CRSTRA
Scientific and Technical Research Centre for Arid Areas

المجلة الجزائرية للمناطق الجافة

Journal Algérien des Régions Arides (JARA)

Algerian Journal of Arid Regions

Research Paper

Héritabilité, corrélations et gain de sélection précoce en F2 de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) sous conditions semi-arides

Heritability, correlations and selection gain in F2 early generation of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under semi-arid conditions

Z. Fellahi[1,2*], A. Hannachi[3], A. Guendouz[3], A. Rabti[2,4], H. Bouzerzour[2,5]

1. Département d'Agronomie, Fac. Sci. Nat. Vie Sci. Univers, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi, Bordj Bou Arréridj, Algérie.
2. Laboratoire de Valorisation des Ressources Biologiques Naturelles (VRBN), Université Ferhat Abbas Sétif-1, Algérie.
3. Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA), Division des Agrosystèmes Est, Sétif, Algérie.
4. Institut des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, Université Mohamed-Cherif Messaadia Souk Ahras, Algérie.
5. Département de Biologie et d'Ecologie Végétale, Fac. Sci. Nat. Vie, Université Ferhat Abbas Sétif-1, Algérie.

Received: 04 November 2019 ; Accepted: 21 November 2019; Published: December 2019

Abstract

An experiment was conducted out at the National Agronomic Research Institute of Algeria (INRAA), Setif Research Unit, to study the genetic variability, heritability and expected genetic advance in an F2 population for twenty families of bread wheat. The studied traits included chlorophyll content, duration of the vegetative growth period, flag leaf area, plant height, number of spikes per plant, thousand-grain weight, spike length, number of grains per spike, biomass per plant and grain yield per plant. The analysis of variance revealed significant differences among genotypes for all the studied traits. Genetic coefficient of variability ranged from 1.84 for days to 50% heading to 14.88 for number of spikes per plant. High values of broad sense heritability coupled with high estimates of genetic coefficient of variability and genetic gain were recoded for flag leaf area, plant height, number of spikes per plant, number of grain per spike and biomass per plant, emphasizing that the additive genetic variation was the major component of genetic variation in the inheritance of these traits and the effectiveness of selection in early segregating generations for improving these traits. The genetic gain ranged from 3.06% for days to 50% heading to 26.37% for plant height. There was a strong positive genotypic association for grain yield with plant height (1.051**), number of spikes per plant (0.833**), thousand kernel weight (0.423**), spike length (1.016**) and above ground biomass (0.950**). Path analysis identified that number of spikes per plant (6.033) and number of grains per spike (6.403) exhibited the highest positive direct effect on grain yield at genotypic level. The traits number of spikes per plant and grain per spike showed high heritability and genetic coefficient of variability along with high genetic advance and positive direct effect on grain yield. Therefore, these traits could be considered as suitable selection criteria to develop high yielding genotypes under semi-arid conditions.

Key Words: genetic variability, correlation, heritability, selection, grain yield.

* *Corresponding author :* ***Zine El Abidine Fellahi***
E-mail address: zinou.agro@gmail.com / zineelabidine.fellahi@univ-bba.dz

e-ISSN: 2676-2226, Published by: Scientific and Technical Research Centre for Arid Areas (CRSTRA)

CRSTRA

Résumé

Une expérimentation a été conduite à l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA), Unité de recherche de Sétif, pour étudier la variabilité génétique, l'héritabilité et le gain génétique attendu en sélection chez 20 familles F2 de blé tendre. Les mesures ont porté sur la teneur en chlorophylle, la durée de la phase végétative, la surface de la feuille étendard, la hauteur de la végétation, le nombre d'épis par plant, le poids de 1000 grains, la longueur de l'épi, le nombre de grains par épi, la biomasse par plante et le rendement grain. L'analyse de variance a révélé des différences significatives entre les génotypes pour tous les caractères étudiés. Le coefficient de la variabilité génétique varie de 1.84 pour la durée de la phase végétative à 14.88 pour le nombre d'épis par plante. Des valeurs élevées de l'héritabilité au sens large, combinées à de hautes valeurs du coefficient de la variabilité génétique et du gain génétique ont été observé pour la surface de la feuille étendard, la hauteur de la plante, le nombre d'épis par plante, le nombre de grains par épi et de la biomasse produite par plante, suggérant que ces caractères sont sous contrôle génétique additive et que la sélection précoce dans des générations en ségrégation semble efficace pour les améliorer. Le gain génétique attendu en sélection varie de 3.06% pour la durée de la phase végétative à 26.37% pour la hauteur de la végétation. Les résultats montrent une forte association génotypique positive du rendement grain avec la hauteur de la plante (1.051**), le nombre d'épis par plante (0.833**), le poids de 1000 grains (0.423**), la longueur de l'épi (1.016**) et la biomasse aérienne (0.950**). Au niveau génotypique, l'analyse en chemin a montré des effets directs élevés, sur le rendement grain, vennant surtout du nombre d'épis par plante (6.033) et du nombre de grains par épi (6.403). Les caractères nombre d'épis/plante et nombre de grain/épi ont montré une forte héritabilité, des coefficients de variabilité génétique élevés avec un gain génétique et des effets directs positifs sur le rendement grain. Par conséquent, ces caractères peuvent être considérés comme des critères de sélection appropriés pour développer des génotypes à haut rendement en zones semi-arides.

Mots Clés : variabilité génétique, corrélation, héritabilité, sélection, rendement grain.

1. Introduction

Les céréales constituent la base de l'alimentation quotidienne de la population algérienne. Elles occupaient une superficie moyenne de 2.7 millions d'hectares au cours de la période 2000/01 à 2011/12 (Benbelkacem 2013). Les grandes zones productrices se caractérisent par un climat variable et des sols dont la fertilité est décroissante suite à des décennies d'exploitation minière (Lahmar et Ruellan 2007). Cette variabilité pédoclimatique des milieux de production suggère que l'amélioration génétique doit cibler aussi bien la performance de rendement que la tolérance des stress abiotiques (Benmahammed et al. 2010 ; Nouar et al. 2012). La performance de rendement est déterminée par les composantes de rendement alors que la tolérance est liée à des caractéristiques morpho-physiologiques (Lopes et al. 2012 ; Hamli et al. 2015). La sélection pour le potentiel de rendement est faite sur la base du rendement, son efficacité est réduite en présence de l'interaction génotype x milieux (Bouzerzour et Djekoun 1996 ; Kadi et al. 2010 ; Meziani et al. 2011 ; Bendjama et al. 2014 ; Haddad et al. 2016). La sélection pour la tolérance des stress est plus difficile à gérer, suite à l'absence de caractères fiables, reproductibles, utilisables comme marqueurs de l'adaptation à la variation des milieux de production (Oulmi et al. 2014; Hamli et al. 2015 ; Adjabi et al. 2015).

L'efficacité du programme d'amélioration génétique des plantes dépend largement de la variabilité existante pour les caractères d'intérêts et du degré de leur transmission héréditaire des parents à la descendance (Fellahi et al. 2013). L'identification des caractères susceptibles d'être facilement améliorés par sélection, nécessite la présence de suffisamment de variabilité et la connaissance des mécanismes génétiques impliqués dans le contrôle de l'expression de ces caractères (Fellahi et al. 2013 ; Hannachi et al. 2013). La présente recherche cible l'étude de la variabilité, l'estimation des paramètres génétiques impliqués dans l'expression des caractères agronomiques et le gain attendu de la sélection en F2 de blé tendre (*Triticum aestivum* L.), sous conditions semi-arides.

2. Matériel et Méthodes

L'expérimentation a été conduite sur le site de l'Unité de Recherche de l'Institut National de la Recherche Agronomique (UR-INRAA) de Sétif au cours de la campagne 2012/13. Le site est situé aux 36° 15' N et 5° 87' E, à une altitude de 1081 m (Figure 1). Le matériel végétal évalué, constitué de la génération F2 de 20 croisements et des 9 parents croisés, provient d'un dispositif de croisements ''Lignées x Testeurs'', réalisé en 2010/11 (Fellahi et al. 2013 : Tableau 1). L'expérimentation a été mise en place selon un dispositif en blocs complètement randomisés avec trois répétitions (Figure 2). La parcelle élémentaire a 2 rangs de 10 m de long avec espace inter rangs de 20 cm, soit une surface parcellaire de 4 m². Le contrôle des graminées adventices a été réalisé avec Dopler plus à raison de 2 l ha^{-1}, appliqué au stade levée. L'herbicide, anti-dicotylédones, Sekator a été utilisé à une dose de 0.15 l ha^{-1} en poste émergence. L'essai a été fertilisé avec 100 kg ha^{-1} de superphosphate (P2O5≈46) avant le semis et 70 kg ha^{-1} d'urée à 46% au stade tallage. Le cumul pluviométrique enregistré au cours du cycle de la céréale du mois d'octobre à juin était de 398 mm.

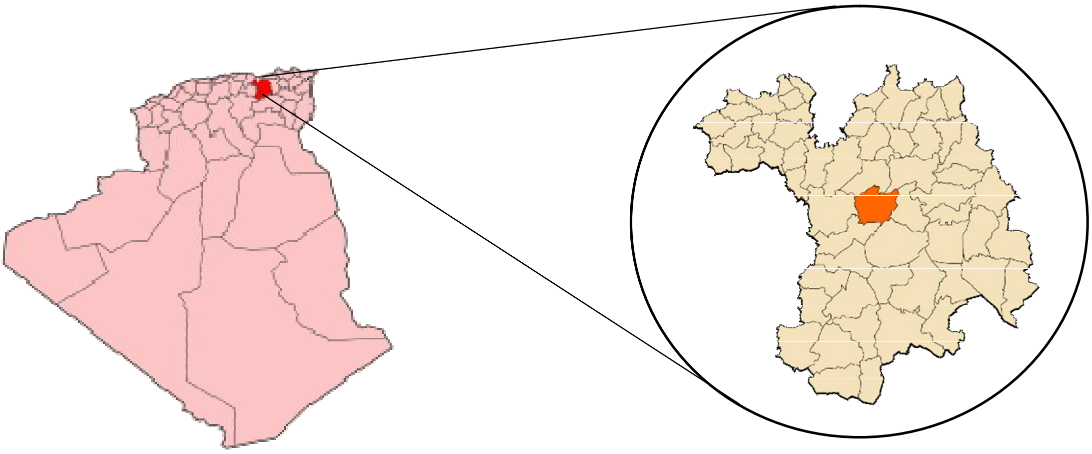

Figure 1: Carte de localisation géographique du site d'étude (Wilaya de sétif, commune de sétif, 36° 15' N et 5° 87' E, 1081 m).

Tableau 1: Dispositif de croisement Lignée x Testeur avec 9 parents pour développer 20 hybrides.

♂ \ ♀	***Mahon-Démias***	***El-Wifak***	***Hidhab***	***Rmada***
Mawna	×	×	×	×
Djanet	×	×	×	×
Acsad$_{1135}$	×	×	×	×
Acsad$_{1069}$	×	×	×	×
Ain Abid	×	×	×	×

♀ : Femelle, ♂ : Mâle, × = Hybride.

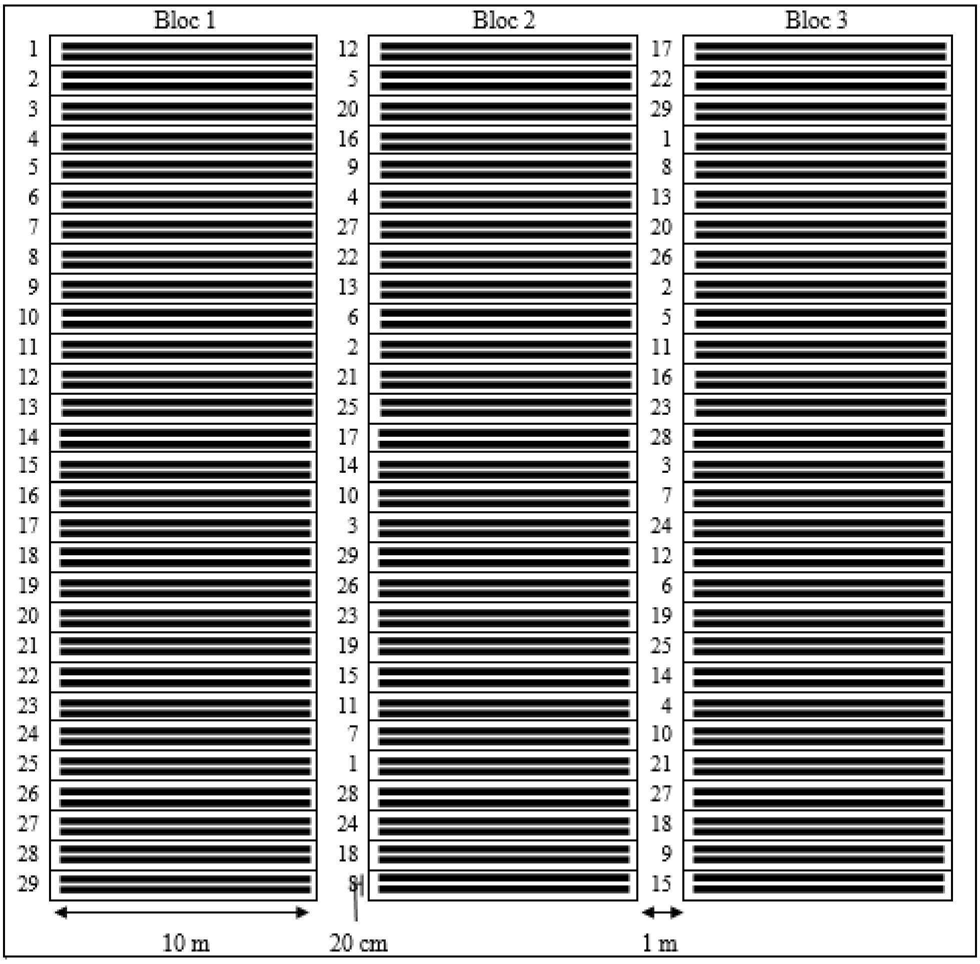

Figure 2: Randomisation en plein champs des parents et des populations F2 évalués.

Les différentes notations et mesures, faites par plante et à raison de 10 plantes par parcelle élémentaire, ont porté sur :

- La teneur en chlorophylle (unités arbitraires), mesurée à l'aide d'un chlorophylle-mètre portable de type CCM-200 (Opti-Sciences, Tyngsboro, Massachusetts, USA) ;
- La durée de la phase végétative (DPV, jours), déterminée en nombre de jours calendaires comptés à partir du 1ier janvier à la date de réalisation de 50% de l'épiaison ;
- La surface de la feuille étendard (SF, cm²), mesurée selon la méthode décrite par Spagnoletti-Zeuli et Qualset (1990) ;
- La hauteur de la plante (HT, cm), mesurée en cm du sol au sommet de l'épi, barbes non incluses ;
- Le nombre d'épis par plant (NE, No),
- Le poids de 1000 grains (PMG, g), déduit du comptage des graines produites par plante ;
- La longueur de l'épi (LE, cm), mesurée à partir du premier article jusqu'au sommet de l'épi, barbes non incluses ;
- Le nombre de grains par épi (NGE, No), par l'équation : $NGE = 1000\ RDT/(PMG \times NE)$;
- La biomasse par plante (BIO, g) ;
- Le rendement grain par plante (RDT, g).

L'analyse de la variance a été effectuée sur les moyennes de 10 plantes par répétition pour tester l'effet génotype. Les composantes phénotypiques, génotypiques et environnementales de la variance et l'héritabilité au sens large ont été estimée d'après Acquaah (2007). Les coefficients de corrélation phénotypiques et génotypiques, entre les différentes paires de caractères, ont été estimés d'après Falconer (1960). Le gain génétique attendu en sélection, au seuil de 5%, a été déterminé par la formule d'Allard (1960). Les effets génétiques directs et indirects des différents caractères mesurés sur le rendement ont été calculés suivant la méthode décrite par Dewey et Lu (1959). La différentielle de sélection du caractère sélectionné et les effets induits par cette sélection sur les caractères non concernés par la sélection sont déduits relativement aux valeurs du témoin de référence le cultivar Hidhab.

3. Résultats et Discussion

L'analyse de la variance indique un effet génotype significatif pour l'ensemble des caractères mesurés et soumis à l'analyse, hormis le rendement grain qui n'est pas significatif (Tableau 2). Ceci suggère la présence de la variabilité d'origine génétique au sein du matériel végétal produit. Cette variabilité mérite d'être exploitée à des fins de sélection pour améliorer les performances et l'adaptation du blé tendre à la variation des milieux de productions qui caractérise la région des hauts plateaux. Les valeurs moyennes, l'amplitude et le coefficient de variation des caractères mesurés sont donnés dans le tableau 2. La variabilité suggérée par l'analyse de la variance est confirmée par l'écart entre les valeurs moyennes minimales et maximales des différents caractères. Ces écarts sont de 22.3 unités pour la chlorophylle, 15 jours pour la durée de la phase végétative, 10.8 cm² pour la surface de la feuille étendard, 48.8 cm pour la hauteur, 9.5 épis par plante, 11.9 g pour le poids de 1000 grains, 5.7 cm pour la longueur de l'épi, 66.8 pour le nombre de grains par épi, 5.7 g pour le rendement et 37.4 g pour la biomasse aérienne par plante (Tableau 2).

Tableau 2 : Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères mesurés chez les populations de blé tendre étudiées.

Sources	Ddl	CHL	DPV	SF	PHT	NE	PMG	LE	NGE	RDT	BIO
Bloc	2	169.33	19.25	3.24	210.20	9.59	3.05	0.77	62.48	37.82	111.60
Génotype	28	39.07**	21.94**	13.91**	316.46**	5.01**	19.09**	2.30**	157.80**	9.79^{ns}	70.29*
Erreur	56	12.34	3.30	3.75	12.60	1.68	5.19	0.28	49.36	8.03	34.07
Moyenne		35.67	135.49	16.50	74.14	7.09	36.48	11.56	48.04	12.20	26.22
Amplitude	min	24.89	129.00	11.90	58.30	4.40	31.04	9.26	29.42	7.19	14.57
	max	47.17	144.00	22.71	107.10	13.90	42.94	14.91	96.26	20.47	52.00
CV (%)		9.85	1.34	11.74	4.79	18.28	6.25	4.56	14.63	23.23	22.26

CHL : Teneur en chlorophylle (unité CCI), DPV : Durée de la phase végétative (jours), SF : Surface de la feuille étendard (cm²), PHT : Hauteur de la plante (cm), NE : Nombre d'épis/plante, PMG : Poids de 1000 grains (g), LE : Longueur de l'épi (cm), NGE : Nombre de grains/épi, RDT : Rendement grain (g), BIO : Biomasse aérienne/plante (g), ns, * et ** : effets non significatif et significatif à 5% et 1%, respectivement

Les composantes phénotypique et génotypique de la variance, les coefficients de variation phénotypique (CV_p) et génotypique (CV_g), l'héritabilité (h^2_{sl}) et le gain génétique attendu de la sélection, en valeur réelle (GA) et en % de la moyenne (GAM), des différents caractères sont indiqués dans le tableau 3. Les CV_p sont globalement plus élevés, en valeurs, que les CV_g, ce qui indique un effet environnement sur l'expression de la variabilité des caractères mesurés. L'effet du milieu n'est pas transmis à la descendance, il n'est pas héritable. Un CV_p ou CV_g, de valeur élevée, est indicateur d'une plus grande variabilité pour le caractère considéré, ce qui donne plus de poids à la sélection pour améliorer un tel caractère (Fellahi et al. 2013).

Tableau 3 : Variances phénotypiques et génétiques, coefficients de variation, héritabilité et gains génétiques attendus en sélection pour les caractères mesurés chez les populations de blé tendre étudiées.

Traits	σ^2_p	σ^2_g	CV_p (%)	CV_g (%)	h^2_{sl} (%)	GA	GAM (%)
CHL	13.02	8.91	12.92	8.36	41.93	3.98	11.16
DPV	7.31	6.21	2.27	1.84	65.31	4.15	3.06
SF	4.63	3.38	16.19	11.15	47.41	2.61	15.81
HT	105.48	101.28	14.39	13.57	88.93	19.55	26.37
NE	1.67	1.11	23.57	14.88	39.86	1.37	19.36
PMG	6.36	4.63	8.59	5.90	47.15	3.05	8.34
LE	0.76	0.67	8.44	7.10	70.77	1.42	12.30
NGE	52.60	36.14	19.24	12.51	42.27	8.05	16.76
RDT	3.26	0.58	24.06	6.28	6.82	0.41	3.38
BIO	23.42	12.07	25.90	13.25	26.15	3.66	13.96

CHL : Teneur en chlorophylle (unité CCI), DPV : Durée de la phase végétative (jours), SF : Surface de la feuille étendard (cm²), PHT : Hauteur (cm), NE : Nombre d'épis/plante, PMG : Poids de 1000 grains (g), LE : Longueur de l'épi (cm), NGE : Nombre de grains/épi, RDT : Rendement grain (g), BIO : Biomasse aérienne/plante (g), σ^2_p : Variance phénotypique, σ^2_g : Variance génétique, CV_p : Coefficient de variabilité phénotypique, CV_g : Coefficient de variabilité génétique, h^2_{sl} : Héritabilité au sens large, GA : Gain génétique attendu de la sélection, GAM : Gain génétique attendu de la sélection en % de la moyenne.

Le CV_p dépasse les 20% pour le nombre d'épis, le rendement et la biomasse. Il est juste moyen, avec des valeurs situées entre 10 et 20%, pour la chlorophylle, la surface de la feuille étendard, la hauteur et le nombre de grains/épi. Par contre, il est faible, prenant des valeurs inférieures à 10%, pour la durée de la phase végétative, le poids de 1000 grains et la longueur de l'épi (Tableau 3). Les valeurs prises par le CV_g sont relativement faibles à modérées, variant de 1.84% pour la durée de la phase végétative à 14.89% pour le nombre des épis par plant. Les résultats de la présente étude corroborent ceux d'Abd El-Shafi (2014) qui rapportent une large amplitude des coefficients de variation entre croisements et entre caractères. Ils diffèrent pour la durée de la phase végétative, la hauteur des plantes, le poids de 1000 grains et la longueur des épis des résultats rapportés par Kant et al. (2011) et par Diyali et al. (2014), qui observent une plus grande variabilité pour ces caractères.

L'héritabilité est indicatrice du degré d'expression du génotype au travers du phénotype. Elle représente la proportion de la variabilité phénotypique qui est d'origine génétique. Cette proportion est héritable et fixable en totalité ou en partie, selon l'importance de la composante de dominance de la variance. L'héritabilité, au sens large, varie de 6.82 à 88.94%, selon le caractère, elle est faible pour le rendement grain et la biomasse (Tableau 3). Ceci suggère que ces caractères sont à déterminisme complexe dont l'expression est influencée par le milieu. L'héritabilité est, par contre, modérée pour la chlorophylle, la surface de la feuille étendard, le nombre des épis, le poids de 1000 grains et le nombre de grains par épi. Elle est élevée pour la durée de la phase végétative, la hauteur de la végétation et la longueur de l'épi (Tableau 3). Des valeurs élevées de l'héritabilité sont rapportées par Majumder et al. (2008) ainsi que Singh et Upadhyay (2013) pour ces caractères.

La valeur de l'héritabilité, seule, ne fournit aucune indication sur les possibilités d'amélioration attendue de la sélection d'un caractère donné, chez la descendance. De ce fait il est utile de calculer, en parallèle du degré de détermination génétique, le gain génétique attendu en sélection, en % de la moyenne de la population (GAM). Les valeurs prises par le GAM varient de 3.06%, pour la durée de la phase végétative à 26.37% pour la hauteur de la végétation. Des valeurs assez moyennes, comprises entre 10 et 20%, sont observées pour le contenu en chlorophylle, la surface de la feuille étendard, le nombre d'épis, la longueur de l'épi, le nombre de grains/épi et la biomasse. Ces résultats suggèrent que les possibilités d'améliorer ces caractères par la sélection, chez les populations produites existent, suite à la variabilité d'origine génétique, de nature additive donc fixable. Par contre les valeurs du gain génétique, notées pour la durée de la phase végétative, le poids de 1000 grains et le rendement grain, sont très faibles. La possibilité d'amélioration de ces traits est, par contre, faible à nulle, par la sélection en F2. Des coefficients de variation génotypiques, associés à des héritabilités et à des gains élevés, fournissent une meilleure information prédictive que chaque paramètre pris isolément (Johnson et Hernandez 1980). Des valeurs élevées concomitantes de ces trois paramètres assurent sur les possibilités de réaliser un gain génétique sur le caractère sélectionné. Des valeurs moyennes à élevées de ces trois paramètres génétiques sont notées dans la présente étude pour la surface de la feuille étendard, la hauteur de la végétation, le nombre d'épis, le nombre de grains/épi et à un moindre degré pour la biomasse. Dans ce contexte Majumder et al. (2008) ainsi que Ali et al. (2008) rapportent des valeurs élevées de l'héritabilité associées à des valeurs élevées du gain génétique pour la hauteur de la plante et le nombre de grains/épi. Les résultats de la présente étude suggèrent que la sélection précoce de la surface foliaire, de la hauteur de la végétation, du nombre d'épis, du nombre de grains/épi et de la biomasse serait efficace. Par contre, il serait plus judicieux de faire avancer le matériel végétal vers un degré de fixité plus avancé avant de débuter la sélection pour le reste des caractères étudiés.

La sélection d'un caractère donné induit des changements des moyennes des caractères non pris en charge dans le processus de sélection. Ces changements ne se font pas toujours dans le sens désiré par le sélectionneur, suite à des liaisons négatives entre les caractères d'intérêts. Ainsi la sélection d'un nombre de grains/épi élevé est concomitante à une réduction du nombre d'épis/m² et/ou à une réduction du poids de 1000 grains (Fellahi et al. 2013). De ce fait l'étude des liaisons entre caractères et des effets directs et indirects sur le rendement grain qui est l'objectif final de la sélection sont d'intérêts. Les coefficients de corrélations phénotypiques de la chlorophylle et la durée de la phase végétative avec le rendement grain ne sont pas significatifs, indiquant l'indépendance de deux caractères du rendement à l'intérieure de la population étudiée. Par contre, les autres caractères affectent positivement et significativement le rendement grain. Les liaisons les plus élevées sont celles du nombre d'pis, et de la biomasse (Tableau 4).

Tableau 4 : Coefficients de corrélations phénotypiques ($r_{p,}$ au-dessus de la diagonale) et génotypiques ($r_{g,}$ au-dessous de la diagonale) entre les caractères mesurés chez la population F2 de blé tendre.

Traits	CHL	DPV	SF	HT	NE	PMG	LE	NGE	RDT	BIO
CHL		-0.224*	-0.360**	-0.381**	-0.100ns	0.079ns	-0.087ns	-0.015ns	-0.022ns	-0.179ns
DPV	-0.404**		0.604**	0.169ns	0.016ns	-0.148ns	0.041ns	0.192ns	0.048ns	0.198ns
SF	-0.612**	0.770**		0.133ns	0.068ns	-0.095ns	0.254*	0.310**	0.227*	0.296**
HT	-0.532**	0.251*	0.246*		0.589**	0.486**	0.259*	-0.395**	0.368**	0.619**
NE	-0.246*	-0.036ns	-0.181ns	0.876**		0.288**	0.269*	-0.384**	0.697**	0.805**
PMG	0.018ns	-0.104ns	-0.250*	0.679**	0.537**		0.050ns	-0.333**	0.358**	0.324**
LE	-0.266*	0.080ns	0.319**	0.247*	0.129ns	-0.045ns		0.257*	0.506**	0.383**
NGE	0.090ns	0.248*	0.479**	-0.681**	-0.961**	-0.830**	0.317**		0.283**	-0.119ns
RDT	-0.116ns	0.094ns	0.098ns	1.051**	0.833**	0.423**	1.016**	-0.810**		0.755**
BIO	-0.387**	0.448**	0.235*	1.092**	0.889**	0.597**	0.385**	-0.734**	0.950**	

CHL : Teneur en chlorophylle (unité CCI), DPV : Durée de la phase végétative (jours), SF : Surface de la feuille étendard (cm²), HT : Hauteur de la plante (cm), NE : Nombre d'épis/plante, PMG : Poids de 1000 grains (g), LE : Longueur de l'épi (cm), NGE : Nombre de grains/épi, RDT : Rendement grain (g), BIO : Biomasse aérienne/plante (g), ns, * et ** : coefficient non significatif et significatif à 5% et 1%, respectivement.

L'analyse des coefficients de corrélations génotypiques indique que la liaison entre la surface foliaire et le rendement est purement d'origine environnementale puisque le coefficient génotypique n'est pas significatif. De plus cette analyse indique que la liaison du nombre de grains/épi avec le rendement change de signe : de positive et significative, phénotypiquement, à négative et significative génotypiquement. Ce résultat indique que la liaison positive est induite par un effet de l'environnement. Globalement l'analyse des coefficients de corrélations entre les différentes paires de caractères indique que dans la plupart des cas les coefficients génotypiques sont supérieurs en valeurs absolues aux valeurs des coefficients de corrélations phénotypiques. Ceci indique que génotypiquement la relation existe, mais qu'elle est masquée phénotypiquement par l'effet du milieu qui modifie l'expression des caractères, réduisant les valeurs de coefficients de corrélations phénotypiques. Les effets de l'environnement qui réduisent les valeurs des coefficients de corrélations, sont rapportées, chez le blé tendre, par Agrawal et al. (1977) ainsi que Deswal et al. (1996). Les liaisons génotypiques les plus importantes sont celles de la hauteur de la plante, le nombre d'épis, celui des grains/épi, la longueur de l'épi et la biomasse aérienne (Tableau 4). Ces résultats suggèrent que la sélection précoce des caractères SF, HT, NE, NGE et BIO présentant une h^2_{sl}, un CV_g, et un GAM élevés affecte positivement le rendement sauf la sélection du NGE qui risque d'affecter négativement le rendement grain. Les coefficients de corrélations génotypiques de ces caractères avec le rendement grain sont subdivisés en effets directs et indirects pour identifier les caractères qui présentent les effets directs positifs les plus importants et qui méritent d'être utilisés comme critère de sélection.

Les effets génétiques directs et indirects de la surface foliaire de la feuille étendard, la hauteur de la végétation, le nombre d'épis par plante, le nombre de grains par épi et la biomasse aérienne sur le rendement grain sont indiqués dans le tableau 5.

Tableau 5 : Effets génétiques directs et indirects des caractères mesurés sur le rendement grain des populations F2 de blé tendre.

Traits	Effets directs	Effets indirects via :					$rg_{RDT/..}$
		SF	HT	NE	NGE	BIO	
SF	-2.052	-	0.265	-1.092	3.072	-0.095	0.098^{ns}
HT	1.078	-0.504	-	5.287	-4.367	-0.443	1.051**
NE	6.033	0.371	0.945	-	-6.157	-0.361	0.833**
NGE	6.403	-0.983	-0.735	-5.797	-	0.298	-0.810**
BIO	-0.406	-0.481	1.178	5.363	-4.703	-	0.950**

SF : Surface foliaire de la feuille étendard (cm^2), HT : Hauteur de la plante (cm), NE : Nombre d'épis/plante, NGE : Nombre de grains/épi, BIO : Biomasse aérienne/plante (g), Effet résiduel = 0.787.

Les effets directs les plus importants, reviennent aux nombres d'épis par plante (6.403) et de grains par épi (6.033). Cela signifie qu'un haut rendement chez la population F2 créée est tributaire d'un nombre d'épis et de grain/épi élevés. Le nombre de grains par épi intervient aussi par des effets indirects appréciables mais de signes négatifs via la surface foliaire (-0.983), la hauteur de la plante (-0.735) et le nombre d'épis par plante (-6.157). Le nombre d'épis agit par deux effets indirects importants en valeurs absolus et de signes différents via le nombre de grains par épi (-6.157) et la hauteur de la végétation (0.945). Le premier tend à baisser le rendement des génotypes ayant un nombre d'épis élevé et le second via la hauteur de la plante qui tend à augmenter le rendement chez les populations F2.

Ces résultats suggèrent que les traits nombre de grains/épi et nombre d'épis/plante peuvent être considérés comme critères direct de sélection dans le cas de la présente étude qui pourront engendrer des améliorations du rendement grain des populations F2 ainsi créées. Les autres caractères agissent surtout sur le rendement de manière indirecte par l'intermédiaire du nombre d'épis. La corrélation génotypique significative qui lie la hauteur de la végétation avec le rendement grain est faite de deux effets indirects appréciables, positif via le nombre d'épis (5.287) et négatif via le nombre de grains/épi (-4.367). La biomasse aérienne agit indirectement sur le rendement grain et d'une manière assez remarquable via le nombre d'épis par plante (5.363) et le nombre de grains par épi (-4.703). La surface foliaire contribue également par un effet indirect positif important via le nombre de grains par épi (3.072).

Chez les populations F2 étudiées, le nombre d'épis/plante et le nombre de grains/épi agissent doublement sur le rendement grain, de manière directe et indirecte. Ceci met en relief le rôle joué par ces deux caractères dans la matérialisation du rendement du blé tendre dans les zones semi-arides d'altitude, et qui pourront être utilisés comme des critères de sélection potentiels dans ces régions. Ces résultats corroborent ceux d'Ali et al. (2008), qui rapportent que le nombre d'épis/plante et le nombre de grains/épi jouent un rôle déterminant dans la réalisation du rendement grain et qu'ils sont des critères efficaces pour sélectionner des génotypes de blé tendre à haut potentiel de rendement. Les effets de la sélection mono-caractère sur la base de la SF, la HT, la BIO, le NE, le NGE et le RDT, estimés comme écarts relativement aux valeurs du témoin Hidhab sont indiqués dans le tableau 6. La sélection pour des valeurs élevées de la hauteur de la végétation identifie la population Djanet/Mahon-Démias qui se caractérise aussi par le nombre d'épis/plante le plus élevé, parmi les populations F2 produites. Cette sélection induit une réduction significative de la DPV de 4.7 jours, une amélioration de la

BIO de 7.0 g/plante, une augmentation du PMG de 5.0 g/1000 grains et une réduction significative du nombre de grains/épi de 14.4 grains, alors que le rendement grain ne change pas, relativement aux valeurs moyennes du témoin Hidhab. Les meilleures différentielles de sélection sont notées pour les caractères sélectionnés: 27.6 cm pour la hauteur et 2.2 épis/plante pour le nombre d'épis/plant, de plus que les valeurs du témoin Hidhab (Tableau 6).

Tableau 6 : Ecarts des populations F2 sélectionnées sur la base de la SF, la HT, la BIO, le NE, le NGE et le RDT relativement aux valeurs du témoin Hidhab pour les variables mesurées.

	Témoin/F2	**DPV**	**SF**	**HT**	**BIO**	**NE**	**NGE**	**PMG**	**RDT**
Traits	Hidhab	140.7	17.5	63.4	23.6	6.6	54.3	31.3	11.3
HT/NE	Djanet/Mahon-Démias	-4.7	-0.8	27.6	7.0	2.2	-14.4	5.0	1.0
BIO	$Acsad_{1135}$/Mahon-Démias	-5.3	-1.2	24.9	7.6	1.5	-11.6	8.3	2.5
SF	Ain Abid/Mahon-Démias	-3.3	4.1	23.7	6.7	1.2	-10.2	7.6	2.2
NGE	Ain Abid/El-Wifak	-3.7	1.1	9.8	2.8	-0.7	9.1	5.6	2.5
RDT	$Acsad_{1069}$/Rmada	-9.3	-2.7	9.0	-3.5	0.0	-2.0	5.9	5.2
	$Ppds_{5\%}$	3.0	3.3	5.8	3.3	1.1	4.3	3.7	1.4

DPV : Durée de la phase végétative (jours), SF : Surface de la feuille étendard (cm²), HT : Hauteur de la plante (cm), NE : Nombre d'épis/plante, PMG : Poids de 1000 grains (g), NGE : Nombre de grains/épi, RDT : Rendement grain (g), BIO : Biomasse aérienne/plante (g).

La sélection de la BIO identifie la population $Acsad_{1135}$/Mahon-Démias comme celle qui apporte un gain de 7.6 g/plant de plus que le témoin Hidhab. Cette sélection induit aussi une réduction de 5.3 jours pour la DPV, une augmentation de la hauteur de 24.9 cm, des augmentations du PMG de 8.3 g et du RDT de 2.5 g et une réduction significative du nombre de grains/épi de 11.6 grains. L'effet sur le nombre d'épis est juste perceptible. La sélection de la SF induit des augmentations significatives de la HT, la BIO, le NE, le PMG et le RDT et une réduction du NGE (Tableau 6).

La sélection du NGE induit aussi des augmentations significatives des mêmes caractères, avec un effet non significatif sur le NE. La sélection sur la base du RDT induit une réduction de la DPV, de la BIO et des augmentations du PMG et la HT, sans effet significatifs sur le NE et le NGE. La sélection précoce des générations de base F2 voire F3 qui sont hétérozygotes, est pratiquée pour identifier les populations les plus prometteuses qui serviront à la sélection de lignées supérieures. Ce type de sélection induit souvent des effets indésirables sur les caractères non sélectionnés. Ainsi Martin et Geraldi (2002) notent que la sélection des populations F2 pour le rendement identifie des lignées qui sont tardives et hautes. El-Morshidy et al. (2010) mentionnent que la sélection directe est effective dans l'amélioration du rendement mais elle est associée à une phase végétative plus longue. Getachew et al. (1993) rapportent des effets directs élevés, sur le rendement, de la biomasse, de la hauteur et du poids de 1000 grains. Ces auteurs suggèrent de sélectionner sur la base de ces caractères individuellement ou en combinaison sous forme d'un index. Srivastava et al. (1980) qui observent un effet direct élevé de la durée du cycle (7.06) sur le rendement, suivi de la biomasse (0.96) et de l'indice de récolte (0.54), suggèrent que la sélection indirecte sur la base de ces caractères améliore le rendement grain.

4. Conclusion

Les résultats sur lesquelles débouche cette étude indiquent la présence de la variabilité entre les populations F2 produites par croisements pour l'ensemble des variables mesurées. Cette variabilité est suggérée par les valeurs de l'amplitude et des coefficients de variation phénotypiques et génotypiques. Les CV_p sont plus élevés en valeurs que les CV_g, suggérant un effet du milieu sur l'expression des caractères. La durée de la phase végétative, la hauteur de la végétation et la longueur de l'épi montrent une héritabilité élevée, la surface de la feuille étendard, le nombre des épis, le poids de 1000 grains et le nombre de grains par épi présentent une héritabilité moyenne, alors que le rendement grain et la biomasse aérienne présentent une faible héritabilité, suggérant que ces deux caractères sont à déterminisme génétique complexe dont l'expression est influencée par le milieu. Des GAM importants sont notés pour le contenu en chlorophylle, la surface de la feuille étendard, le nombre d'épis, la longueur de l'épi, le nombre de grains/épi et la biomasse, suggérant les possibilités d'améliorer ces caractères chez les populations étudiées. Des effets directs élevés, sur le rendement, viennent du nombre de grains par épi et du nombre d'épis par plante. La sélection sur la base de ces caractères induits des augmentations significatives de la hauteur de la biomasse et du poids de 1000 grains et la réduction du nombre de grains par épi.

5. Références bibliographiques

- Abd El-Shafi MA (2014) Estimates of genetic variability and efficiency of selection for grain yield and its components in two wheat crosses (*Triticum aestivum* L.). International Journal of Agriculture and Crop Sciences 7(2):83-90.
- Acquaah G (2007) Principals of plant genetics and breeding. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Adjabi A, Bouzerzour H, Lelarge C, Benmahammed A, Mekhlouf A, Hannachi A (2007) Relationships between grain yield performance, temporal, stability and carbon isotope discrimination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under Mediterranean condition. Journal of Agronomy 6(2):294-301.
- Agrawal RK, Sharma R, Sharma GS, Singh RB, Nandon R (1977) Variability land association of coleptile length and other traits in wheat. Indian Journal of Agricultural Sciences 47:234-236.
- Ali Y, Atta BM, Akhter J, Monneveux P, Lateef Z (2008) Genetic variability, association and diversity studies in wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm. Pakistan Journal of Botany 40(5):2087-2097.
- Allard RW (1960) Principles of plant breeding. J Wiley and Sons, Eds. New York.
- Benbelkacem A (2013) Rapport national des activités du projet Inraa-Icarda, 2012-2013.
- Bendjama A, Bouzerzour H, Benbelkacem A (2014) Adaptability of durum wheat genotypes (*Triticum turgidum* L. var *durum*) to contrasted locations. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 8(6):390-396.
- Benmahammed A, Nouar H, Haddad L, Laala Z, Oulmi A, Bouzerzour H (2010) Analyse de la stabilité des performances de rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi arides. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement 14(1):177-186.
- Bouzerzour H, Djekoun A (1996) Etude de l'interaction génotype x lieu du rendement de l'orge en zone semi-aride. Science et Technologie 7:16-28.
- Deswal RK, Grakg SS, Berwal KK (1996) Genetic variability and characters association between grain yield and its components in wheat. Annals of Biology 12(2):221-224.

- Dewey DR. and Lu KH (1959) A correlation and Path Coefficient Analysis of components of crested Wheatgrass seed production. Agronomy Journal 51(9):515-518.
- Diyali S, Bhanupriya S, Mukherjee, Sarkar KK, Mukhopadhayay SK (2014) Estimation of variability for grain yield, quality and some agronomic traits in bread wheat and triticale. Journal of Crop and Weed 10(2):128-134.
- El-Morshidy MA, Kheiralla KA, Ali MA, Ahmed AAS (2010) Efficiency of pedigree selection for earliness and grain yield in two wheat populations under water stress conditions. Assiut Journal of Agricultural Sciences 37:77-94.
- Falconer DS (1960) Introduction to quantitative genetics. Oliver and Boyd, eds. Edinburgh and London.
- Fellahi Z, Hannachi A, Bouzerzour H, Boutekrabt A (2013) Line × Tester Mating Design Analysis for Grain Yield and Yield Related Traits in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). International Journal of Agronomy, Article ID 201851, 9 p.
- Fellahi Z, Hannachi A, Guendouz A, Bouzerzour H, Boutekrabt A (2013) Genetic variability, heritability and association studies in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. Electronic Journal of Plant Breeding 4(2):1161-1166.
- Fellahi Z (2013) Aptitude à la combinaison et héritabilité de quelques caractères agronomiques du blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Mémoire de Magister, Université Saad Dahlab - Blida, 136 p.
- Getachew B, Tesemma T, Mitiku D (1993) Variability and correlation studies in durum wheat in Alem-Tena, Ethiopia. Rachis News Letter 12(1/2): 38-40.
- Haddad L, Bouzerzour H, Benmahammed A, Zerargui H, Hannachi A, Bachir A, Salmi M, Oulmi A, Fellahi Z, Nouar H, Laala Z (2016). Analysis of genotype × environment interaction for grain yield in early and late sowing date on durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes. Jordan Journal of Biological Sciences 9(3):139-146.
- Hamli S, Bouzerzour H, Benmahammed A, Oulmi A, Kadi K, Addad D (2015) Déterminisme génétique des caractères morpho-physiologiques liés au rendement chez le blé dur en zone semi-aride des hauts plateaux Sétifiens, Algérie. European Scientific Journal 11(12):146-160.
- Hannachi A, Fellahi Z, Bouzerzour H, Boutekrabt A (2013) Diallel-cross analysis of grain yield and stress tolerance-related traits under semi-arid conditions in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). Electronic Journal of Plant Breeding 4(1):1027-1033.
- Johnson CE, Hernandez TP (1980) Heritability studies of early and total yield in tomatoes. Horticultural Science 15(3):280-285.
- Kadi Z, Adjel F, Bouzerzour H (2010) Analysis of the Genotype X Environment Interaction of Barley Grain Yield (*Hordeum Vulgare* L.) Under Semi-arid Conditions. Advances in Environmental Biology 4(1):34-40.
- Kant S, Lamba RAS, Panwar IS, Arya RK (2011) Variability and inter-relationship among yield and quality parameters in bread wheat. Journal of Wheat Research 3(2):50-55.
- Lahmar R, Ruellan A (2007) Dégradation des sols et stratégies coopérative en Méditerranée : La pression sur les ressources naturelles et les stratégies de développement durable. Cahiers Agricultures 16(4):318-323.
- Lopes MS, Reynolds MP, Jalal-Kamali MR, Moussa KS, Feltaous KS, Tahir MY, Barma ISA, Vargas N, Mannes MY, Baum M (2012) The yield correlations of selectable physiological traits in a population of advanced spring wheat lines grown in warm and drought environments. Field Crops Research 128:129-136.

- Majumder DAN, Shamsuddin AKM, Kabir MA, Hassan L (2008) Genetic variability, correlated response and path analysis of yield and yield contributing traits of spring wheat. Journal of the Bangladesh Agricultural University 6(2):227-234.
- Martin SK, Geraldi IO (2002) Comparison of three procedures for early generation testing of soybean. Crop Science 42(3):705-709.
- Meziani N, Bouzerzour H, Benmahammed A, Menad A, Benbelkacem A (2011) Performance and adaptation of barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) to diverse locations. Advances in Environmental Biology 5(7):1465-1472.
- Nouar H, Bouzerzour H, Haddad L, Menad A, Hazmoune T, Zerargui H (2012) Genotype x Environment Interaction Assessment in Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) using AMMI and GGE Models. Advances in Environmental Biology 6(11):3007-3015.
- Oulmi A, Benmahammed A, Laala Z, Adjabi A, Bouzerzour H (2014) 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(21):436-443.
- Singh B, Upadhyay PK (2013) Genetic Variability, Correlation and Path Analysis in Wheat (*Triticum aestivum* L.). Indian Research Journal of Genetics and Biotechnology 5(3): 197-202.
- Spagnoletti-Zeuli TL, Qualset PO (1990) Flag leaf variation and the analysis of diversity in durum wheat. Plant Breeding 105(3):189-202.
- Srivastava SN, Sarkar DK, Mallic MH (1980) Association analysis in rainfed wheat. Indian Journal of Genetics 40(3):512-514.