

Caractérisation de quelques variétés Algériennes de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) par le biais des marqueurs phénotypiques

Abderrezak Kirouani^{1*}, Redha Ould Kiar², Leila Boukhalfoun¹, et Zine El Abidine Fellahi²

¹Département des sciences de la nature et vie, Faculté des sciences, Université Yahia Fares de Medea, Algérie.

²Département d'agronomie, Faculté des sciences de la nature et vie et des sciences de la terre et de l'univers, Université de Bordj Bou Arreridj, Algérie

* Auteur correspondant. E-mail: kirouani.abderrezzak@univ-medea.dz / abderezak_kirouani@hotmail.com

Original submitted in on 10th July 2019. Published online at www.m.elewa.org/journals/ on 31st October 2019
<https://dx.doi.org/10.4314/jab.v14i2i1.3>

RESUME

Objectifs : Caractériser la diversité génétique puis analyser le degré de ressemblance entre 14 variétés de blé dur sur la base des paramètres agro-morphologiques, biochimiques et physiologiques. Ces informations aideront à identifier les meilleurs cultivars qui pourraient être utilisés comme des géniteurs dans les futurs programmes d'amélioration.

Méthodologie et résultats : L'essai de plein champ a été mené au cours de la campagne agricole 2016/2017 à la station expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) à Oued Smar, Alger, Algérie. Il a été conduit en blocs complètement randomisés à 4 répétitions. L'analyse de la variance a montré une certaine divergence entre deux groupes de variétés. Les variétés locales composées de Bidi₁₇, Hedba₀₃ et MBB ont été groupées ensemble, elles sont hautes, tardives à l'épiaison et moins productives. Les variétés améliorées, dotées d'une hauteur moyenne, sont précoces à l'épiaison et plus performantes. Cette répartition a été confirmée par l'analyse de la classification hiérarchique ascendante (CHA). En fait, les sélections locales étaient plus similaires les unes aux autres et dissemblables au matériel CIMMYT-ICARDA.

Conclusion et application des résultats : L'ensemble des résultats obtenus ont montré clairement que les variétés analysées présentent une variation phénotypique pour l'ensemble des caractères étudiés, en particulier ceux liés à la phénologie, à l'architecture et aux composantes du rendement. L'analyse des coefficients de corrélations entre caractères indique que la sélection indirecte pour le rendement en grains via le nombre d'épis par m² pourrait s'avérer efficace. Sur la base du test de Duncan, deux variétés nommées Megress et Amar₀₆ se montrent les plus performantes pour le rendement grains. Ces deux variétés pourraient être utiles pour améliorer la production du blé dur algérien.

Mots clés: Blé dur, Caractérisation, Corrélation, Relation génétique, Performance

Characterization of some Algerian varieties of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) using phenotypic markers

ABSTRACT

Objectives: Characterize genetic diversity and analyze the relationship between 14 varieties based on agromorphological, biochemical and physiological parameters. This information will aid to identify the best cultivars that could be used as a genitors in future breeding programs.

Methodology and results: The field trial was conducted during the 2016/2017 crop season at the experimental station of the Technical Institute of Field Crops (ITGC) in Oued Smar, Algiers, Algeria. It was arranged in randomized complete block design with 4 replications. Variance analysis showed some divergence between two clusters of varieties. Local varieties Bidi₁₇, Hedba₀₃ and MBB were grouped together, they were tall, late at heading and less productive. The improved varieties had a medium height, a short cycle, and were more productive. This distribution was confirmed by the analysis of the agglomerative hierarchical clustering (AHC). In fact, the local selections were more similar to each other and dissimilar to the CIMMYT-ICARDA plant material.

Conclusion and application of the results: All the results obtained indicated that the varieties analyzed showed a phenotypic variation for all the characters studied, in particular those related to phenology, architecture and yield components. Correlation coefficient analysis indicates that indirect selection for grain yield via number of spikes per m² could be effective. On the basis of Duncan's test, two varieties named Megress and Amar06 proved to be the most performant in terms of grain yield. Both varieties could be useful to improve the production of Algerian durum wheat.

Key words: Durum wheat, Characterization, Correlation, Relationship, Performance

INTRODUCTION

Le blé dur (*Triticum turgidum* var. *durum*) est l'espèce la plus cultivée dans le bassin méditerranéen de l'Afrique du Nord (Bonjean *et al.*, 2016), il occupe dans le monde 5 % du total des terres réservées aux blés, avec une production de 38 million métrique de tons en 2014 (Ranieri, 2015). En Algérie, le blé dur occupe 45% de la sole réservée aux céréales, soit 1,6 Mha (ONFA, 2017), et qui offre une production de 2,5 millions de tonnes (CIG, 2016 in www.world-grain.com). Une moyenne de 2 MT de blé dur est importée chaque année (USDA, 2017). La productivité agricole est limitée principalement par la sécheresse dans les régions arides et semi-arides (Mir *et al.*, 2012), comme la zone méditerranéenne, est caractérisée par des précipitations irrégulières (Habash *et al.*, 2009), le déficit hydrique et les températures élevées de fin de cycle, deux majoritaires contraintes influençant la culture de blé dur en Algérie (Mekhlouf *et al.*, 2006). L'introduction des variétés à haut rendement a causé la disparition de nombreuses variétés Algériennes locales, caractérisées par

leurs adaptations au milieu (Bouzerzour *et al.*, 2003). Différents ensembles de données sont utilisés sur blé pour estimer la diversité génétique des plantes cultivées, notamment les marqueurs moléculaires de type SSR (Kirouani *et al.*, 2018), les marqueurs biochimiques (Hamrick and Godt, 1997), les caractères agro-morphologiques (Bar-Hen *et al.*, 1995). De nombreux chercheurs ont utilisé des traits agronomiques pour estimer la diversité génétique (Khodadadi *et al.*, 2011; Verma *et al.*, 2014). La caractérisation phénotypique des différentes ressources génétiques constituent une étape préliminaire et indispensable pour l'évaluation de l'état de la diversité génétique dans le temps. Elle est importante pour introduire les gènes recherchés à partir de matériel génétique diversifié dans le pool génétique existant (Thompson and Nelson, 1998). Une plus grande diversité génétique, associée à un potentiel de rendement élevé des géotypes et des composantes de rendement utiles, peuvent être utilisées dans le développement variétal. Les marqueurs morphologiques représentent des outils

efficaces pour l'étude de la diversité génétique du blé (Al Khanjari et al., 2008). Dans ce contexte, notre étude visait (i) à évaluer la variabilité de quatorze variétés de blé dur cultivées en Algérie et (ii) analyser la relation génétique entre eux, sur la base des caractères agro-morpho-physiologiques et biochimiques. Les conclusions tirées à travers

cette étude nous permettent de sélectionner des génotypes performants et d'identifier éventuellement des géniteurs ou groupes de géniteurs divergents qui, en croisements, pourraient engendrer des transgressions intéressantes.

MATERIELS ET METHODOLOGIE

Dans cette étude, le matériel végétal évalué est constitué de 14 variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L.var. *durum*) locales et améliorées. Le germoplasme est fourni par l'institut technique des grandes cultures

(ITGC) le seul obtenteur de semences céréalières en Algérie. Le nom, le pedigree et l'origine des variétés sont données dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques des variétés de blé dur étudiées.

Nom	Pedigree	Croisement
Bidi ₁₇	Sélection locale	INRA Algérie
Chen's	Ichwa'S'/Bit 'S'CD 26406	CIMMYT-ICARDA
Gta dur*	Crane/4/PolonicumPI ₁₈₅₃₀₉ //T.glutin en/2* Tc60/3/GII	CIMMYT-ICARDA
Hedba ₀₃	Sélection locale	INRA Algérie
MBB**	Sélection locale	INRA Algérie
Simeto	Capeiti8/Valvona	Italie
Mexicali ₇₅	GdoVz 469/3/Jo"S"/61.130.Lds/Stk"S"CM470	CIMMYT
Vitron	Turkey77/3/Jori/Anhinga//Flamingo	CIMMYT
Waha	Plc/Ruff//Gta's/3/Rolette CM 17904	CIMMYT
Cirta	KB214-0KB-20KB-OKB-OKB-1KB-0KB	ITGC, FDPS, Khroub, Algérie
Ofanto	Appulo/Adamello	Italy
Bousselam	Heider/Martes/Huevos de Oro. ICD-414	CIMMYT-ICARDA
Megress	Ofanto/Waha//MBB	ITGC, ARS, Setif, Algeria
Amar ₀₆	ID94.0920-C-OAP.7AP	CIMMYT-ICARDA

*Gaviota durum **Mohammed Ben Bachir

Caractérisation phénotypique : L'essai a été conduit durant la campagne agricole 2016-2017 au niveau de la station expérimentale de l'institut technique des grandes cultures (ITGC) de Oued Smar (Alger, Algérie) (latitude : 36° 43 Nord, longitude : 30° 08, altitude : 24m). Le site expérimental se caractérise par un étage climatique sub-humide à hiver doux, un sol de texture argilo-limoneuse, un pH neutre, un taux de calcaire nul et une faible teneur en matière organique (ITGC, 2017). Un cumul pluviométrique annuel de 600 mm a été enregistré, une grande quantité de l'ordre de 450mm (75%) a été tombées entre Novembre et Janvier ce qui a permis un bon démarrage de la végétation. Cependant, une fraction faible de l'ordre de 112mm (18%) a été chutée durant les autres stades végétatifs y compris le stade critique du blé dur. L'essai a été conduit selon un dispositif expérimental en bloc

aléatoire complet « BAC » à 4 répétitions. Chaque variété est semée en six lignes de 5 m de long espacées de 20 cm soit une unité parcellaire de 6 m². Plusieurs paramètres agro-morphologiques, physiologiques et biochimiques ont été effectués qui portent sur : la durée de la phase végétative (DPV, jours), exprimée en nombre de jours de la levée jusqu'à l'apparition des premiers épis, la hauteur finale de la végétation (HFV, cm), le col de l'épi (CE, cm), la longueur de l'extrusion de l'épi (EXS, cm) (Partie apparente du col de l'épi), le nombre de talles par mètre carré (NTM²), la surface de la feuille étendard (SF, cm²), la longueur des barbes (LB, cm), la longueur de l'épi (LE, cm), barbes non incluses, le rendement en grains (RDT, q/ha) et les composantes du rendement dont le nombre d'épi par mètre carré (NEM²), le nombre de grains par épi (NGE) et le poids de mille grains

(PMG, g). La teneur relative en eau (TRE, %) est déterminée par la méthode de Barrs(1968), le dosage des pigments chlorophylliens Chl_a , Chl_b , Chl_{ab} est établi selon la procédure de Rao et le blanc, (1965) et le dosage des sucres solubles (SS, $\mu g/100g$ de matière fraîche) performé par la méthode de Dubois *et al.*, (1956).

Etude statistique : Les données collectées ont été, dans une première phase, soumises à une analyse statistique descriptive. Les moyennes, les écarts-types,

RESULTATS ET DISCUSSION

Caractérisation génétique basée sur les caractères phénotypiques : Dans le présent travail, quatorze variétés de blé dur ont été évaluées. Des écarts importants sont observés entre minima et maxima pour la quasi-totalité des caractères étudiés, notamment le nombre de talles par m^2 , la hauteur de végétation, le rendement et ses composantes à l'exception du poids de mille grains (Tableau 3). D'après le test de Duncan, l'analyse de la variance des valeurs prises pour toutes les variables a montré un effet moyen génotype significatif sauf pour la longueur des épis où l'effet variété était non significatif (Tableau 4). Pour la durée de la phase végétative et par groupes homogènes, les quatorze variétés se répartissent comme suit : Vitron, Amar₀₆, Waha et Mexicali₇₅ sont précoces dont la DPV est de 93j. Hedba₀₃, MBB et Bidi₁₇ sont tardifs avec valeur moyenne de 115j. Les autres variétés GTA dur, Boussellam, Ofanto, Simeto, Cirta, Chen's et Megress font partie d'un groupe semi-précoce dont la DPV varie de 95 à 102j. En se référant à la comparaison des moyennes, la hauteur de végétation classe l'ensemble des variétés en trois groupes. Courte ou semi-naine regroupant Chen's, Amar₀₆, Megress, Boussellam, Vitron, GTA dur, Ofanto, Simeto et Cirta suivi par Waha. Haute renfermant Hedba₀₃ et Bidi₁₇ suivi par MBB. Le nombre de talles par m^2 était plus important chez les génotypes Hedba₀₃ avec 328 talles accompagné par MBB et Ofanto avec des valeurs correspondantes 273 et 243.5 talles. Moins important chez Vitron, Chen's, Mexicali₇₅ et Cirta. L'analyse de l'effet variété montre que Megress, Amar₀₆ suivi par Simeto, GTA dur affichent les meilleurs rendements en grains avec des moyennes respectives de 22.58, 21.75, 19.85 et 19.58 q/ha. Les variétés, qui sont significativement les moins productives, sont Hedba₀₃ et Bidi₁₇ suivi par MBB avec des moyennes de

les coefficients de variation et les analyses de la variance ont été déterminés pour l'ensemble des traits quantitatifs en utilisant le logiciel SAS (Statistical Analysis System). La comparaison des moyennes a été effectuée par le test de Duncan. Une analyse en composantes principales (ACP), une représentation graphique d'une classification hiérarchique ascendante (AHC) ont été établies par le logiciel XLSTAT version 2014.5.04

rendement de 7.16, 8.0 et 9.9 q/ha, respectivement. Boussellam et Waha, qui sont des témoins standards, occupent une position intermédiaire, avec des moyennes respectives de rendement de 14.7 et 16.4, q/ha (Tableau 3). Les variétés Megress (171 épis), Ofanto (158.75 épis) et GTA dur (149.75 épis) se trouvent en tête de classement pour le NEM², tandis que les valeurs moyennes les plus faibles sont révélées chez Hedba₀₃ (55 épis) suivi par Bidi₁₇ (74.5 épis). Pour le NGE, Amar₀₆, Waha, Simeto, Cirta et Chen's sont les meilleurs avec 64.5, 61.5, 60.75, 60.5 et 59.75 grains/épi, respectivement. Alors que Bidi₁₇, Hedba₀₃ et Ofanto se trouvent en aval de classement. Bidi₁₇ (56.41) et Simeto (56.01g) sont les deux génotypes les plus performants pour la variable PMG. , Ceux les moins performants sont Hedba₀₃ (48.81g) et MBB (50.15g) . Pour les deux paramètres simultanément, col et extrusion de l'épi, tous les génotypes ont réagi positivement avec des longueurs légèrement contrastées. En effet, Cirta (42.12 et 21.25 cm) et Hedba₀₃ (40 et 21.5 cm) étaient les plus performants contrairement à Vitron (31.25 et 11.75 cm) qui a affiché les valeurs les plus faibles. Ce dernier génotype a présenté un comportement contrasté pour la surface foliaire, avec celui de Bidi₁₇ qui a montré la surface foliaire la plus grande avec des moyennes de 19.92 et 37.89 cm^2 , respectivement. Certains cultivars ont présenté des valeurs moyennes élevées en sucres solubles comme Vitron, Amar₀₆ et Chen's, alors qu'un taux très faible est apparent chez les variétés Bidi₁₇, MBB, Hedba₀₃ et Cirta. Les groupes homogènes sont chevauchants pour la longueur des épis et des barbes ce qui indique peu de discrimination entre cultivars. Des comportements variétaux similaires à la longueur des épis sont remarqués pour la variable contenu en chlorophylle a, b et total.

Tableau 3 : Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères phénotypiques mesurés chez les variétés de blé dur.

Variable	chl _a	chl _b	chl _{ab}	TRE	SS	HFV	SF	CE	EXS	LE	LB	NTM ²	NEM ²	NGE	PMG	Rdt	DPV
Variétés	34.71	15.89	71.62	74.59	45.67	100.76	26.79	38	15.74	8.19	12.12	222.05	124.33	54.33	52.45	16.22	100.85
Err stan	0.13	0.27	0.34	0.25	1.54	2.5	0.73	0.55	0.39	0.1	6.05	4.27	0.96	0.33	0.64	1.11	0.86
Min	32.29	10.21	65.06	71.43	25.69	85	17.45	29	10	7	8.5	101	43	38	47.56	6.17	93
Max	36.53	18.94	75.45	77.92	68.61	155	41.21	49.5	26	10.5	16	344	198	68	57.48	26.5	115
CV(%)	2.83	12.89	3.65	2.51	25.25	18.62	20.45	10.94	18.97	9.56	20.39	25.73	13.34	4.73	29.58	8.3	6.02
SCE	1944	889.9	4011	4177	2558	5643	1500	2129	881.5	459	679.2	12435	6963	3043	2938	908.71	5648
Carré moyen	2.62	15.67	22.29	13.3	513.96	1324.82	94.23	38.48	30.13	0.69	6.02	6741.66	3986.98	190.79	22.59	92.11	296.52
Prob	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0007	<.0001	0.3360	0.0021	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

Tableau 4 : Valeurs moyennes des caractères phénotypiques du blé dur.

Var	Chl _a	Chl _b	Chl _{ab}	TRE	SS	HFV	SF	CE	EXE	LE	LB	NTM ²	NEM ²	NGE	PMG	Rdt	DPV
GTA dur	33.21 _d	10.72 ^e	66.01 ^e	73.75 ^c _d	41.97 ^e	94 ^{cd}	23.22 ^{ef} _g	37.25 ^a _b	15.95 ^b	8.37 ^a _b	11.37 ^b _{cd}	220 ^{cde}	149.7 ^{5bc}	55.25 ^d _{ef}	53.81 _{cd}	19.58 ^b	95 ^d
Bousselam	34.99 _{abc}	16.99 ^a _b	72.75 ^{ab} _{cd}	73.25 ^c _{de}	52.98 ^b _c	94.5 ^{cd}	27.86 ^{ec} _d	35.37 ^b _c	14.67 ^b _{cd}	8 ^{ab}	12.37 ^b _c	216.5 ^{cde} _{5gf}	112.2 _{5gf}	50 ^{hg}	53.54 _{cd}	14.77 ^f	102 ^c
Ofanto	33.03 _d	14.51 ^d	67.82 ^e	76.89 ^a _b	43.91 ^d _e	91.25 ^c _d	30.17 ^{bc}	36.75 ^a _b	16.37 ^b	8.75 ^a	12.87 ^a _{bc}	243.5 ^{bc}	158.7 ^{5ab}	47 ^{ih}	54.66 _{cb}	17.36 ^c _{de}	102 ^c
Simeto	34.67 _{bc}	14.75 ^d	70.91 ^{cd}	74.29 ^c	51.56 ^c	90.25 ^c _d	25.60 ^{cd} _{ef}	36.92 ^a _b	16.12 ^b	8.12 ^a _b	11.37 ^b _{cd}	217.25 ^c _{de}	128 ^e	60.75 ^a _{bc}	56.01 _{ab}	19.85 ^b	95 ^d
Hedba ₀₃	35.49 _{ab}	17.55 ^a	73.95 ^{ab}	76.55 ^a _b	33.19 ^f	138.7 ^a	26.94 ^{ec} _d	40 ^{ab}	21.5 ^a	7.87 ^a _b	12.92 ^a _b	328.5 ^a	55 ⁱ	44.75 ^{ij}	48.81 _f	7.167 ^h	115 ^a
Cirta	35.05 _{abc}	15.01 ^c _d	71.74 ^{bc} _d	77.23 ^a	32.90 ^f	91.75 ^c _d	33.30 ^{ab}	42.12 ^a	21.25 ^a	9 ^a	10 ^d	192.75 ^{fe}	125 ^{ef}	60.50 ^a _{bc}	50.42 _e	16.33 ^d _{ef}	104 ^b
Mexicali ₇₅	34.54 _{bc}	14.39 ^d	70.46 ^d	73.72 ^c _d	49.48 ^c _d	92.5 ^{cd}	20.72 ^{fg}	41.8 ^a	15.07 ^b _{cd}	7.87 ^a _b	11.75 ^b _{cd}	191.25 ^{fe}	110 ^g	55.75 ^c _{de}	53.16 _{cd}	15.95 ^{ef}	93 ^e
Waha	35.1 ^a _{bc}	17.62 ^a	73.30 ^{ab} _c	72.36 ^{ef}	50.23 ^c	98.75 ^c	29.31 ^{bc} _d	39.87 ^a _b	16.12 ^b	7.25 ^b	13.12 ^a _b	226.75 ^c _{de}	133 ^{ed}	61.50 ^a _b	50.36 _e	16.41 ^d _{ef}	93 ^e
Bidi ₁₇	34.7 ^b _c	17.74 ^a	72.64 ^{ab} _{cd}	77.20 ^a _b	27.19 ^f	141 ^a	37.89 ^a	40.25 ^a _b	15.25 ^b _c	8 ^{ab}	14.87 ^a	214.75 ^c _{de}	74.5 ^h	41.50 ⁱ	56.41 _a	8.062 ^h	115 ^a

Chens	36 ^a	17.43 ^a	74.81 ^a	73.81 ^c d	57.84 ^a b	86.25 ^d	24.76 ^{de} fg	40.87 ^a	12.75 ^e d	8.25 ^a b	12 ^{bcd}	190.5 ^{fe}	141 ^{ecd}	59.75 ^a bcd	50.49 e	18.25 ^b cd	95 ^d
Amar₀₆	34.32 c	17.64 ^a	71.90 ^{bc} d	72.95 ^d ef	61.08 ^a	90.75 ^c d	25.61 ^{cd} ef	35.25 ^b c	13.3 ^{ced}	8.50 ^a b	10.62 ^c d	199 ^{de}	129.5 ^e	64.50 ^a	52.84 d	21.75 ^a	93 ^e
Megress	34.54 bc	14.96 ^c d	70.78 ^d	76.09 ^b	42.55 ^e	95 ^{cd}	22.57 ^{ef} g	39.22 ^a b	15.5 ^{bc}	8.25 ^a b	12.5 ^{bc}	235.25 ^c d	171 ^a	52.25 ^{ef} g	53.46 dc	22.58 ^a	102 ^c
MBB	34.79 bc	16.98 ^a b	72.37 ^{bc} d	74.07 ^c d	31.91 ^f	118 ^b	27.14 ^{ec} d	35.17 ^b c	14.75 ^b cd	8.25 ^a b	12.87 ^a bc	273 ^b	104.7 5 ^g	50.50 ^{fg} h	50.15 ef	9.96 ^g	115 ^a
Vitron	35.52 ab	16.12 ^b c	73.21 ^{ab} c	72.11 ^f	62.56 ^a	88 ^{cd}	19.92 ^g	31.25 ^c	11.75 ^e	8.25 ^a b	11.12 ^b cd	159.75 ^f	147.5 ^b cd	56.75 ^b cde	50.30 e	19.12 ^b c	93 ^e

DPV= Durée de la phase végétative, Rdt= Rendement en grains, NEM²= Nombre d'épis par m², NGE= Nombre de grains par épis, PMG = Poids de mille grains, HFV= Hauteur finale de la plante, LE = Longueur d'épi, LB = Longueur de la barbe, EXE = Extrusion, SF = Surface foliaire, NTM² = Nombre de talles par m², CE = Col de l'épi, Ch_a= Chlorophylle a, Ch_b= Chlorophylle b, Ch_{ab}= Chlorophylle total, TRE = Teneur relative en eau, SUC= Taux des sucres solubles. MBB = Mohamed Ben Bachir, GTA dur = Gaviota durum. Valeurs suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%.

L'analyse résultats a pu discriminer deux groupes, le premier s'agit des cultivars locaux à paille haute et tardifs. Ce groupe est composé de *bidi*₁₇, *Hedba*₀₃ et *MBB*. La hauteur de la végétation peut être un critère important pour la sélection surtout dans les zones semi-arides par la richesse disponible en glucide au niveau des talles, il permet de couvrir la demande en énergie des animaux d'élevage mais au détriment au rendement grains. Cette caractéristique est désirée durant les années sèches (Annicchiarico *et al.*, 2005 ; Bahlouli *et al.*, 2005). Une longue durée de la phase végétative permet d'éviter les gelées printanières tardives dans les zones froides comme les hauts plateaux en Algérie. Cependant les températures élevées et le déficit hydrique en fin de cycle peuvent induire un effet combiné de stress hydrique et thermique affectant le rendement et ses composantes à cause de la tardivité. Un nombre de talles élevé, à l'opposé aux valeurs moyennes de leurs composantes du rendement (NGE, NEM² et PMG) qui ainsi que des taux de sucres solubles étaient faibles. Le rapport nombre de talles sur le nombre d'épis est important de l'ordre de 5 chez *Hedba*₀₃ et plus de 2 chez *MBB* et *Bidi*₁₇ indiquant que les variétés hautes n'ont pas la capacité de fournir l'énergie et les assimilés nécessaires pour la formation des épis et l'élongation des talles au même temps. Aussi le déficit hydrique et le stress thermique en fin de cycle réduisent fortement, chez les variétés hautes, le nombre des épis, et influencent même leurs fertilités. ceci corroborent les résultats d'autres recherches (Abbassenne, 1997 ; Bouthiba, 2008). Le deuxième groupe renferme les variétés semi-naines et précoces voire semi-précoces. Ces variétés sont *GTA dur*, *Ofanto*, *Simeto*, *Chen's*, *Amar*₀₆, *Megress*, *Cirta*, *Mexicali*₇₅, *Vitron*, *Boussalem* et *Waha*. Au cours de la phase de remplissage du grain, la précocité représente un outil efficace qui aide le génotype à mieux se positionner devant tout un stress abiotique (Mekhlouf *et al.*, 2006). Sous des conditions de stress, les génotypes précoces évitent le déficit hydrique, les vents secs et les hautes températures de fin de cycle, tout en échappant du gel printanier tardif. De ce fait, la variété arrive à s'adapter et de tolérer les aléas climatiques (Dib *et al.*, 1992 ; Wardlaw et Moncur, 1995). Des rendements acceptables ont été notés. Ce paramètre est défini comme la résultante du produit de la biomasse aérienne (Bouzerzour *et al.*, 1998). *Megress* et *GTA dur* sont les plus performants pour le rendement en grains et le nombre d'épi par m², *Amar*₀₆ et *Simeto* sont les meilleurs pour le rendement grains et le nombre de grains par épi, ces résultats suggèrent

que les composantes du rendement comme le nombre d'épi par m² suivi par le nombre de grains par épi sont des caractères adaptatifs qui peuvent être utilisés en sélection pour choisir les meilleurs génotypes pour le rendement en grains. Le présent groupe révèle un poids de mille grains plus au moins élevé, ceci est contrôlé génétiquement et permet d'indiquer le niveau de remplissage des grains de blé (Rharrabti *et al.*, 2003). Les mécanismes d'adaptation et de tolérance aux contraintes abiotiques sont diverses. D'après Rawson *et al.* (1977), la réduction de la surface foliaire est une réponse de la plante à la sécheresse. Les céréales diminuent le nombre de talles, pour ajuster la consommation en eau aux disponibilités du milieu. Les sucres solubles (Morgan, 1984) contribuent à eux seuls pour près de 95% à l'ajustement osmotique chez le blé dur soumis à un régime hydrique limitant (Kameli, 1995). D'après Zerrad *et al.* (2008), l'augmentation des sucres solubles sous des conditions sévères montre un état de stress chez le blé. Ceci est considéré comme un moyen d'adaptation, afin de résister aux contraintes du milieu (Loreti *et al.*, 2001). Dans ce sens, *Vitron* et *Amar*₀₆ suivi par *Chen's* ont exprimé un taux élevé en sucres solubles (Tableau 4). Il est à noter qu'un nombre moins important de talles a été enregistré chez les variétés courtes. Contrairement aux variétés hautes où l'augmentation de la capacité de tallage peut être indésirable dans les climats secs, car elle pourrait entraîner un appauvrissement rapide de l'humidité du sol, qui pourrait être nécessaire plus tard dans la saison, aux stades critiques du développement de la culture (Hurd, 1971). *Megress* et *GTA dur* caractérisés par des rendements grains élevés sont dotés des feuilles dont la surface foliaire est réduite. Ce qui suggère que la réduction de la surface foliaire est un mécanisme intéressant qui permet de bien gérer les ressources en eau existantes dans le sol pour lutter contre le stress hydrique et par conséquent obtenir un rendement élevé. En termes de sélection, la recherche d'une teneur relative en eau élevée est désirable. D'après nos résultats, peu de discrimination entre nos variétés pour la teneur relative en eau et le contenu en chlorophylle sont observées, rendant ces deux variables secondaires pour la sélection variétale. Notons que des valeurs moyennes élevées pour la longueur des barbes, le col et l'extrusion de l'épi, pour l'ensemble de nos cultivars, constituent un bon indice d'une bonne année agricole. Le rôle joué par la barbe dans la tolérance à la sécheresse et le remplissage des grains a été rapporté par plusieurs auteurs (Bort *et al.*, 1994; Merah et Monneveux, 2014). Le col de l'épi a été

proposé comme un critère de sélection des génotypes tolérants au stress hydrique (Fischer et Maurer, 1978; Ehdaie et al., 2006).

Analyse des clusters : La classification hiérarchique a permis de structurer cette diversité morphologique en trois groupes (Figure 1) qui discriminent les cultivars selon la précocité à l'épiaison, l'architecture de la plante (la hauteur de la plante, le nombre de talle par m², la longueur de la feuille, la surface foliaire et le col de l'épi), les paramètres biochimiques (la teneur en sucres solubles) et les composantes du rendement (le nombre d'épis par m², le nombre de grains par épi et le rendement en grains). Le premier groupe englobe MBB, Hedba₀₃ et Bidi₁₇. C'est le groupe des variétés hautes, tardives à l'épiaison et moins performantes,

avec des valeurs du nombre d'épi et de grains par épi relativement faibles. Ces variétés semblent, par contre, bien adaptées au milieu en enregistrant les valeurs les plus élevées de l'extrusion et du col de l'épi. Le deuxième groupe est le plus large, il englobe les variétés précoces, à paille courte avec un rendement relativement élevé. Le dernier groupe est représenté par une seule variété, Vitron, qui présente une certaine dissimilarité par rapport aux autres cultivars. Elle possède le taux de sucres solubles le plus élevé, la surface foliaire la plus réduite et le nombre de talles par m² le moins important. Elle se montre tolérante et productive vu les valeurs plus au moins élevées du rendement et ses composantes qu'elle a exhibée.

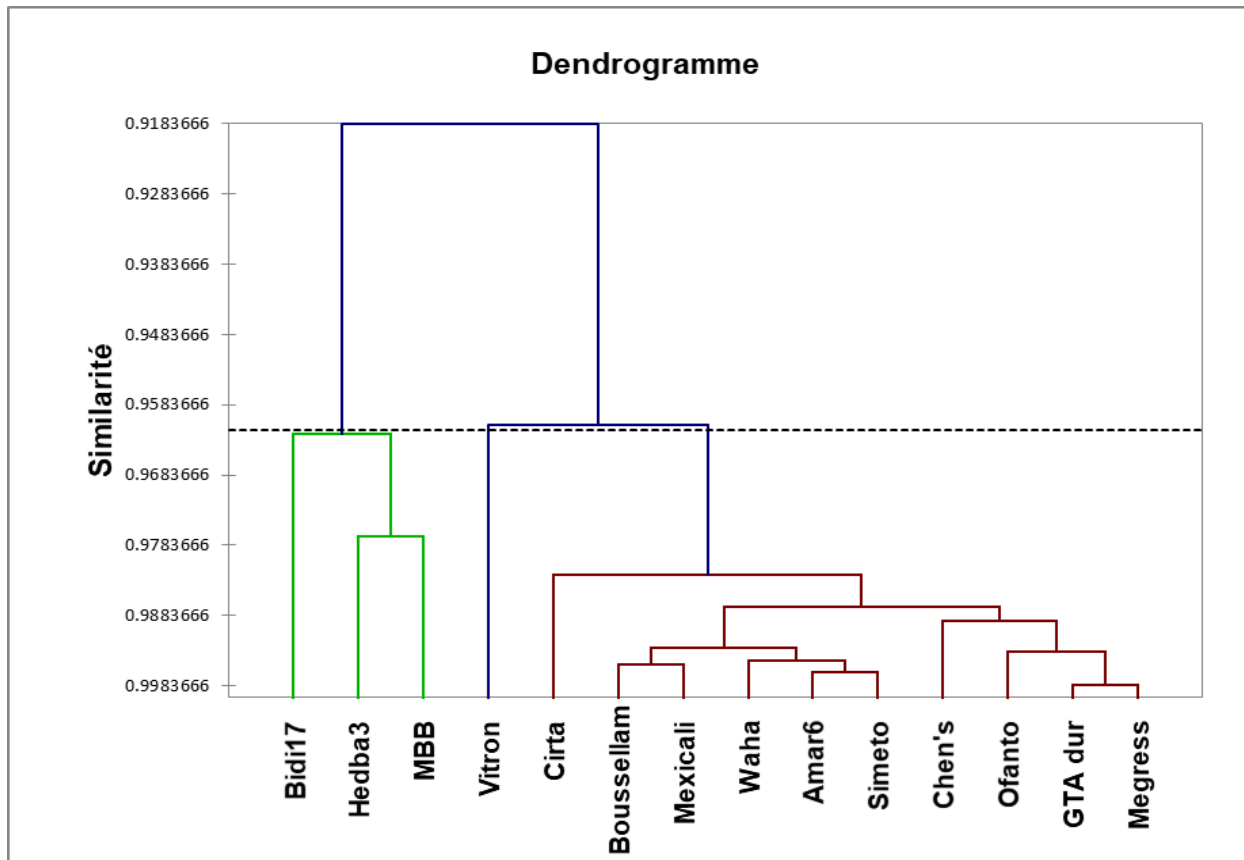


Figure 1 : Classification hiérarchique ascendante (CHA) des variétés de blé dur étudiées sur la base des variables mesurées.

Analyses en composantes principales : Une analyse en composantes principales est effectuée sur une matrice de données de cette collection de 14 variétés et ce, en fonction des variables étudiées (Figure 2). Les axes 1, 2 et 3 expliquent respectivement 38,41 %, 18,14 % et 11,94 % (Données non figurées), soit 68,49

% de la variabilité totale. D'après la figure 2, le premier axe porte la majorité de l'information qui est expliquée principalement par la hauteur de la végétation, le rendement, la longueur de l'épi et de la barbe, le nombre de grains par épi et le nombre d'épi par m², le taux des sucres solubles et à degré moindre, la teneur

relative en eau, la surface foliaire, le nombre de talles par m². Ces variables ont joué un rôle important dans la répartition d'un grand groupe de variétés, composé des sélections locales : Bidi₁₇, Hedba₀₃, MBB et d'autres améliorées : Amar₀₆, Simeto et Vitron. Tandis que le contenu en chlorophylle et le PMG concourent à la

formation du second axe. Ce qui permet la distinction d'un deuxième groupe formé de GTA dur, Ofanto, Chen's et Waha. Le reste des paramètres comme le col et l'extrusion de l'épi et la durée de la phase végétative sont répartis sur les autres axes 3 et 4 respectivement (données non mentionnées dans la figure 2).

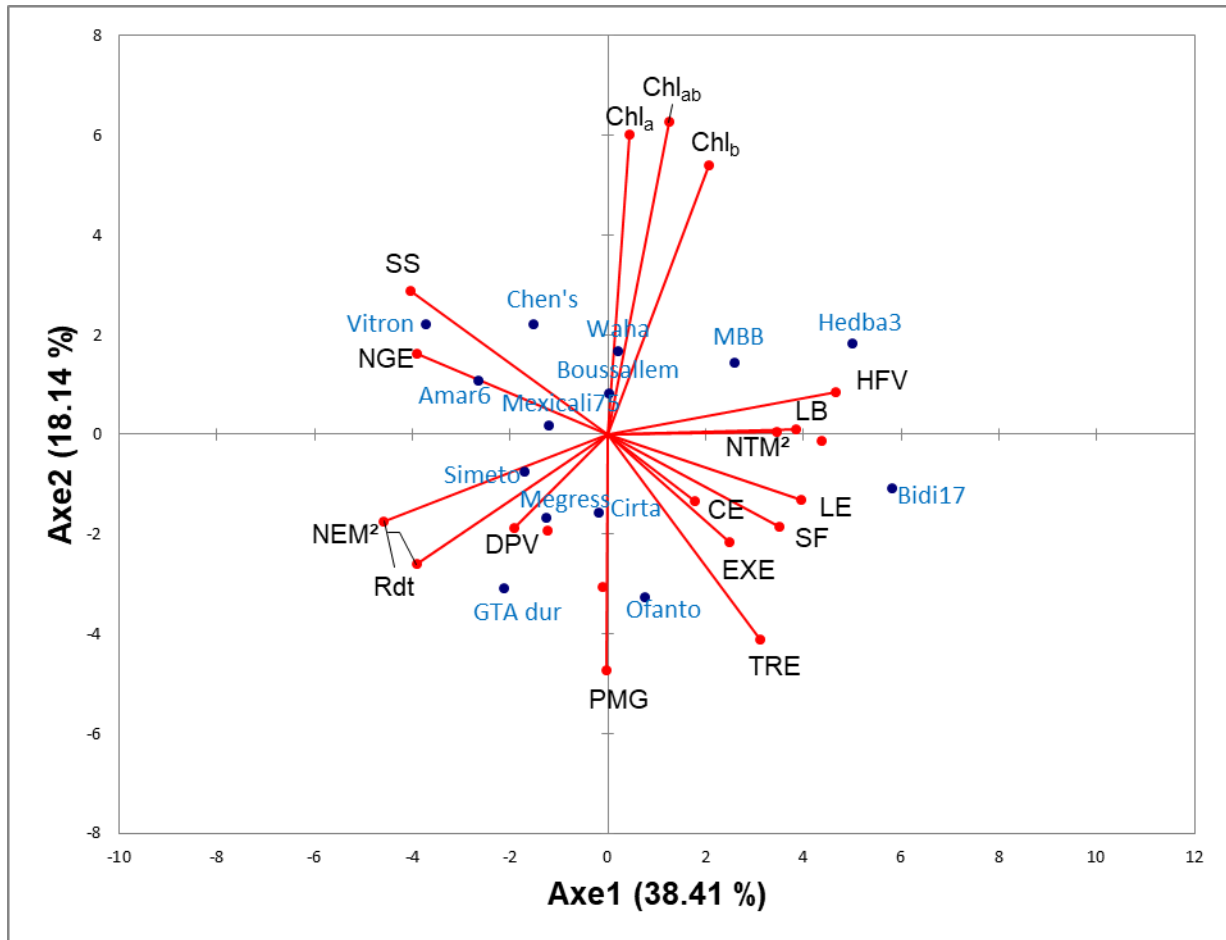


Figure 2 : Analyse en composantes principales

DPV= Durée de la phase végétative, Rdt= Rendement en grains, NEM²= Nombre d'épis par m², NGE= Nombre de grains par épis, PMG = Poids de mille grains, HFV= Hauteur finale de la plante, LE = Longueur d'épi, LB = Longueur de la barbe, EXE = Extrusion, SF = Surface foliaire, NTM² = Nombre de talles par m², CE = Col de l'épi, Chl_a= Chlorophylle a, Chl_b= Chlorophylle b, Chl_{ab}= Chlorophylle total, TRE = Teneur relative en eau, SUC= Taux des sucres solubles. MBB = Mohamed Ben Bachir, GTA dur = Gaviota durum.

Le regroupement des variétés semble être basé sur leurs pédigrées ou la similarité de la source de leurs matériaux de reproduction. En fait, les variétés les plus similaires étaient celles introduites par le programme de sélection CIMMYT-ICARDA, qui peuvent avoir des parents communs dans leurs pédigrées. Les sélections des races locales étaient plus semblables et différentes du matériel CIMMYT-ICARDA. Cette différence peut

être due à une adaptation agro-écologique spécifique de ce dernier groupe de variétés citées.

Analyse de la matrice de corrélation : L'étude des relations entre caractères est intéressante pour le sélectionneur qui cherche à identifier l'effet des caractères, facilement mesurables très tôt au cours du cycle de développement de la plante (DPV, HFV, NE, LE, TRE, TSS...), sur les caractères plus complexes (NGE, RDT, PMG..) qui sont mesurés à la récolte par

des méthodes destructives et relativement moins précises. De tels caractères peuvent servir d'aides à la sélection indirecte des caractères complexes. De ce fait et parmi les variables mesurées (DPV, RDT, NE, NGE, PMG, NGM², HFV, LE, LB, CHL, TRE, et SUC) seules les liaisons de ces dernières avec la DPV, le RDT, le NE et la HFV seront discutées dans ce qui suit. Les seules liaisons consistantes de la HFV avec les variables mesurées et qui méritent d'être rapportées sont celles positives et significatives avec la DPV et le NTM² et négatives avec le Rdt, NGE et TSS (Tableau 5). Ces résultats suggèrent qu'une hauteur de paille élevée sera accompagnée toujours d'un NGE et un rendement en grains faibles, mais adéquate à la production d'un NTM² et LB important et une DPV longue. Le nombre d'épi, en dehors des liaisons avec la HFV, déjà discutée ci-dessus, elle présente des liaisons significatives avec le Rdt et la DPV avec des signes contraires (Tableau 5). Ces résultats indiquent qu'un nombre important d'épis est favorable à la réalisation d'un bon rendement en grains et qu'une DPV courte réduit le nombre d'épi par unité de surface. De ce fait la sélection doit prendre en compte ce caractère dans le sens d'augmenter le nombre d'épi. L'analyse des coefficients de corrélations entre les caractères mesurés indique que la DPV présente des liaisons variables. Ainsi, elle est positivement liée avec la TRE, la SF et le NTM², par contre elle est négativement associée avec la TSS, NEM², NGE et Rdt. Ces différentes liaisons sont significatives, indiquant qu'une longue durée de la phase végétative n'est pas favorable à la réalisation d'un rendement élevé ni aux nombres de grains par épi et par m² importants. Une longue durée de la phase végétative est favorable à la réalisation d'un bon tallage et une surface foliaire plus grande (Tableau 5). Ces résultats suggèrent que lorsque les conditions du milieu discriminent, nettement entre génotypes testés, pour la durée de la phase végétative, la sélection dans le sens de la précocité est à favoriser, parce qu'elle engendre un plus en termes

de rendement, mais elle est accompagnée par une réduction de la hauteur de la plante. Des résultats semblables, entre le nombre de jours à l'épiaison et le rendement et les composantes, sont rapportés par Moghaddam *et al.* (1997) et par Siahbidi *et al.* (2012). Les génotypes tardifs expriment une teneur relative en eau plus élevées que ceux qui sont précoces et l'inverse est vrai pour la teneur en sucres solubles. Les liaisons de ces dernières caractéristiques doivent être examinées par groupe de précocité à l'épiaison et à maturité. Le rendement, mis à part ses liaisons avec la HFV et la DPV déjà discutée précédemment, est dépendant du NEM², NGE et la TSS auquel il est lié significativement et positivement (Tableau 5). Chez les 14 variétés étudiées. Parmi ces caractéristiques (NE, NGE, NGM², PMG, HFV, CHL, LB, LE, TRE, SUC) seul le NE peut être utilisé à un stade précoce pour discriminer entre les génotypes évalués. De ce fait lorsque la variabilité existe pour cette variable, la sélection est recommandée pour le NE et à l'intérieur des variétés ayant des moyennes similaires pour le NE, on sélectionne pour les autres caractéristiques notamment le NGE, suivi de la HFV et des autres caractéristiques. Des résultats similaires de liaisons entre le rendement en grains et ses composants, ont été signalés dans des études précédentes (Sharma *et al.*, 1995 ; Rabti *et al.*, 2016). Globalement ces résultats corroborent ceux rapportés par Mansouri *et al.* (2018) qui notent que la DPV présente des liaisons significatives et négatives avec le NE et avec le RDT, et que le contenu en Chl ne présente pas de liaisons significatives avec les caractères morphologiques. Ces auteurs expliquent cette situation par le fait que les caractères physiologiques ont été peu ou pas du tout pris en compte dans le processus de sélection des variétés étudiées. Fellahi *et al.* (2017) notent que le rendement est plus lié au nombre d'épis, et reste indépendant du poids de 1000 grains qui ne montre pas de liaison significative avec le nombre d'épis.

Tableau 5 : Corrélations phénotypiques entre caractères mesurés chez les variétés de blé dur.

Coefficients de corrélation de Pearson, N = 56																
Prob > r under H0: Rho=0																
	chl _a	chl _b	chl _{ab}	TRE	TSS	HFV	SF	CE	EXS	LE	LB	NTM ²	NEM ²	NGE	PMG	Rdt
Chl _b	0,58															
Ch _{ab}	0,93	0,83														
TRE	-0,11	-0,07	-0,10													
TSS	0,16	0,05	0,13	-0,71												
HFV	0,09	0,33	0,21	0,42	-0,67											
SF	0,02	0,32	0,15	0,52	-0,48	0,39										
CE	0,00	0,02	0,01	0,32	-0,31	0,13	0,27									
EXS	-0,02	-0,08	-0,05	0,53	-0,55	0,32	0,29	0,46								
LE	-0,11	-0,06	-0,09	0,20	-0,06	-0,21	0,41	0,10	0,12							
LB	-0,05	0,20	0,05	0,18	-0,29	0,50	0,33	0,10	-0,11	0,39						
NTM ²	-0,06	0,13	0,01	0,37	-0,51	0,57	0,12	0,06	0,41	-0,01	0,32					
NEM ²	-0,28	-0,44	-0,38	-0,23	0,46	-0,73	-0,40	-0,21	-0,36	-0,20	-0,30	-0,34				
NGE	0,05	-0,08	0,00	-0,48	0,57	-0,66	-0,26	-0,02	-0,18	0,13	-0,47	-0,49	0,43			
PMG	-0,42	-0,33	-0,43	0,20	-0,04	-0,04	0,13	-0,07	-0,20	0,18	0,16	-0,14	0,17	-0,20		
Rdt	-0,19	-0,40	-0,31	-0,34	0,63	-0,79	-0,49	-0,19	-0,36	-0,15	-0,44	-0,42	0,89	0,62	0,21	
DPV	0,07	0,03	0,18	0,63	-0,81	0,80	0,50	0,11	0,42	0,03	0,41	0,61	-0,63	-0,73	-0,08	-0,80

Chl_a= Chlorophylle a, Chl_b= Chlorophylle b, Chl_{ab}= Chlorophylle a+b, TRE = Teneur relative en eau, TSS= Taux des sucres solubles, HFV= Hauteur finale de la végétation, SF= Surface foliaire, CE= Cole de l'épi, EXS= Extrusion de l'épi, LE = Longueur d'épi, LB = Longueur de la barbe, NTM²= Nombre de talle par m², NEM²= Nombre d'épi par m², NGE= Nombre de grains par épi, PMG = Poids de mille grains, Rdt= Rendement en grains, DPV = Durée de la phase végétative

CONCLUSION

Les résultats de cette étude indiquent un effet génotype significatif pour l'ensemble des caractères analysés. Les caractères les plus sensibles à la variation sont le rendement en grains et ses composantes, la hauteur de la plante, la durée de la phase végétative et à moindre degré, la teneur en sucres solubles. L'étude des relations entre caractères est intéressante afin d'identifier l'effet des caractères, facilement mesurables avant récolte (DPV, HFV, NE, LE, TRE, SUC...), qui peuvent servir d'aides à la sélection indirecte des caractères complexes tels que le NGE, RDT, PMG qui sont mesurés à la récolte. La sélection en faveur des caractères physiologiques et biochimiques apparaît secondaire pour un même rendement en grains. Par contre, la sélection dans le sens de la précocité est

favorable à l'expression du rendement en grains, mais elle est accompagnée par une réduction de la hauteur de la plante. De même le NE est un déterminant principal dont dépendant largement le RDT. La relation généalogique entre cultivars semble être basée sur la similarité de la source du matériel de reproduction. En fait, Les sélections des variétés locales étaient plus similaires les unes aux autres et dissemblables au matériel CIMMYT-ICARDA. Cette diversité pourrait être utile pour la sélection du blé dur algérien. Ces types d'études doivent être renforcés par des techniques de sélection moléculaire qui peuvent aider à pyramider des allèles désirables provenant des deux sources génétiques dans les futures variétés améliorées.

REMERCIEMENTS

Nous exprimons nos remerciements aux responsables de l'institut techniques des grandes cultures ITGC plus particulièrement la ferme de démonstration de Oued

Smar (Alger, Algérie) de nous avoir fourni tous les moyens nécessaires pour l'installation et le suivi de notre essai.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- Abbassenne F, Bouzerzour H, Hachemi L, 1997. Phénologie et production du blé dur en zone semi-aride d'altitude. Annales INA - El Harrach, 18(1 et 2), 24–36.
- Al Khanjari S, Filatenko AA, Hammer K, Buerkert A, 2008. Morphological spike diversity of Omani wheat. Genetic Resources and Crop Evolution, 55(8), 1185–1195.
- Annicchiarico P, Abdellaoui Z, Kelkoui M, Zerargui H, 2005. Grain yield, straw yield and economic value of tall and semi-dwarf durum wheat cultivars in Algeria. Journal of Agricultural Science, 143(1), 57–64.
- Bahlouli F, Bouzerzour H, Benmahammed A, Hassous K. 2005. Selection of high yielding of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under semi-arid conditions. Journal of Agronomy, 4(4), 360–365.
- Bar-Hen A, Charcosset A, Bourgoin M, Cuiard J, 1995. Relationships between genetic markers and morphological traits in a maize inbred lines collection, Euphytica, 84, 145 - 154.
- Bonjean AP, Angus WJ, Ginkel M, Van, 2016. The World Wheat Book: A History of Wheat Breeding; Paris: Lav, Vol 3.
- Bort J, Febrero A, Amaro T, Araus J, 1994. Role of awns in ear water-use efficiency and grain weight in barley. Agronomie, 2, 133–139.
- Bouthiba A, Debaeke P, Hamoudi SA, 2008. Varietal differences in the response of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) to irrigation strategies in a semi-arid region of Algeria. Irrigation Science, 26(3), 239–251.
- Bouzerzour H, Abbas K, Benmahammed A. 2003. Les céréales, les légumineuses alimentaires, les plantes fourragères et pastorales. Recueil Des Communications. Ateliers N°3 «Biodiversité Importante Pour L'agriculture» MATE-GEF/PNUD. Projet ALG/97/G31.
- Bouzerzour H, Djekoune A, Benmahammed A, Hassous L. 1998. 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 Agricultures, 7, 307–317.
- Dib TA, Monneveux P, Araus J, Dib TA, Monneveux P, Araus J, Dib, TA. 1992. Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur. II. Caractères physiologiques d'adaptation. Agronomie, 12, 381–393.
- Ehdaie B, Alloush GA, Madore MA, Waines JG, 2006. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: II. Postanthesis changes in internode water-soluble carbohydrates. Crop Science, 46, 2093–2103.

- Fellahi Z, Hannachi A, Ferras K, Oulmi A, Boutalbi W, Bouzerzour H, Benmahammed A, 2017. Analysis of the phenotypic variability of twenty F3 biparental populations of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) evaluated under semi-arid, Journal of Fundamental and Applied Sciences, 9(1), 102 - 118.
- Fischer R, Maurer, R, 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research, 29(5), 897-912.
- Habash DZ, Kehel Z, Nachit M. 2009. Genomic approaches for designing durum wheat ready for climate change with a focus on drought. Journal of Experimental Botany, 60(10), 2805-2815.
- Hamrick JL, Godt MJW, 1997. Allozyme diversity in cultivated crops, Crop Science, 37, 26 - 30.
- Hurd EA, 1971. Techniques for Measuring Plant Drought Stress. In: "Drought Injury and Resistance in Crop", (Eds.): Larson K. L. and Rachter J. D. CSSA Special Publication II, Crop Science Society of America, USA.
- ITGC, 2017. Institut technique des grandes culture, Algérie
- Kameli A, Lösel DM, Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress", Journal of Plant Physiology, 145, 363 - 366.
- Khodadadi M, Fotokian MH, Miransari M, 2011. Genetic diversity of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes based on cluster and principal component analyses for breeding strategies". Australian Journal of Crop Science, 5, 17 - 24.
- Kirouani A, Henkrar F, Udupa SM, Boukhalfoun L, Bouzerzour H, 2018. Genetic diversity in Algerian durum wheat varieties (*Triticum turgidum* L var. *durum*) using microsatellite markers, Bioscience journal, 34(6), 1575-1583.
- Loreti E, De Bellis L, Alpi A, Perata P, 2001. Why and how do plant cells sense sugars? Annals of Botany, 88(5), 803-812.
- Mansouri A, Oudjehih B, Benbelkacem A, Fellahi Z, Bouzerzour H, 2018. Variation and Relationships among Agronomic Traits in Durum Wheat [*Triticum turgidum* (L.) Thell. ssp. *turgidum* conv. *Durum* (Desf.) MacKey] under South Mediterranean Growth Conditions: Stepwise and Path Analyses, 2018, 1-11.
- Mekhlouf A, Bouzerzour H, Benmahammed A, Hadj Sahraoui A, Harkati N. 2006. Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. Sécheresse, 17(4), 507-513.
- Merah O, Monneveux P, 2014. Contribution of Different Organs to Grain Filling in Durum Wheat under Mediterranean Conditions I. Contribution of Post-Anthesis Photosynthesis and Remobilization. Journal of Agronomy and Crop Science.
- Mir RR, Zaman-Allah M, Sreenivasulu N, Trethowan R, Varshney RK. 2012. Integrated genomics, physiology and breeding approaches for improving drought tolerance in crops. Theoretical and Applied Genetics, 125(4), 625-645.
- Moghaddam M, Ehdai B, Waines JG, 1997. Genetic variation and interrelationships of agronomic characters in landraces of bread wheat from southeastern Iran, Euphytica, 95(3), 361 - 369.
- Morgan JM, 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants, Annual Review of Plant Physiology, 35, 299 - 319.
- ONFA. (2017). Pré-Bilan de la campagne céréalière 2016/2017. N°2.
- Ranieri R, 2015. Geography of the Durum Wheat Crop, pastaria international 6.
- Rawson HM, Bagga AK, Bremner PM, Aspects of adaptation by wheat barley to soil moisture deficits, Australian Journal of Plant Physiology, 4, 189 - 201.
- Rabti A, Fellahi Z, Hannachi A, Bouzerzour H, Benmahammed A, 2016. Variabilité phénotypique et sélection pour la performance et l'adaptation du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) aux conditions des zones semi-arides", Revue Agriculture, 11, 4 - 14.
- Rharrabti Y, Moral Garcia del LF, Villegasb D, Royo, C, 2003. Durum wheat quality in Mediterranean environments III. Stability and comparative methods in analysing G×E interaction. Field Crops Research, 80(2), 141-146.
- Siahbidi MMP, Aboughadareh AP, Tahmasebi GR, Seyedi A. Jasemi, M, 2012. Factor analysis of agro-morphological characters in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) lines. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 4, 1758 - 1762.
- Sharma SC, Rao SRG, 1989. Genetic variability, association among metric traits and path

- coefficient analysis in Triticale". *Annals of Agricultural Research*, 10(2), 145 - 152.
- Thompson JA, Nelson RL, 1998. Core set of primers to evaluate genetic diversity in soybean, *Crop Science*, 38, 1356 - 1362.
- USDA, 2017. Algeria Exporter Guide.
- Verma PN, Singh BN, Singh G, Singh MK, Setter TL, 2014. Genetic diversity analysis for yield and other agronomic traits in bread wheat under water logged sodic soil condition, *Journal of Wheat Research*, 6, 51 - 58.
- Wardlaw IF, Moncur L, 1995. The response of wheat to high temperature following anthesis. I. The rate and duration of kernel filling. *Australian Journal of Plant Physiology*, 22(3), 391–397.
- Zerrad W, Maataoui, BS, Hilali S, Al Antri S, Hmyene A, 2008. Etude comparative des mécanismes biochimiques de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur, *Lebanese Science Journal*, 9, 2 - 36.