

VARIABILITÉ PHÉNOTYPIQUE ET SÉLECTION DES CARACTÈRES AGRONOMIQUES DU BLÉ DUR (*Triticum durum* Desf.) SOUS CONDITIONS SEMI-ARIDES

Salmi Manel

Haddad Leila

Département d'agronomie, Faculté des sciences de la nature et de la vie,
Université Ferhat Abbas, Sétif-1, ALGÉRIE

Oulmi Abdelmalek

Benmahammed Amar

Département d'Ecologie et de Biologie végétales, Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie, Université Ferhat Abbas, Sétif-1, ALGÉRIE

Benbelkacem Abdelkader

INRAA, Constantine, ALGÉRIE

Abstract

Genetic improvement of agronomic traits related to yield performance and adaptation to the production environments is conditioned by the presence of phenotypic variability of the targeted characters in the plant material subjected to selection. This research was conducted to assess the magnitude of phenotypic variability, the heritability and the expected genetic gain of selection of agronomic traits in 18 durum wheat (*Triticum durum* Desf) varieties and segregating lines. The results showed the presence of significant variability for the measured traits. The degree of genetic determination had values greater than 70% for the duration of the vegetative phase and plant height, and below 50% for yield and aboveground biomass. The expected genetic gain ranged from 4.8% for the duration of the vegetative phase to 45.9% for grain yield. Single-character selection identified 6 desirable genotypes which brought increases of 14.9% in harvest index, 3.7 g in 1000 kernel weight, 4.8% in relative water content, and declines of 18.6% in percent cells injury, 2.1 g in yield per plant, 2.1 cm in spike length, and 12.9 grains per spike, and a gain of 1.7 spikes associated to 8.8 g of biomass. Relatively to Bousselam, the check cultivar, the selected lines brought a grain yield advantage ranging from 53.8 to 161.5%. This yield gain is associated with a desirable improvement in heat stress tolerance, and an undesirable reduction in thousand kernel weight. The study of the

response of the progenies of the selected entries is interesting to identify characters whose variation is more genetic than environmental.

Keywords: *Triticum durum*, selection, yield, relative water content, heritability

Introduction:

La production algérienne de blé dur est faible, essentiellement dépendante des conditions climatiques qui engendrent la variation des superficies récoltées, des productions et des rendements enregistrés (Benbelkacem et *al.*, 2013). Parmi les alternatives offertes pour améliorer la production de cette espèce figurent l'augmentation des superficies au détriment de celles du blé tendre et/ou de l'orge, l'irrigation d'appoint, l'adoption d'un itinéraire technique plus ambitieux, notamment en termes de désherbage et de fertilisation azotée et l'adoption de variétés adaptées à la variabilité climatique des divers milieux de production. Parmi ces différentes alternatives, l'adoption de variétés adaptées est plus efficace, vu que la variété, en tant que semence, est utilisée par tous les agriculteurs. La sélection pour la productivité est plus aisée, elle est basée sur le rendement ou sur la base des composantes, notamment le nombre d'épis/m² et le poids de 1000 grains. Le potentiel des génotypes issus de ce type de sélection ne s'exprime pleinement que sous conditions favorables (Nouar et *al.*, 2010). Sous conditions variables, telles que celles sous lesquelles la production algérienne de blé dur se réalise, ces variétés se montrent peu adaptées et présentent des interactions significatives avec les lieux de production. Ces interactions engendrent une irrégularité des performances de rendement d'une année à l'autre et d'un lieu à l'autre (Annichiarico et *al.*, 2005 ; Adjabi et *al.*, 2007 ; Bendjamaa et *al.*, 2014). Annichiarico et *al.*, (2005) ainsi que Nouar et *al.*, (2012) suggèrent que la sélection soit basée sur les caractères adaptatifs, et qu'il faut favoriser la sélection pour l'adaptation spécifique qui valorise les différents terroirs au détriment de l'adaptation générale plus difficile à obtenir. C'est sur cette base que différentes zones d'adaptation ont été identifiées (Annichiarico et *al.*, 2005 ; Nouar et *al.*, 2012).

La sélection pour l'adaptation est conditionnée par diverses caractéristiques qui varient selon la nature et l'intensité du stress, l'environnement de production et le fond génétique étudié. Ainsi la hauteur de la paille, le raccourcissement du cycle végétatif, la longueur du col de l'épi, le contenu relatif en eau, le contenu en chlorophylle, la fluorescence chlorophyllienne, les sucres solubles, la proline, la stabilité de la membrane plasmique, la capacité de remobilisation des assimilats stockés dans le col de l'épi et la synthèse de protéines de choc thermiques sont autant de caractères

qui conditionnent la tolérance des stress (Slafer et Araus, 2007; Belkharchouhe et *al.*, 2015 ; Hamli et *al.*, 2015a). Peu de variétés adaptées ont été identifiées sur la base de ces caractères, quoique Rebetzke et *al.*, (2008) réussissent à sélectionner des variétés adaptées sur la base de la vigueur de la croissance précoce et Ehdaie et *al.*, (2006), sur la base des assimilats stockés dans le col de l'épi. La sélection sur la base de ces caractéristiques est conditionnée par la présence de la variabilité phénotypique et par un déterminisme relativement moins complexe (Fellahi et *al.*, 2013 ; Oulmi et *al.*, 2014, Hamli et *al.*, 2015a). L'objectif de la présente contribution est d'analyser la variabilité phénotypique de la teneur relative en eau, la stabilité de la membrane plasmique, la précocité au stade épiaison et la hauteur de la plante et leurs relations avec les performances du rendement grain de dix-huit variétés et lignées ségréantes de blé dur (*Triticum durum* Desf), évaluées sous conditions semi-arides.

Matériel et méthodes:

Mise en place de l'expérimentation

L'expérimentation a été conduite sur le site de la Station Expérimentale Agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures (SEA-ITGC) de Sétif. Le site expérimental est situé à 1080 m d'altitude aux coordonnées géographiques 36° 5' N et 5° 21' E. Le matériel végétal est constitué de dix-huit variétés et lignées ségréantes (Tableau 1). Le semis a été réalisé le 11 du mois de décembre 2013 sur des parcelles élémentaires de 2 rangs de 5 m de long, avec 20 cm d'écartement entre rangs adjacents et un espace de 10 cm entre graines sur le rang dans un dispositif aléatoire avec 10 plantes échantillonnées par génotype.

Tableau1. Nom et pedigree des génotypes utilisés comme matériel végétal

N°	Nom/Pedigree	Abréviation	Origine croisement
1	Megress syn. Ofanto/Waha/MBB	Mgs	Sea-Itgc Sétif
2	Bousselam syn. Heïder/Martes// Huevos de Oro	Bou	Cimmyt-Icarda
3	Gaviota durum	Gta	Cimmyt-Icarda
4	MBB	Mbb	Algérie
5	Beni Mestina	Btina	Inraa-Cne
6	Ofanto syn.Adamello/Appulo	Ofa	Italie
7	MBB/Mexicali	Mbb/Mex	Inraa-Cne
8	Bousselam/Adnan	Bou/Adn	Inraa-Cne
9	Jordan collection86/Ahlal	J.Col/Ahl	Inraa-Cne
10	Massara//Lahn/Ch12003	Mas//Lah//Ch	Inraa-Cne
11	Beliouni	Bel	Algérie
12	Ter-1//Mrf1/Stj2	Ter//Mrf/3/Stj	Inraa-Cne
13	Megress/Bousselam	Mgs/Bou	Sea-Itgc Sétif
14	Gaviota durum/MBB	Gta/Mbb	Sea-Itgc Sétif
15	Beni Mestina/ Ofanto	Btina/Ofa	Sea-Itgc Sétif
16	MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan	Mbb/Mex//Bo	Inraa-Cne
17	Jordan coll86/Ahlal/3/Massara//Lahn/Ch ₁₂₀₀₃	Jcol/Ahl/3/Ma	Inraa-Cne
18	Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2	Bel/3/Ter//Mrf	Inraa-Cne

Notations et mesures

Les notations et les mesures ont portés sur la détermination de la durée de la phase végétative comptée en nombre de jours calendaires à partir du 1^{ier} janvier à la date de sortie de 50% des barbes, de la gaine de la feuille étendard. La surface de la feuille étendard est déterminée à partir d'un échantillon de 10 feuilles, dont on mesure la longueur (L) et la plus grande largeur. La surface est estimée par la formule: $SFE (cm^2) = 0.607 (L \times l)$, où SFE = surface moyenne de la feuille étendard (cm^2), L = longueur moyenne de la feuille étendard (cm), l = largeur moyenne de la feuille étendard (cm), 0,607 = coefficient de régression de la surface estimée à partir du papier grammage sur celle déduite par le produit ($L \times l$) (Spagnoletti-Zeuli et Qualset, 1990). La hauteur de la plante (PHT, cm), est prise à maturité, du niveau du sol au sommet des épis par plante, barbes non incluses. La longueur de l'épi est mesurée à partir de la base de l'épi jusqu'à son extrémité, barbes non incluses. La teneur relative en eau a été déterminée au stade épiaison sur un échantillon de trois feuilles, selon le protocole de Pask *et al.*, (2012). Elle est calculée par la formule suivante: $TRE (\%) = [(PF-PS) / (PT- PS)] \times 100$, où TRE = teneur relative en eau foliaire (%), PF = poids frais, PS = poids sec et PT = poids turgide de l'échantillon foliaire. Le pourcentage de dommages causés à la membrane plasmique par le stress a été déterminé selon le protocole d'Ibrahim et Quick (2001). Le pourcentage de cellules endommagées par le stress est estimé par la formule: $\% Inj = 100 (EC1/ EC2)$, où $\% Inj$ est le % de cellules endommagées de la membrane causé par le stress, $EC1$, et $EC2$ sont respectivement les conductivités d'avant et d'après passage au bain marie, respectivement à 40 et 100°C. Au stade maturité, ont été déterminés la biomasse aérienne, le nombre d'épis, le nombre et le poids des graines produites par plante, l'indice de récolte et le poids de 1000 grains. Le nombre de grains par épi est estimé par le rapport entre le nombre de grains sur le nombre d'épis produit par plante.

Analyses des données

Les données collectées ont été soumises à une analyse de la variance faite avec le logiciel CoStat 6. 400. Le degré de détermination génétique (h^2_{bs}) et le gain génétique attendu de la sélection, en valeur réelle (GA) et en % de la moyenne générale du caractère sélectionné (GAM) sont déduits selon les méthodes décrites par Aquaah (2007) : $h^2_{sl} = \sigma^2_g / \sigma^2_p$ et $GA = k.h^2_{sl}.\sigma_p$ où σ^2_g = composante génotypique de la variance, σ^2_p = variance phénotypique, k = intensité de sélection exprimée en unité d'écart type, égale à 2.06 pour 5% d'individus sélectionnés, h^2_{sl} = héritabilité au sens large et σ_p = écart type phénotypique. Le gain de la sélection est aussi relativisé par rapport à la valeur du témoin standard pour le caractère ciblé.

Résultats:

Variabilité, héritabilité et gain de la sélection

L'analyse de la variance révèle un effet génotype significatif pour l'ensemble des caractères mesurés (Tableau 2). Ces résultats indiquent la présence de la variabilité parmi les génotypes évalués, ce qui justifie l'étude et l'analyse des paramètres génétiques. Les valeurs prises par l'amplitude varient de 1.7 épis pour le nombre d'épis par plante à 27.2% pour les dommages causés à la membrane plasmique par le stress thermique. Ces valeurs qui représentent les différences entre les valeurs maximales et minimales observées, indiquent les limites des possibilités de sélection sur la base des caractères d'intérêts. Elles varient de 10.6% de la moyenne de la durée de la phase végétative à 105.8% de celle du rendement grain par plante (Tableau 2). Le degré de détermination génétique (h^2sl) prend des valeurs élevées, supérieures à 70%, pour la durée de la phase végétative et la hauteur de la plante. Des valeurs moyennes, situées entre 50 et 70%, sont notées pour la surface de la feuille étandard et le nombre de grains par épi, les autres variables dont notamment le rendement grain et la biomasse aérienne, qui sont d'un grand intérêt en sélection, présentent de faible h^2sl . Comme l'héritabilité représente la part de la variance totale qui est d'origine génétique, les valeurs élevées de ce paramètre suggèrent que le phénotype mesuré est une bonne représentation du génotype, alors que les faibles valeurs sont indicatrices d'un effet plus environnemental que génétique dans l'expression du caractère. De ce fait, la sélection des caractères qui présentent une héritabilité élevée serait plus efficace. Par contre la sélection des caractères à faible héritabilité est moins efficace vu que la variabilité observée du caractère étudié est due essentiellement à un effet de l'environnement. Sur la base des valeurs de h^2sl , les résultats de cette étude suggèrent que la sélection précoce de la hauteur et la durée de la phase végétative serait plus efficace que celle des autres caractères. Les valeurs du GA sont appréciables pour la hauteur (11.5 cm), la durée de la phase végétative (6.0 jours), l'indice de récolte (6.2%), le nombre de grains par épi (6.1 grains) et le % de dommages causés à la membrane plasmique (8.8%). Elles sont faibles pour la longueur de l'épi, le nombre d'épis par plante et le rendement grain. Exprimé en % de la moyenne du caractère, ces valeurs varient de 4.8% pour la durée de la phase végétative à 45.9% pour le rendement grain (Tableau 2).

Tableau 2. Valeurs moyennes des caractères mesurés et paramètres génétiques des lignées évaluées

Paramètres	DPV	SF E	PH T	BI O	HI	LE	NE	NG E	PM G	RDT	TR E	%In j
Moyenne (\bar{Y})	123. 2	13. 6	59.7	11. 3	31. 4	6.4	3.9	15.3	36.5	2.2	82.6	61.0
Maximum (Max)	132. 0	19. 2	69.4	16. 5	41. 7	7.8	4.9	22.8	44.0	3.4	86.5	72.8
Minimum (Min)	119. 0	10. 0	45.8	7.6	23. 8	5.5	3.2	9.4	24.6	1.1	71.2	45.6
Amplitude (A)	13.0	9.2	23.6	8.9	17. 9	2.3	1.7	13.4	19.4	2.3	15.3	27.2
A (% \bar{Y})	10.6	67. 4	39.6	78. 8	57. 1	35. 7	44. 0	87.5	53.2	105. 8	18.5	44.6
Ppds _{5%}	1.2	2.1	3.7	2.5	7.1	0.5	0.9	3.3	5.3	0.7	4.0	8.3
Effet génotype	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
h ² sl	84.8	50. 2	71.2	44. 2	30. 9	57. 2	10. 3	53.3	36.3	44.2	46.0	36.3
GA	6.0	3.5	11.5	3.4	6.2	0.9	0.2	6.1	5.7	1.0	5.9	8.8
GAM	4.8	25. 7	19.2	30. 3	19. 7	14. 2	5.9	39.5	15.5	45.9	7.1	14.5

SFE = Surface de la feuille étendard (cm²), DPV = Durée de la phase végétative (j), PHT = Hauteur de la plante (cm), BIO = Biomasse aérienne (g), IR = Indice de récolte (%), LE = Longueur de l'épi (cm), NE = Nombre d'épis, NGE = Nombre de grains par épi, RDT = Rendement grain (g), PMG = Poids de mille grains (g), TRE= Teneur relative en eau (%), %Inj= dommages causés à la membrane plasmique (%), ** = effet significatif au seuil de 1%.

Gain de sélection relativement au témoin standard et effet sur les caractères non sélectionnés

La sélection est généralement faite relativement au témoin qui est la meilleure variété au moment de la sélection. Dans le cas de la présente étude le témoin est le cultivar Bousselam. Les changements des valeurs moyennes induits par la sélection, exprimés comme écarts par rapport aux valeurs du témoin sont indiqués au tableau 3. La sélection est faite dans le sens de l'augmentation de la valeur moyenne du caractère pour la longueur de l'épi, la biomasse, l'indice de récolte, la longueur de l'épi, le nombre d'épis et de grains/épi, le poids de 1000 grains, le rendement grain, la teneur relative en eau et la réduction du % de dommages causés à la membrane plasmique. La sélection de la durée de la phase végétative, de la surface de la feuille étendard et de la hauteur n'est pas souhaitée vu que les valeurs du témoin sont relativement optimales.

Tableau 3. Valeurs des écarts extrêmes entre les moyennes des variétés et lignées évaluées et la moyenne du témoin Bousselam pour les caractères mesurés et liste des meilleures lignées sélectionnées par caractère

	DP V	SF E	PH T	BI O	IR	LE	N E	NG E	PM G	RD T	TR E	%In j
Max	10.0	7.6	13.4	8.8	14.9	2.1	1.7	12.9	3.7	2.1	4.8	8.6
Min	-3.0	-1.6	-10.2	-0.1	-3.0	-0.2	0.0	-0.5	-15.7	-0.2	-10.5	-18.6
Mas//Lah//Ch					x							
Mgs/Bou									x		x	
Gta/Mbb												x
Mbb/Mex//Bou/Adn										x		
Jcol/Ahl/3/mas//Lah/ Ch						x		x				
Bel/3/Ter//Mrf//Stj				x			x					

SFE = Surface de la feuille étandard, DPV = Durée de la phase végétative, PHT = Hauteur de la plante, BIO = Biomasse aérienne, IR = Indice de récolte, LE = Longueur de l'épi, NE = Nombre d'épis, NGE = Nombre de grains par épi, RDT = Rendement grain, PMG = Poids de mille grains, TRE = Teneur relative en eau, %Inj = dommages causés à la membrane plasmique. X = sélection sur la base du caractère marqué

La sélection mono caractère identifie 6 géotypes désirables pour l'indice de récolte (Mas//Lah//Ch), pour le poids de 1000 grains et la teneur relative en eau (Mgs/Bou), pour la tolérance du stress thermique (Gta/Mbb), pour le rendement grain (Mbb/Mex//Bou/Adn), pour la longueur de l'épi et le nombre de grains par épi (Jcol/Ahl/3/mas//Lah/Ch) et pour la biomasse aérienne et le nombre d'épis par plante (Bel/3/Ter//Mrf//Stj). Ces lignées sélectionnées apportent un gain de 14.9% pour l'indice de récolte, 3.7 g/1000 grains et 4.8% de teneur relative en eau, une réduction de 18.6% de dommages cellulaires, l'augmentation du rendement de 2.1 g par plante, l'augmentation de la longueur de l'épi de 2.1 cm et du nombre de grains/de 12.9 grains, et un gain de 1.7 épis associé à 8.8 g de biomasse (Tableau 3). La sélection d'un caractère donné induit des changements des valeurs prises par les autres caractères non sélectionnés, avec lesquels le caractère sélectionné est plus ou moins liés. Lorsque la variation des caractères non sélectionnés va dans le sens désiré de la sélection, la sélection n'a pas d'effets négatifs, mais ceci n'est pas toujours le cas. Les résultats de la sélection mono caractère pratiquée dans la présente étude indiquent que relativement aux performances du témoin Bousselam, les lignées sélectionnées apportent un gain de rendement appréciable variant de 53.8 à 161.5% le rendement de Bousselam. Ce gain est accompagné par des gains positifs, mais variables en valeurs, pour hauteur, la biomasse, l'indice de récolte, la longueur de l'épi, le nombre d'épis et le nombre de grains par épi. Le gain de rendement est associé à une amélioration de la tolérance au stress

thermique, ce qui est désirable, mais aussi à une forte réduction indésirable du poids de 1000 grains, qui est variable de -2.2 à -14.7%, selon la lignée. La lignée Mgs/Bou ne montre pas cette réduction du poids de 1000 grains. La variation de la surface de la feuille étendard, de la durée de la phase végétative, de la hauteur et de la teneur relative en eau est variable selon le génotype sélectionné (Tableau 4).

Tableau 4. Gain (%) relativement à la moyenne du témoin Boussem, induit par la sélection mono caractère.

Lignées	DP V	SFE	PH T	BIO	IR	LE	NE	NG E	PM G	RD T	TR E	%In j
Mas//Lah//Ch	0.0	41.4	13. 9	1.3	55. 6	33. 3	18. 8	57.6	- 10.7	53.8	-0.4	- 12.3
Mgs/Bou	-0.8	7.8	9.1	54.5	33. 6	8.8	21. 9	71.7	9.2	123. 1	5.9	- 11.4
Gta/Mbb	2.5	3.4	21. 3	88.3	18. 7	15. 8	37. 5	78.8	- 10.4	115. 4	3.2	- 29.0
Mbb/Mex//Bou/Ad n	0.0	7.8	22. 1	80.5	33. 2	21. 1	31. 3	119. 2	-2.2	161. 5	5.5	- 16.4
Jcol/Ahl/3/mas//Lah /Ch	-0.8	43.1	18. 4	71.4	41. 4	36. 8	28. 1	130. 3	- 14.1	146. 2	-1.8	-1.7
Bel/3/Ter//Mrf//Stj	2.5	- 13.8	23. 9	114. 3	4.1	14. 0	53. 1	34.3	-8.9	84.6	4.7	-3.9

SFE = Surface de la feuille étendard, DPV = Durée de la phase végétative, PHT = Hauteur de la plante, BIO = Biomasse aérienne, IR = Indice de récolte, LE = Longueur de l'épi, NE = Nombre d'épis, NGE = Nombre de grains par épi, RDT = Rendement grain, PMG = Poids de mille grains, TRE= Teneur relative en eau, %Inj= dommages causés à la membrane plasmique.

Ces résultats indiquent que comparativement au témoin Boussem les lignées étudiées offrent de grandes opportunités pour réaliser des gains sur plus d'un caractère à la fois. Ils indiquent aussi, que de manière générale, il y a opposition entre l'augmentation des nombres d'épis et des grains par épi et l'augmentation du poids de 1000 grains. L'étude de la réponse de la descendance de cette sélection est plus qu'intéressante pour identifier les caractères dont la variation est plus d'origine génétique qu'environnementale

Discussion

Pris individuellement, chacun des caractères analysés apporte sa contribution à l'idéotype de plante cherché. Ainsi la modulation de la durée de la phase végétative permet l'esquive du gel printanier et du déficit hydrique et des hautes températures de fin de cycle (Bouzerzour et *al.*, 1998). Plusieurs auteurs dont Ali Dib, (1992) ; Ben Salem et *al.*, (1997); Bouzerzour et *al.*, (1998) ; Megherbi et *al.*, (2012) mentionnent que le sens désirable de la sélection est vers une réduction de la durée de la phase végétative, notamment lorsque la sélection cible les variétés destinées aux

zones sèches du sud de la méditerranée. La surface de la feuille étendard est aussi importante, vu que cet organe est le dernier qui reste en activité, avec l'épi, pour produire les assimilats nécessaires au remplissage du grain. Une feuille étendard aux larges dimensions est certainement désirable en milieux favorables (Lefi *et al.*, 2004 ; Cherfia, 2010), mais en milieux défavorables, l'optimum est difficile à cerner. Ainsi sous stress, les variétés qui réduisent la surface de la feuille étendard tolèrent mieux les stress (Belkharchouche *et al.*, 2009 ; Bouzerzour et Benmahammed, 2009). Le maintien d'un statut hydrique élevé sous stress est une caractéristique désirable à avoir chez les variétés destinées aux zones sèches (Belhassen *et al.*, 1995). Pour une région où la pratique de la céréaliculture est intimement associée à l'élevage ovin, une paille haute est désirable, car une variété haute donne généralement un rendement en paille plus élevée et donc un rendement économique plus élevé (Annichiarico *et al.*, 2006). L'association entre hauteur de la plante et le rendement en paille n'est généralement observable qu'en conditions de sécheresse (Abbassenne *et al.*, 1997). En conditions favorables, la production de paille est plus liée à la capacité de tallage épis qui est plus élevée chez les génotypes courts. De plus, ce caractère varie, selon les environnements, plus chez les lignées hautes que chez les courtes de paille (Nouar *et al.*, 2010). Pour la région ciblée des hauts plateaux, la hauteur de la végétation, la durée de la phase végétative et la surface de la feuille étendard semblent être proches de celles qui caractérisent le témoin Boussem. La biomasse, le rendement, les composantes du rendement, l'indice de récolte, la longueur de l'épi et les indices de tolérance des stress (TRE et %Inj) sont, par contre, candidats à l'amélioration (Fellahi *et al.*, 2013 ; Hamli *et al.*, 2015b). Ces caractères présentent une variabilité appréciable qui justifie la sélection. Ils ont une héritabilité moyenne à faible avec cependant des gains génétiques attendus en sélection, exprimés en % de la moyenne du caractère, moyens à élevés. Les résultats indiquent que comparativement au témoin Boussem les lignées étudiées offrent de grandes opportunités pour réaliser des gains sur plus d'un caractère à la fois. Ils indiquent aussi qu'il est difficile d'améliorer simultanément les nombres d'épis et des grains par épi et le poids de 1000 grains, sur la base de la sélection d'un caractère à la fois, le recours à la sélection sur indice est justifié dans ce cas. Ces résultats corroborent celles rapportées dans la littérature spécialisée. Ainsi utilisant un indice de sélection qui intègre la durée du cycle, la hauteur, la longueur de l'épi, le poids de 1000 grains et la biomasse et le rendement, Kumar *et al.*, (2012) enregistrent un gain de rendement de 127.5%. Ferdous *et al.*, (2010) mentionnent que le nombre de grains/épi, le poids de 1000 grains et le nombre d'épis par plante contribuent positivement au rendement et de ce fait doivent être inclus dans un indice de sélection pour améliorer le rendement. Hussain *et al.*, (2004) trouvent une h^2_{sl} de 92.0% pour le nombre d'épis/m²,

et utilisant une intensité de sélection de 20%, ils obtiennent une différentielle de sélection de 91.5 épis/m² et une réponse à la sélection de 88.4 épis /m². Les mêmes auteurs rapportent une longueur de l'épi de 13.3 cm avec une h²sl de 82%, enregistrant une différentielle de sélection de 2.3 cm et une réponse à la sélection de 1.8 cm. Le poids de 1000 grains montre une h²sl de 74.0%, une différentielle de 6.2 g/1000 grains et une réponse à la sélection de 5.3 g/1000 grains. Saleem et *al.*, (2003) enregistrent une héritabilité variable de 63.31 à 90.86 pour le poids de 1000 grains et un gain attendu de la sélection de 7.90 à 21.5 g pour 1000 grains. Ces auteurs rapportent, à l'inverse des résultats de cette étude, une h²sl (90%) et un GA (11.61 g/plante) élevés pour le rendement grain. Suite à une analyse en chemin (path analysis), Subhashchandra et *al.*, (2009) mentionnent que la longueur de l'épi exerce un effet direct positif et élevé sur le rendement/plante, suivi du nombre de talles fertiles ; de ce fait ces auteurs proposent que les efforts de la sélection doivent se concentrer sur ces deux caractères pour améliorer indirectement le rendement grain. El Morshidy et *al.*, (2010) observent que la sélection de la précocité est accompagnée par une réduction de la hauteur, du poids de 1000 grains et du rendement plante, alors que la sélection directe du rendement améliore significativement le rendement grain.

Conclusion:

Les résultats de cette recherche indiquent que comparativement au témoin Bousselam les lignées étudiées offrent de grandes opportunités pour réaliser, par sélection, des gains appréciables sur plus d'un caractère à la fois. Les difficultés d'améliorer simultanément les nombres d'épis et des grains par épi et le poids de 1000 grains, sur la base de la sélection d'un caractère à la fois, nécessitent le recours à la sélection sur indice. Le matériel sélectionné associe performance de rendement et tolérance du stress thermique mesurée par le % de dommage causés à la membrane plasmique. Il est de ce fait utile comme géniteurs pour le développement de variétés performantes et tolérantes.

References:

- Abbassenne. F., Bouzerzour, H., and Hachemi, L: Phénologie et production du blé dur en zone semi-aride d'altitude. *Annales INA - El Harrach*. 18 : 24 – 36. 1997
- Acquaah, G. Principals of plant genetics and breeding. *Blackwell Publishing, Oxford, UK*, 569 p. 2007
- Adjabi, A., Bouzerzour, H., Lelarge, C., Benmahammed, A., Mekhlouf, A. and Hannachi, A. Relationships between grain yield performance, temporal, stability and carbon isotope discrimination in durum wheat (*Triticum durum*

Desf.) under Mediterranean conditions. *Journal of Agronomy*. 6 : 294 – 301. 2007

Ali-Dib, T., Monneveux, P., Acevedo, E., and Nachit, M. Evaluation of proline analysis and chlorophyll fluorescence quenching measurements as drought tolerance indicators in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). *Euphytica*. 79: 65-73. 1992

Annicchiarico, P., Bellah, F., and Chiari, T. Defining sub regions and estimating benefits for a specific adaptation strategy by breeding programs: a case study. *Crop Sci*. 45: 1741 – 1749. 2005

Annicchiarico, P., Bellah, F., and Chiari, T. Repeatable genotype × location interaction and its exploitation by conventional and GIS-based cultivar recommendation for durum wheat in Algeria. *Europ. J. Agronomy*. 24: 70–81. 2006

Belhassen, E., This, D., and Monneveux, P. L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. *Cahier d'Agriculture*. 1 : 251-261. 1995

Belkherchouche H., Fellah, S., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Chellal, N. Vigueur de la croissance, translocation et rendement en grain du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi arides. *Courrier Savoir Technique & Scientifique*. 7 : 25-30. 2009

Belkharouch, H., Benbelkacem, A., Bouzerzour, H., and Benmahammed, A. Flag leaf and awns ablation and spike shading effects on spike yield and kernel weight of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) under rainfed conditions. *Advances in Environmental Biology*. 9 : 184-191. 2015

Ben Salem, M., Boussen, H., and Slama, A. Évaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : recherche de paramètres précoces de sélection. Sixièmes Journées scientifiques du réseau Biotech.-Génie Génétique des plantes, Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF/UREF), Orsay. *Sécheresse*, 2 : 75- 83. 1997

Benbelkacem, A., Djenadi, C., Khaldoun, A. History of Wheat genetic resources and Breeding in Algeria . Proceedings of the 8th. IWC, St Petersburg, Russia. 2013.

Bendjama, A., Bouzerzour, H., and Benbelkacem, A. Adaptability of durum wheat genotypes (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) to contrasted locations. *Aust. J. Basic & Appl. Sci*. 8(6): 390 - 396. 2014

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

Bouzerzour, H., and Benmahammed, A. Variation in early growth, canopy temperature, translocation and yield of durum wheat (*Triticum turgidum* L.

- var. *durum*) under semi-arid conditions. *Jordan Journal of Agricultural Science*. 5:142-154. 2009
- Cherfia, R. Etude de la variabilité morpho-physiologique et moléculaire d'une collection de blé dur algérien (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de Magister, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie et Ecologie. Université Mentouri, Constantine. 77pp. 2010
- Ehdaie, B., Alloush, G. A., Madore, M. A., and Waines, J. G. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat. *Crop Sci*. 46, 2093–2103. 2006
- El-Morshidy, M. A., Kheiralla, K. A., Ali, M. A., and Ahmed, A. A. S. Efficiency of pedigree selection for earliness and grain yield in two wheat populations under water stress conditions. *Assiut J. Agric. Sci*. 37: 77-94. 2010
- Fellahi, Z., Hannachi, A., Guendouz, A., Bouzerzour, H., and Boutekrabt, A. Genetic variability, heritability and association studies in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Electronic Journal of Plant Breeding*. 4: 1161 - 1166. 2013
- Ferdous, M. F., Shamsuddin, A. K. M., Hasna, D., and Bhuiyan, M. M. R. Study on relationship and selection index for yield and yield contributing characters in spring wheat. *J. Bangladesh Agric. Univ*. 8: 191–194. 2010
- Hamli, S., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Oulmi, A., Kadi, K., and Addad, D. Déterminisme génétique des caractères morpho-physiologiques liés au rendement chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride des hauts plateaux Sétifiens, Algérie. *European Scientific Journal*. 12 : 146-160. 2015^b
- Hamli, S., Labhilili, M., kadi, K., Kabthan, A. E. H., Tagouti, M., Kamar, M., Kanzeri, R., Alyadini, M., and Bouzerzour, H. Heat shock effects on fluorescence, membrane stability, chlorophyll content and metabolites accumulation in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) seedlings and relationships with stress tolerance indices. *Advances in Environmental Biology*. 9 : 116-125. 2015^a
- Hussain, I., Afridi, K., and Afridi, N. Heritabilities and selection responses for yield and yield related traits in spring wheat. *Sarhad J. Agric*. 3: 17-25. 2004
- Ibrahim, A., and Quick, J. S. Heritability of heat tolerance in winter and spring wheat. *Crop Sci*. 41:1401–1405. 2001
- Kumar, C.V.S., Sreelakshmi, Ch., and Shivani, D. Selection indices for yield in rabi sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) genotypes. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 3: 1002-1004. 2012
- Lefi, E., Gulias, J., Cifre, J., Ben Yones, M., and Medrano, H. Drought effects on the dynamics of leaf production and senescence in field-grown

Medicago arborea and *Medicago citrina*. *Ann.Appl. Biol.* 144: 176 -196. 2004

Megherbi, A., Mehdadi, Z., Toumi, F., Moueddene, K., and Bouadjra, S. E. B. Tolérance à la sécheresse du blé dur (*Triticum durum* Desf.) et identification des paramètres morphophysologiques d'adaptation dans la région de Sidi Bel-Abbès (Algérie occidentale). *Acta Botanica Gallica.* 159 (1) : 137-143. 2012

Nouar, H., Bouzerzour, H., Haddad, L., Menad, M., Hazmoune, H. and Zerargui, H. Genotype x environment interaction assessment in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) using AMMI and GGE models. *Advances in Environmental Biology.* 6: 3007 - 3015. 2012

Nouar, H., Haddad, L., Laala, Z., Oulmi, A., Zerargui, H., Benmahammed, A., and Bouzerzour, H. Performances comparées des variétés de blé dur : Mohammed Ben Bachir, Waha et Bousselam dans la wilaya de Sétif. *Céréaliculture.* 54 : 23-28. 2010

Oulmi, A., Benmahammed, A., Laala, Z., Adjabi, A., and Bouzerzour, H. Phenotypic variability and relations between the morpho-physiological Traits of three F5 populations of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) evaluated under semi-arid conditions. *Advances in Environmental Biology.* 8: 436 - 443. 2014

Pask, A. J. D., Pietragalla, J., Mullan, D. M., and Reynolds, M. P. (Eds.). *Physiological Breeding II: A field guide to wheat phenotyping.* Mexico, D.F.: CIMMYT. 2012

Rebetzke, G. J., van Herwaarden, A. F., Jenkins, C., Weiss, M., Lewis, D., Ruuska, S., Tabe, L., Fettell, N. A., and Richards, R. A. Quantitative trait loci for water-soluble carbohydrates and associations with agronomic traits in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research.* 59: 891–905. 2008

Saleem, I., Khan, A. S., and Ali, Z. Estimating of heritability and gentic advance for grain yield traits in *Triticum aestivum* L. *J. Anim. Pl. Sci.*13: 52-54. 2003

Slafer, G. A., and Araus, J. L. Physiological traits for improving wheat yield under a wide range of conditions. *In: Spiertz JHJ, Struik PC, Van Laar HH, eds. Scale and complexity in plant systems research: gene–plant–crop relations.* Dordrecht, The Netherlands: Springer, 147–156. 2007

Spagnoletti-Zeuli, T. L., and Qualset, P. O. Flag leaf variation and the analysis of diversity in durum wheat. *Plant Breeding.* 105: 189 - 202. 1990

Subhashchandra, B., Lohithaswa, H.C., Desais, S. A., Hanchinal, R. R., Kalappanavar, I. K., Math, K. K., and Salimath, P. M. Assessment of genetic variability and relationship between genetic diversity and transgressive segregation in tetraploid wheat. *Karnataka J. Agric. Sci.* 22: 36 -38. 2009