotypes sensibles n'arrivent plus à survivre. Cependant, ces mêmes génotypes semblent incapables de tirer profit des ressources mises à leur disposition dans les environnements plus favorables à une meilleure productivité, comparativement aux génotypes sensibles aux stress abiotiques.

La sélection simultanée pour l'adaptation, dans le sens de stabilité de la production et de tolérance aux stress abiotiques, et pour la productivité semble difficile à réaliser dans les conditions de cette expérimentation.

RÉFÉRENCES CITÉES

- 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
- Avey DP, Ohm HM & Nyquist WE (1982) Three cycles of single recurrent selection for early heading in winter wheat. *Crop Sci* 12: 908-912
- Bahlouli F, Bouzerzour H & Benmahammed A (1999) Étude de la réponse à la sélection sur la base de la précocité au stade épiaison chez l'orge (*H. vulgare* L.) en zone semi-aride d'altitude. *Annales INA* (sous presse)
- 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. *Ix Seminar on Physiology-breeding of winter cereals for stressed mediterranean environments. Les Colloques* 55: 436-448
- Bouzerzour H & Benmahammed A (1994) Environmental factors limiting barley grain yield in the high plateaux of eastern Algeria. *Rachis* 12: 11-14
- Bouzerzour H, Djekoune A, Benmahammed A & Hassous LK (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 de l'Agriculture* 8: 133- 137
- Bouzerzour H, Benmahammed A, Mekhlouf A & Harzallah D (1999) Évaluation 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
- Laval-Martin D & Mazliak P (1979) Physiologie végétale TP et TD. Eds Hermann, 338 p.
- Nachit MM & Jarrah M (1986) Association of some morphological characters to grain yield in durum wheat under Mediterranean dryland conditions. *Rachis* 5: 33-34
- Nizamuddin M & Marshall DR (1989) Effects of dwarfing genes on yield and yield components under irrigated and rainfed conditions in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica* 42: 127 - 134
- Oosterom VE, Ceccarelli S & Peacock JM (1993) Yield response of barley to rainfall and temperature in Mediterranean environments. *J Agri Sci* 121: 307- 313
- Passioura JB (1977) Grain yield, harvest index and water use of wheat. *Journal of Australian Institute of Agricultural Science* 43: 117 -120

- Reynolds MP, Balota M, Delgado MIB, Amani I & Fischer RA (1994) Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot, irrigated conditions. *Aust J Plant Physiology* 21: 717- 730
- Richards RA, Rebtzke GJ, Van Herwaarden AF, Dugganb BL & Condon AG (1997) Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding. *Dryland Agriculture* 36: 254 - 266
- Saadalla MM, Shanahan SF & Quick JS (1990) Heat tolerance in winter wheat I. Hardening and genetics effects on membrane thermostability. *Crop Sci* 30: 1243 - 1247
- Shirefaw B & Baker DA (1996) An evaluation of drought screening technics for eragrostis tef. *Trop Sci* 36: 74 - 85
- Sullivan CY (1972) Mechanisms of heat and drought resistance in grain sorghum and methods of measurement. *In: Sorghum in the Seventies*, Eds N.G.P. Rao & L.R. House, Oxford & IBH Publishing company, New Delhi, 247-264
- Wardlaw JF & Moncor L (1995) The response of wheat to high temperature following anthesis. I: the rate and duration of grain filling. *Aust J Plant Physiol* 22: 391 - 397
- Ykhlef N, Djekoun A, Bensari M & Vignés D (1998) L'efficacité d'utilisation de l'eau: marqueur physiologique de la résistance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Revue Sciences et Technologie Université de Constantine* 12: 25-33