

Effets des facteurs environnementaux sur le poids des grains dans cinq populations algériennes de blé dur (*Triticum durum* Desf.)

A. Aggoun¹
K. Benmahammed²
M. Dekhili¹

¹ Laboratoire de génétique et statistique,
Faculté des sciences,
Université F. Abbas,
Sétif 19000
Algérie
<djamel_aggoun@caramail.com>
<dj_aggoun2005@yahoo.fr>

² Département d'électronique,
Faculté des sciences de l'ingénieur,
Université F. Abbas,
Sétif 19000
Algérie

Résumé

L'étude porte sur l'analyse d'une composante du rendement en grains (le poids de mille grains, PMG) de cinq populations algériennes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) cultivé dans la région de Sétif en prenant en compte la localisation géographique, les conditions climatiques, ainsi que la morphométrie sur la base de huit caractères quantitatifs liés au développement de la plante pour certains, au rendement de l'épi pour d'autres. Les données analysées portent sur deux campagnes consécutives (années 1994 et 1995) et deux sites (centre et nord de Sétif) caractérisés par des conditions pédologiques et climatiques différentes. L'analyse de variance multiple (Manova, *multivariate analysis of variance*) et le modèle linéaire général ont été utilisés pour mettre en évidence la relation de dépendance entre le PMG et l'ensemble facteurs-variables considérés. Cette approche caractérise un aspect de l'interaction génotype x environnement sur des populations en milieu méditerranéen. Chacune de ces méthodes a permis de mettre en évidence la variabilité spécifique liée au site et à l'année pour chaque population, d'une part, et l'influence des caractères morphologiques sur le rendement, d'autre part.

Mots clés : *Triticum durum* ; Algérie ; rendement ; facteur du milieu ; modèle.

Thèmes : productions végétales ; méthodes et outils ; climat.

Abstract

Effects of environmental factors on kernel weight in five Algerian durum wheat populations (*Triticum durum* Desf.)

This study analyses the thousand kernel weight (TKW) component of grain yield in five local Algerian populations of durum wheat in the Setif area, taking into account the geographic location, the climatic conditions, and eight morphological traits related to plant development and ear yield. The data analysed cover two years (1994 and 1995) and two contrasting locations. The multivariate analysis of variance (Manova) and the general linear model (GLM) are used to show the relationship existing between the TKW and the set of factors-variables considered. This approach aims at highlighting some of the genotype x environment interaction aspects in populations in a Mediterranean area. Each method demonstrates the influence of morphological traits on yield (TKW) and the variability specific to the location and year for each population.

Key words: *Triticum durum*; Algeria; yields; environmental factors; models.

Subjects: vegetal productions; tools and methods; climate.

Depuis qu'elles sont cultivées en Algérie, les populations de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sont confrontées et soumises à diverses contraintes (aléas climatiques, pauvreté des sols, etc.) et n'ont fait l'objet que de

rare études mettant en relief leur variabilité géographique et temporelle en matière de productibilité (Laumont et Erroux, 1961 ; Benbelkacem et Kellou, 2001). Le poids de mille grains (PMG), qui est élevé pour les populations locales

Tirés à part : A. Aggoun

par rapport aux populations introduites, ne semble pas influencer sur le rendement et reste généralement peu maîtrisable car fortement lié aux effets de l'environnement au moment de la formation et du remplissage du grain. Le déficit pluviométrique après floraison, lorsqu'il est combiné aux fortes températures, entraîne une diminution du PMG par altération de la vitesse et/ou de la durée de remplissage, provoquant ainsi l'échauffage des grains (Benbelkacem et Kellou, 2001). L'analyse de l'impact des facteurs environnementaux (sol et climat) et celle des caractères morphologiques sur la productivité (exprimée en PMG) de quelques-unes de ces populations, par l'utilisation de techniques statistiques comme l'analyse de variance multiple (Manova, *multivariate analysis of variance*) ou le modèle linéaire général (GLM, *general linear model*), doivent permettre d'identifier et de mesurer les effets des facteurs environnementaux et des caractères morphologiques sur le PMG, d'une part, et de pouvoir prédire cette composante, d'autre part. On pourrait alors prendre des dispositions en vue d'atténuer l'impact de ces facteurs et de maintenir la productivité de ces populations à un niveau raisonnable par une stratégie de sélection de génotypes.

Matériel et méthode

Matériel

Les essais ont été menés sur cinq populations durant deux années consécutives et dans deux sites contrastés. Les populations étudiées sont : Ziban (ZB), Oued Zenati368 (OZ), Bidi17 (BD), Hedba3 (HD), Mohammed Ben Bachir (MB). Les populations HD et MB sont les variétés les plus hautes ; elles ont une levée précoce, une épiaison tardive, une durée de remplissage plus courte. La mortalité des tiges est assez élevée et entraîne un faible indice de récolte chez ces populations. Le dispositif expérimental en blocs de Fisher, conforme aux directives de l'Union internationale pour la protection des obtentions végétales (UPOV) (Union internationale pour la protection des obtentions végétales, 1991), se compose de deux répétitions de cinq parcelles élémentaires randomisées, de 11,8 mètres de longueur et de 0,6 mètre de largeur pour chaque parcelle. Le précédent culturel est une jachère travaillée. Le matériel

végétal étudié a été fourni par la station de l'Institut technique des grandes cultures (ITGC) de Sétif. Chaque parcelle a été semée de grains de la même population (génération zéro, G_0), avec 60 lignes espacées de 20 centimètres et à raison de cinq grains (non traités chimiquement) d'un même épi par ligne. Les mesures morphométriques ont été effectuées en laboratoire sur les caractères suivants associés au développement de la plante :

- hauteur de la plante (HP) ;
- longueur de la glume (GL) ;
- longueur de l'épi (EP) ;
- longueur du grain (GR) ;
- longueur du premier article du rachis (LR) ;
- longueur du bec de glume (BG).

Le nombre de grains par épi (NG) et le poids des grains par épi (PG), sont liés au rendement de l'épi.

Les observations ont été relevées sur deux campagnes agricoles (1993-1994 et 1994-1995) dans deux sites qui diffèrent par leurs caractéristiques climatiques et édaphiques : le site centre situé au sud de la ville de Sétif, et le site nord situé au nord de cette ville.

Le site centre est caractérisé par une altitude de 1 080 m, un sol très riche en calcaire, de couleur brun-rouge et de texture limono-argilo-sablonneuse. Le site nord, situé à une altitude de 1 220 m, est caractérisé par des sols profonds et hygroscopiques, de couleur noire, de texture argileuse et contient une faible proportion de calcaire. Les sols du site central, terres légères et peu profondes, s'échauffent et s'assèchent rapidement, à l'opposé de celles du site nord où l'assèchement se fait plus lentement. L'année agricole 1993-1994 a été caractérisée par une faible pluviométrie (247 mm), 27 jours de gel et 16 jours de sirocco. L'année 1994-1995 a été plus abondante en termes de précipitations (444 mm), avec des gelées plus fréquentes (89 jours) et moins exposée au sirocco (6 jours). Sur 12 000 observations recueillies, seulement 1 200 ont été soumises à l'analyse. Ce choix est justifié par l'absence des effets « bloc » et « épi-ligne » après une analyse de variance préliminaire effectuée sur chaque variable (Dekhili, 1999). Sur 2 400 observations (épis) pour chaque population, un volume de 240 observations a été soumis à l'analyse. Un tirage aléatoire d'un épi sur les dix récoltes dans les deux lignes des parcelles élémentaires de chaque bloc (soit une fraction d'un dixième), a été effectué.

Méthode

Analyse de variance multiple (Manova)

Cette méthode a été appliquée sur le PMG et les huit variables mesurées en laboratoire, pour chaque population. Le principe consiste à décomposer la dispersion (inertie) totale W_T relative à l'ensemble des neuf variables pour une population donnée, en une somme de dispersions intragroupes W_I et des dispersions intergroupes correspondant respectivement à l'effet principal des facteurs site (W_S), année (W_A), de leurs interactions $W_{S \times A}$ (Laforge, 1981).

Formellement, on a la relation :

$$W_T = W_I + W_S + W_A + W_{S \times A} \quad (1)$$

Le test de l'effet principal de chaque facteur et des interactions sur les variables repose sur les statistiques Λ de Wilks formées du rapport des variances généralisées entre les matrices de dispersion intergroupes ($W_S, W_A, W_{S \times A}$) et la matrice de dispersion intragroupes W_I , ou sur leurs approximations par les statistiques χ^2 de Bartlett :

$$\chi^2 = -(N-1) \frac{p+g}{2} \log(\Lambda) \quad (2)$$

et celles de Fisher :

$$F = \frac{N-g-p+1}{g-1} \cdot \frac{1-\Lambda}{\Lambda} \quad (3)$$

Les paramètres N, g et p désignent respectivement le nombre total d'observations, le nombre de groupes définis par chacun des facteurs ou de leurs combinaisons, et le nombre de traits considérés (Krzanowski, 1988 ; Saporta, 1990).

Modèle linéaire général

L'intérêt de cette formulation réside dans l'expression directe de l'interaction entre chaque variable et les facteurs. Les coefficients de régression du modèle mesurent la contribution directe de chaque variable explicative à la variable dépendante selon les facteurs considérés. Le paramétrage des niveaux formels des facteurs se fait par leur décomposition en pseudo-variables (matrice d'incidence) dans la régression de façon que les effets principaux des variables et facteurs soient marginaux à leurs interactions (Mc Cullagh et Nelder, 1990). L'application de ce modèle est effectuée selon la régression factorielle du PMG en fonction des variables

Tableau 1. Populations, moyennes et écarts types des caractères morphologiques.

Table 1. Populations, means and standard deviations of morphological traits.

Population	Site	Année	Caractères					
			HP (cm)	GL (mm)	EP (cm)	GR (mm)	LR (mm)	BG (mm)
ZB	Centre	93-94	55,26	11,89	6,08	7,34	3,01	1,83
			4,34	0,42	0,58	0,47	0,42	0,43
		94-95	73,41	13,30	7,25	7,62	4,00	2,54
			7,72	0,56	0,39	0,29	0,20	0,48
	Nord	93-94	69,43	11,48	6,83	7,77	3,51	1,86
			4,59	0,70	0,46	0,27	0,50	0,46
	94-95	75,90	12,66	7,03	7,90	3,29	2,40	
		8,73	0,63	0,48	0,34	0,40	0,48	
OZ	Centre	93-94	53,18	12,73	6,03	7,31	3,16	2,55
			4,86	0,74	0,72	0,77	0,58	0,58
		94-95	87,60	14,64	8,06	8,90	3,44	3,72
			12,59	1,09	0,42	0,39	0,54	0,89
	Nord	93-94	96,86	13,90	7,30	8,69	3,01	3,63
			6,38	1,17	0,53	0,29	0,30	0,91
	94-95	93,05	13,40	8,20	8,52	2,84	2,77	
		9,98	1,08	0,59	0,44	0,39	0,77	
BD	Centre	93-94	55,55	13,20	6,27	7,73	2,66	2,19
			5,93	0,54	0,38	0,52	0,39	0,29
		94-95	83,00	14,54	7,93	8,96	3,46	2,75
			12,16	0,61	0,35	0,30	0,51	0,65
	Nord	93-94	91,45	13,39	6,80	8,73	2,98	2,64
			5,46	0,49	0,43	0,29	0,22	0,54
	94-95	90,28	13,44	7,24	8,71	3,17	2,26	
		11,31	0,66	0,60	0,39	0,34	0,49	
HD	Centre	93-94	72,51	12,06	7,64	6,71	3,82	1,34
			7,80	0,19	0,74	0,90	0,72	0,46
		94-95	100,91	13,14	9,87	8,00	4,30	1,39
			10,38	0,63	0,54	0,46	0,57	0,31
	Nord	93-94	108,88	11,95	8,84	8,54	3,17	1,66
			6,01	0,79	0,63	0,34	0,36	0,21
	94-95	102,43	12,25	9,66	8,44	4,21	1,37	
		11,05	0,74	0,54	0,56	0,52	0,29	
MB	Centre	93-94	67,23	10,70	6,28	6,81	2,74	1,45
			6,27	0,38	0,53	0,84	0,60	0,37
		94-95	90,78	11,40	7,66	7,84	3,61	1,88
			8,15	0,35	0,49	0,22	0,57	0,23
	Nord	93-94	91,78	10,50	6,89	7,29	2,96	1,64
			5,68	0,62	0,48	0,47	0,36	0,35
	94-95	99,46	11,51	7,33	7,56	3,50	1,85	
		9,16	0,52	0,59	0,38	0,44	0,33	

phénotypiques et des variantes de l'environnement définies par la combinaison site*année (Denis, 1980 ; Denis, 1988 ; Van Eeuwijk 1995 ; Van Eeuwijk *et al.*, 2004 ; Vargas *et al.*, 2001). Pour chaque population, le PMG est relié aux variables et le facteur environnement (site × année : S*A) par une combinaison linéaire. GENSTAT5 (Genstat 5 Committee, 1993) débute la procédure dans sa première phase par l'introduction des

variables explicatives exclusivement (modèle M1) :

$$\text{PMG} = \text{Cste} + \text{HP} + \text{GL} + \text{EP} + \text{GR} + \text{LR} + \text{BG} \quad (4)$$

Dans la deuxième étape, le facteur environnement est inclus de manière additive dans la régression (modèle M2) :

$$\text{PMG} = \text{Cste} + \text{S} * \text{A} + \text{HP} + \text{GL} + \text{EP} + \text{GR} + \text{LR} + \text{BG} \quad (5)$$

Ainsi, l'effet principal de l'environnement (constante du modèle M2) sur le PMG, est testé par le critère de Fisher :

$$F = [\text{SCR}(M1) - \text{SCR}(M2)/3] / [\text{SCR}(M2)/230]$$

avec les degrés de liberté 3 et 230.

La dernière phase se traduit par l'expression multiplicative des variables et du

facteur environnement (modèle complet ou modèle M3) dans la relation :

$$\begin{aligned} \text{PMG} = & \text{Cste} + \text{S}^* \text{A} + \text{HP} \cdot \text{S}^* \text{A} + \\ & \text{GL} \cdot \text{S}^* \text{A} + \text{EP} \cdot \text{S}^* \text{A} + \text{GR} \cdot \text{S}^* \text{A} + \\ & \text{LR} \cdot \text{S}^* \text{A} + \text{BG} \cdot \text{S}^* \text{A} \quad (6) \end{aligned}$$

Le test de l'effet de l'interaction environnement-variables sur le PMG, exprimé par les coefficients de régression des variables dans le modèle complet, est basé sur le critère :

$$F = \frac{[(\text{SCR}(\text{M2}) - \text{SCR}(\text{M3})) / 18]}{[\text{SCR}(\text{M3}) / 212]}$$

avec les degrés de liberté 18 et 212, le terme SCR désignant la somme des carrés résiduels.

Résultats

À travers les analyses préliminaires, le PMG des populations HD et MB qui se caractérisent par une hauteur importante de la plante, une forte longueur de l'épi, la grosseur remarquable du grain (*tableau 1*), est moins élevé que celui des trois autres populations céréalières étudiées (*tableau 2*). De façon générale, le PMG est plus élevé dans le site nord (moy : 47,26 g) que dans le centre (moy : 39,35 g), soit un gain de 20,1 % pour les cinq populations confondues (moy. générale : 43,3 g). D'une année sèche (1993-1994, moy : 37,53 g) à une année pluvieuse (1994-1995, moy : 49,32 g), le gain moyen du PMG est d'environ 32 %, avec 48,9 % pour le site centre (de 31,97 à 47,09 g) et 19,6 % dans le nord (de 43,1 à 51,56 g). Les populations ZB, OZ et BD, qui ont la même généalogie, ont une meilleure adaptation que les populations HD et MB (*tableau 2*). L'analyse de variance multiple (Manova), a montré que les cinq populations subissent manifestement l'effet de l'environnement (*tableau 3*) qui se traduit par une baisse sensible du PMG (*tableau 2*) et des variables phénotypiques (*tableau 1*), du nord vers le centre.

D'après les résultats obtenus par la régression factorielle selon le modèle M3 pour chaque population, on remarque que :

– pour la population ZB (pourcentage de variance expliquée $R^2 = 0,521$), l'effet de l'environnement s'est manifesté de façon différentielle et significative sur le PMG (*tableau 4*), particulièrement dans le centre au cours de l'année 1993-1994. La faible pluviosité, durant cette année,

Tableau 2. Moyennes (en grammes) et écarts types du poids de mille grains (PMG) par population (globales, par site, année et interaction site-année).

Table 2. Means (in grams) and standard deviations of thousand kernels weight (TKW) per population (global, by location, year and location-year interaction).

	Population				
	ZB	OZ	BD	HD	MB
Moyenne globale	43,25 2,25	46,13 2,85	45,52 2,58	40,92 3,22	40,88 2,83
Site centre	41,03 3,26	41,28 4,46	42,74 4,14	35,82 4,74	35,88 4,56
Site nord	45,19 3,12	50,99 3,79	48,30 3,13	45,97 4,36	45,88 3,34
Année 1993-1994	39,10 3,52	38,12 4,36	39,26 3,26	35,56 3,14	34,73 4,63
Année 1994-1995	47,41 2,82	54,15 3,67	51,78 4,04	46,23 4,71	47,03 3,25
Site centre 1993-1994	37,86 5,32	29,52 6,89	34,69 5,18	29,10 7,84	26,91 7,57
Site centre 1994-1995	44,20 3,77	53,04 5,02	50,79 6,48	42,55 5,36	44,86 5,12
Site nord 1993-1994	40,35 4,62	46,72 5,37	43,83 3,99	42,03 4,01	42,56 5,34
Site nord 1994-1995	50,63 4,21	55,26 5,36	52,77 4,83	49,91 7,76	49,20 4,03

serait la cause principale de la baisse du PMG. Les coefficients de régression obtenus, mettent en évidence la sensibilité du PMG aux effets de l'interaction environnement-variables, effets qui se traduisent par des variations des coefficients de régression des caractères morphologi-

ques (*tableau 5*). Dans le centre et la première année, à l'exception de la longueur du grain (GR), toutes les autres variables ont subi des réductions sensibles (*tableau 1*) entraînant une baisse du PMG. Une amélioration de la pluviosité durant la seconde année a eu pour consé-

Tableau 3. Statistiques Λ de Wilks et approximation par le χ^2 (Bartlett) et F (Fisher).

Table 3. Wilks's Λ statistics, and χ^2 (Bartlett) and Fisher's approximations.

Population	Facteur	Λ de Wilks	$\chi^2(9)$	F (9, 228)	Prob.
ZB	Site	0,2530	318,18	78,81	< 0,001
	Année	0,2057	366,12	97,85	< 0,001
	Inter S*A	0,3424	248,12	48,65	< 0,001
OZ	Site	0,2112	359,97	94,61	< 0,001
	Année	0,1509	437,79	142,54	< 0,001
	Inter S*A	0,2078	363,72	96,58	< 0,001
BD	Site	0,2911	285,69	61,69	< 0,001
	Année	0,1993	373,37	101,76	< 0,001
	Inter S*A	0,3068	273,52	57,29	< 0,001
HD	Site	0,2478	322,94	76,88	< 0,001
	Année	0,2449	325,66	78,09	< 0,001
	Inter S*A	0,3345	253,55	50,51	< 0,001
MB	Site	0,2270	343,22	86,24	< 0,001
	Année	0,2112	359,92	94,59	< 0,001
	Inter S*A	0,4030	210,41	37,53	< 0,001

Tableau 4. Populations, modèles et somme des carrés résiduels (SCR).

Table 4. Populations, models and sum of squared residuals (SSR).

SCR	Population				
	ZB	OZ	BD	HD	MB
Modèle 1 (ddl = 233)	7 042	10 120	8 897	11 991	9 910
Modèle 2 (ddl = 230)	4 953	7 020	6 152	9 296	7 322
Modèle 3 (ddl = 212)	4 533	6 383	5 172	8 295	5 709

quence une contribution positive des variables phénotypiques sur le PMG, à l'exception de la longueur de l'épi (EP) et de la longueur du bec de glume (BG). Dans le nord, la longueur du grain (GR) présente une interaction positive avec ce site et contribue de manière significative à l'augmentation du PMG durant les deux années, suite à une pluviosité favorable ;

– pour la population OZ ($R^2 = 0,776$), l'effet principal de l'environnement et de ses interactions avec les variables phénotypiques sur le PMG, est nettement ressorti (tableau 4). Dans le centre et la première année, l'augmentation de la longueur du grain (GR) contribue de manière significative à l'accroissement du PMG, alors que la longueur du premier article du rachis (LR) influe négativement sur le PMG. Dans le nord, seule la longueur (GR) s'est manifestée de manière positive sur le PMG durant la deuxième année (tableau 6), sans que l'on note de corrélation importante avec le PMG. Globalement, on remarque une sensibilité des variables phénotypiques (EP, LR) de cette population au volume des précipitations de l'année. Les sensibilités pour GL et HP semblent liées à la localisation géographique ;

– pour la population BD ($R^2 = 0,683$), le PMG subit manifestement les effets de l'environnement et des interactions environnement-variables (tableau 4). Dans le centre, la hauteur de la plante (HP) et la longueur de la glume (LR) expriment des contributions contrastées d'une année à l'autre. Les autres variables (GL, EP, GR, BG) ont des sensibilités stables avec le PMG. Dans le nord, la hauteur de la plante (HP), la longueur du grain (GR) et la longueur du bec de glume (BG) conservent une sensibilité positive d'une année à l'autre. Les variables GL, EP, et LR manifestent une variation contrastée de la sensibilité liée probablement à la pluviosité (tableau 7) ;

– pour la population HD ($R^2 = 0,599$), les conditions de l'environnement impriment de façon marquée leurs effets sur le PMG. Il en est de même pour les effets des interactions entre l'environnement et les variables phénotypiques (tableau 4). Dans le centre, la sensibilité paraît être liée au site avec un effet positif pour l'ensemble HP, GL, EP, et GR et un effet négatif pour LR et GR. Dans le nord, on observe une sensibilité contrastée pour GL, EP, et LR entre les deux années, contraste probablement inhérent à l'effet de la pluviométrie. Les variables HP, GR, et BG expriment une certaine stabilité de la sensibilité vis-à-vis de l'environnement dans lequel la population est développée (tableau 8) ;

– pour la population MB ($R^2 = 0,738$), le PMG subit de façon manifeste les effets de l'environnement et de ses interactions avec les variables phénotypiques (tableau 4). Dans le centre, on remarque que la hauteur de la plante (HP), la longueur de l'épi (EP), la longueur du grain (GR) et la longueur du bec de glume (BG) ont une sensibilité liée à l'année au regard des coefficients obtenus. Dans le nord, l'interaction avec l'année s'est manifestée de façon contrastée pour les variables EP et BG, compte tenu de leurs coefficients respectifs. Pour cette population, les variables GL et LR dont les coefficients changent de signe du centre au nord, expriment une sensibilité liée au site (tableau 9).

Discussion

Les facteurs environnementaux, qu'ils soient climatiques ou géographiques, influent de manière significative sur les potentialités des populations étudiées. Le site nord, favorable à la levée et la croissance, permet une meilleure expression

des potentialités. Le site centre, caractérisé par une sécheresse précoce due à la nature de ses sols, réduit les phases végétatives et limite la pleine expression des différences potentielles. Les effets climatiques se traduisent de façon manifeste et spécifique sur la productivité de chacune des populations. L'expression des potentialités morphologiques est manifestement liée aux conditions climatiques et géographiques du fait de la forte corrélation observée entre certains caractères morphologiques, d'une part, et entre ces derniers et le PMG, d'autre part. Le plus grand nombre de variables en interaction avec l'environnement sur le PMG est observé pour les populations HD et MB. L'objectif principal de ce travail était de décrire la variabilité du PMG dans les conditions environnementales et les expressions phénotypiques des populations considérées. Les résultats obtenus par les méthodes utilisées ont permis d'atteindre cet objectif et concordent parfaitement avec les conclusions de certains travaux (Dekhili *et al.*, 1998). Cependant, l'interaction géotype x environnement constatée serait mieux expliquée en prenant en considération les variables éco-physiologiques et environnementales (caractéristiques du sol, températures mensuelles, pluviométries mensuelles, etc.) et l'utilisation de modèles de décomposition mieux adaptés à l'identification des véritables sources d'influence sur la variabilité du rendement (Brancourt-Hulmel et Lecomte, 2003 ; Ebdon et Gauch, 2002).

Conclusion

Les facteurs environnementaux sont essentiellement les éléments les plus influents sur la productivité des populations analysées. Cependant, l'influence des caractères morphologiques est manifestement prouvée. Les variables exerçant cette influence varient d'une population à l'autre. Les différences d'expression constatées illustrent clairement les effets de la diversité géographique et climatique sur les potentialités génétiques de ces populations. Depuis leur création, ces variétés n'ont fait l'objet d'aucune initiative d'amélioration ou de sélection de quelque forme que ce soit. Ces résultats incitent au développement de travaux d'amélioration intrapopulations et interpopulations. Le croisement avec d'autres variétés sélectionnées pour l'adaptation aux exigences environnementales locales,

Tableau 5. Facteurs, caractères et coefficients de régression (population ZB).

Table 5. Factors, traits and regression coefficients (ZB population).

Site	Année	Caractères et coefficients						
		Cste	HP	GL	EP	GR	LR	BG
Centre	1	58,3*	-0,21	-0,48	-1,56	1,16	-0,31	-0,64
	2	35,1	0,11	1,01	-1,91	0,32	0,77	-1,60
Nord	1	10,2	0,02	-1,52	-0,59	7,05*	-0,71	1,22
	2	40,5	-0,03	-1,69	1,60	3,36	-0,17	-1,34

* : signification $p < 0,05$.**Tableau 6. Facteurs, caractères et coefficients de régression (population OZ).**

Table 6. Factors, traits and regression coefficients (OZ population).

Site	Année	Caractères et coefficients						
		Cste	HP	GL	EP	GR	LR	BG
Centre	1	24,9	0,10	-0,61	1,13	2,22*	-4,65*	-0,48
	2	42,5	0,06	-0,83	-0,29	2,33	0,01*	-0,39
Nord	1	-0,70	-0,02	2,03	0,83	3,34	-2,29	-2,01
	2	74,8	-0,06	0,01	-3,29*	1,21	1,71*	-0,73

* : signification ($p < 0,05$).**Tableau 7. Facteurs, caractères et coefficients de régression (population BD).**

Table 7. Factors, traits and regression coefficients (BD population).

Site	Année	Caractères et coefficients						
		Cste	HP	GL	EP	GR	LR	BG
Centre	1	0,40	0,22	-0,76	2,47	1,04	0,74	3,09
	2	16,1	-0,01	-0,61	2,14	3,16	-0,36	0,01
Nord	1	31,3	0,24	-2,48	0,11	1,02	2,33	2,78
	2	16,3	0,04	2,37	-0,65	3,22	-7,04*	0,05

* : signification ($p < 0,05$).**Table 8. Facteurs, caractères et coefficients de régression (population HD).**

Table 8. Factors, traits and regression coefficients (HD population).

Site	Année	Caractères et coefficients						
		Cste	HP	GL	EP	GR	LR	BG
Centre	1	-172,2*	0,23*	14,16*	0,09	2,27*	-0,18	-1,30
	2	38,8*	0,04	0,05*	1,47	0,85	-2,40	-5,24
Nord	1	-5,2*	0,05	1,82*	0,17	2,89	-1,17	-1,44
	2	62,6*	0,04	-0,45*	-0,83	0,58	0,49	-7,25

* : signification ($p < 0,05$).**Tableau 9. Facteurs, caractères et coefficients de régression (population MB).**

Table 9. Factors, traits and regression coefficients (MB population).

Site	Année	Caractères et coefficients						
		Cste	HP	GL	EP	GR	LR	BG
Centre	1	35,2	0,39*	-4,20*	3,76*	-0,64	-0,67	-4,74 *
	2	22,1	-0,04*	-1,11	-1,94*	5,43	-0,74	3,27*
Nord	1	-22,0	-0,02*	1,56 *	3,47	1,97	2,50	0,48
	2	21,0	-0,09*	3,19 *	-0,29	0,49	0,70	-1,98

* : signification ($p < 0,05$).

permettra d'obtenir de meilleurs rendements. Les études futures sur les composantes du rendement en grain (nombre d'épis/m², nombre de grains/épi, PMG, etc.) selon les facteurs environnementaux et les caractères morphophysologiques et physico-chimiques (protéines et autres), par utilisation des méthodes récentes de calibration, permettront vraisemblablement de mieux expliquer les mécanismes en action dans la constitution de ces composantes. Cela permettra d'apporter les réponses nécessaires à l'amélioration du rendement et des qualités nutritionnelles des blés cultivés et d'assurer la couverture des besoins du pays en céréales. ■

Références

- Benbelkacem A, Kellou K. Évaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) cultivées en Algérie. *Options méditerranéennes* 2001 ; 6 : 105-10.
- Brancourt-Hulmel M, Lecomte C. Effect of environmental variates on genotype x environment interaction of winter wheat : a comparison of biadditive factorial regression to AMMI. *Crop Sci* 2003 ; 45 : 608-17.
- Dekhili M, Kharfallah H, Aggoun A, Harkati B. Distinction et homogénéité de cinq populations algériennes de blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Cah Agric* 1998 ; 7 : 67-71.
- Dekhili M. *Caractérisation morphologique et potentialités génétiques des blés durs (Triticum durum Desf.) algériens*. Thèse de doctorat, université F. Abbas, Sétif, Algérie, 1999.
- Denis JB. Analyse de régression factorielle. *Biomater Praxim* 1980 ; 20 : 1-31.
- Denis JB. Two-way analysis using covariates. *Statistics* 1988 ; 19 : 123-32.
- Ebdon JS, Gauch Jr. HG. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turfgrass performance trials : I. Interpretation of genotype x interaction. *Crop Sci* 2002 ; 42 : 489-96.
- Genstat 5 Committee. *Genstat 5 Release 3 Reference Manual*. Oxford : Clarendon Press, 1993.
- Krzanowski WJ. *Principles of multivariate analysis*. Oxford : Oxford University Press, 1988.
- Laforge H. *Analyse multivariée pour les Sciences sociales et biologiques*. Paris : éditions Études vivantes, 1981.
- Laumont P, Erroux J. Inventaire des blés durs rencontrés et cultivés en Algérie. *Mémoire Soc Histoire Naturelle Afrique du Nord* 1961 ; 5 : 5-95.
- Mc Cullagh P, Nelder JA. *Generalized linear models*. New York : Chapman & Hall, 1990.
- Saporta G. *Probabilités, analyses des données et statistiques*. Paris : Technip, 1990.
- Van Eeuwijk FA. Multiplicative interaction in generalized linear model. *Biometrics* 1995 ; 51 : 1017-32.
- Van Eeuwijk FA, Malosetti M, Yin X, Struik PC, Stam P. *Modelling differential phenotypic expression*. "New directions for a diverse planet". Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, 26 Sept-1 Oct, Brisbane, Australia, 2004.
- Vargas M, Crossa J, van Eeuwijk F, Sayre KD, Reynolds MP. Interpreting treatment x environment interaction in agronomy trials. *Agron J* 2001 ; 93 : 949-60.
- Union internationale pour la protection des obtentions végétales (Upov). *Principes directeurs pour la conduite de l'examen des caractères distinctifs, de l'homogénéité et de la stabilité*. Blé (*Triticum aestivum* L.). TG/3/11. Genève : Upov, 1991.