

Evaluation de l'interaction génotype x environnement du rendement en grains chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.)

N. Meziani⁽¹⁾, A. Chebouti⁽²⁾, H. Bouzerzour⁽³⁾, M. Meziani⁽⁴⁾

¹ Faculté des Sciences, université M'Hamed Bougara, Boumerdès, Algérie

² Division de Recherche Ressources Phytogénétiques, INRAAlgérie, Alger, Algérie

³ Faculté des Sciences de la Nature et de la vie, université Ferhat Abbas, Sétif, Algérie

⁴ Institut Technique des Grandes Cultures, Alger, Algérie

*Auteur correspondant : mezianinassila@yahoo.fr

Reçu : 30 novembre 2022

Révisé : 28 février 2023

Accepté : 28 mars 2023

Résumé : Dans cette étude, la sélection pluriannuelle a été proposée afin de déterminer les génotypes stables dans diverses conditions de croissance en Algérie. L'objectif principal de cette étude est l'évaluation des génotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en vue de la sélection de génotypes stables et à haut potentiel de rendement. Ce travail a porté sur quinze génotypes d'orge durant deux années en se basant sur les caractères agronomiques. Le dispositif expérimental utilisé est un bloc complètement randomisé avec 03 répétitions. Pour la première année, l'analyse de la variance montre des différences significatives pour le nombre de grains par épi, le poids de 1000 grains et le rendement en grain. Pour la deuxième, les différences sont significatives pour l'ensemble des variables étudiées. L'effet de la saison était une source de variation beaucoup plus importante, ce qui affecte l'expression du rendement en grains. Les résultats obtenus indiquent que les caractères variétaux répondent différemment aux effets de l'environnement (année). Le groupage des génotypes sur la base des caractères mesurés a permis l'identification de trois groupes de génotypes aux comportements inter campagnes contrastés.

Mots clés : *Hordeum vulgare* L., rendement en grains, interaction génotype x année, sélection.

Summary : In this study multi-year selection was proposed to determine stable genotypes under diverse Algerian growing conditions. The main objective of this study is the evaluation of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes with a view to select stable genotypes with high yield potential. This work involved the evaluation of fifteen genotypes of barley during two years based on the agronomic characters. A randomized block design with 3 replications was used. For the first year, variance analysis shows significant differences for the number of grains per ear, weight of 1000 grains and grain yield. For the second, the differences are significant for all studied variables. Season

effect was a much greater source of variation, which affected the expression of grain yield. The results obtained indicate that varietal characters respond differently to the effects of the environment taken in the sense of year. Grouping of genotypes on the basis of the traits measured enabled the identification of three groups of genotypes with contrasting inter-cropping behavior.

Key words : *Hordeum vulgare* L., grain yield, genotype x year interaction, selection.

INTRODUCTION

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) a une longue histoire en tant que culture domestiquée, l'une des premières à être cultivée. La migration des Hommes avec leurs semences, a conduit une diversification et à une adaptation majeures à de nouvelles zones, et la culture d'orge est maintenant présente dans le monde entier (Bothmer *et al.*, 2003).

L'orge est connue pour sa rusticité et peut, en effet, survivre mieux que les autres céréales sous de basses températures, de faible pluviométrie et sur des sols pauvres (Hamadache, 2016). C'est une céréale à paille exploitée surtout pour son grain riche en amidon, de valeur énergétique élevée ; elle sert en premier lieu à l'alimentation animale (Jestin, 1993). En Algérie, la culture de l'orge s'inscrit dans le cadre des systèmes extensifs de céréaliculture - élevage ovin où elle joue un rôle important dans l'équilibre précaire de l'économie des petites exploitations des zones marginales (Bouzerzour et Monneveux, 1992).

La stabilité du rendement est un critère important pour le développement de cultivars destinés à des milieux à pluviométrie variable (Brancourt-Humel *et al.*, 1999). Afin de concilier la performance du rendement et la stabilité, il faut utiliser un matériel végétal adapté, en utilisant les caractères qui sont fortement corrélés avec ces deux caractéristiques (Richards *et al.*, 2002).

La sélection multi sites et pluriannuelle est plus efficace pour identifier les génotypes performants et stables et qui montrent une large adaptation à la variation environnementale (Kirigwi *et al.*, 2004). En effet, l'étude de l'interaction génotype x environnement offre l'opportunité de sélectionner des génotypes qui montrent une interaction positive dans certaines localités et sous certaines conditions environnementales spécifiques. Comme elle offre aussi l'opportunité de sélectionner des génotypes à large adaptation ayant un rendement en grains au-dessus de la moyenne (Ceccarelli *et al.*, 1998 ; Annichiarico *et al.*, 2005 ; Nouar *et al.*, 2012).

En vue de limiter les fluctuations du rendement liées à la variabilité environnementale, de nombreuses recherches ont été menées. Dans ce contexte, la recherche vise à sélectionner des lignées à haut potentiel de rendement et à production plus régulière, peu sensibles aux variations climatiques d'un lieu de production à l'autre et d'une année à l'autre (Kadi *et al.*, 2010).

Selon Sinebo *et al.* (2004), les producteurs préfèrent adopter des génotypes qui se distinguent par la régularité et à un haut potentiel de rendement. C'est dans cet objectif que ce travail a été mené, en évaluant quinze génotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.)

durant deux campagnes agricoles en se basant sur les caractères agronomiques en vue de la sélection de génotypes stables et à haut potentiel de rendement.

MATERIEL ET METHODES

Matériel végétal et site d'expérimentation

Quinze génotypes d'orge, issus du programme d'amélioration de la station expérimentale de l'ITGC de Sétif (Tableau I), ont été évalués durant deux années. Le cumul des pluies durant la période d'expérimentation a été de 569,6 mm pour la première année et de 221,6 mm pour la deuxième année.

Tableau I. Liste et origine des 15 génotypes d'orge

Génotypes	Rangs	Origine	Sélection
Acsad 176	6	ACSAD(Syrie)	ITGC Tiaret
Barberousse	6	INRA France	Introduction MADR
Bégonia	6	ITGC Espagne	Introduction MADR
El Bahia	6	ITGC (Algérie)	ITGC Sétif
Express	6	INRA France	Introduction MADR
Fouara	6	ITGC (Algérie)	ITGC Sétif
Jaidor	6	INRA France	Introduction MADR
Plaisant	6	INRA France	Introduction MADR
Rahma	2	ICARDA (Syrie)	ITGC Sétif
Rihane	6	ICARDA (Syrie)	ITGC Sidi Bel Abbes
Saida	6	Variété locale (Algérie)	ITGC Saida
Soufara	2	ICARDA (Syrie)	ITGC Sétif
Tichedrett	6	Variété locale (Algérie)	ITGC Sétif
Tina	6	Espagne	Introduction MADR
Tissa	2	ICARDA (Syrie)	ITGC Khroub

MADR : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural ; ACSAD : Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands ; ICARDA : International Center of Agricultural Research in Dry Areas.

Les essais ont été menés au niveau de la station expérimentale ITGC d'Oued Smar (Altitude=24 m, latitude = 36°71' Nord, longitude = 3°16' Est). La parcelle élémentaire est constituée de trois rangs de 2,5 m de long avec un écartement de 20 cm entre les rangs adjacents. Les grains ont été semés de manière superficielle (2-3 cm) à raison de 100 grains par rang. Le dispositif expérimental utilisé est un bloc complètement randomisé avec trois répétitions. Les caractères mesurés sont : la biomasse aérienne (BIO, g/m²), le nombre d'épis/m² (NE/m²), le rendement en grains (RDT, g/m²), le nombre de grains par épi (NGE), le poids de 1000 grains (PMG, g), le rendement en paille (PLL, g) et l'indice de récolte (IR, %).

Analyses statistiques

Les données recueillies ont fait l'objet d'une analyse de la variance par année et combinée pour les deux années. La comparaison des moyennes a été effectuée en comparaison avec la plus petite différence significative au seuil de 5%. Les liaisons entre les caractères mesurés, par année, ont été déterminées par les coefficients de corrélation de Pearson. Une typologie variétale a été réalisée par une analyse en composantes principales. L'analyse des données a été réalisée à l'aide des logiciels Genstat édition 12 et Statistica version 6.0.

RESULTATS ET DISCUSSION

L'analyse de la variance des caractères mesurés de chacune des deux campagnes et des deux campagnes combinées est indiquée dans le tableau II. L'effet génotype du nombre d'épis, du rendement en paille, de la biomasse et de l'indice de récolte n'est pas significatif pour la première année, au cours de laquelle seuls le nombre de grains par épi et le poids de 1000 grains et le rendement montrent un effet génotype significatif. L'analyse de la variance des données de la deuxième année indique un effet génotype significatif pour l'ensemble des variables mesurées. L'analyse combinée des deux années indique une interaction significative pour le nombre de grains par épis, le poids de 1000 grains et le rendement en grain.

Les valeurs moyennes des variables mesurées sont présentées dans le tableau III. Pour le nombre de grains/épis, les meilleures moyennes ont été enregistrées chez Plaisant pour la première année (61) et chez Tissa pour la deuxième année (51). Les plus faibles valeurs moyennes ont été enregistrées chez Soufara et Rahma pour les deux années. L'analyse combinée des deux campagnes a montré que Rahma et Soufara ont présenté les plus faibles valeurs de nombres de grains par épi sur les deux campagnes. Ces variétés sont

Tableau II. Moyennes des carrés des écarts de l'analyse de la variance par année et des deux années combinées des variables mesurées des 15 génotypes étudiés

Source	Ddl	NGE	NE	PMG	RDT	PLL	BIO	IR
1^{ère} Année								
Gén	14	384.6**	47674 ^{ns}	55.0**	36934*	81341 ^{ns}	129103 ^{ns}	0.01768 ^{ns}
Rép	2	25.1	36023	15.1	39926	156098	332389	0.01038
Erreur	28	41.1	29796	14.0	17884	87693	125365	0.00898
2^{ème} Année								
Gén	14	113.5**	11807**	16.0*	12403***	43192***	78032***	0.0130***
Rép	2	57.2	4220	0.3	5215	99151	139782	0.006
Erreur	28	16.1	1164	5.0	1867	5652	8659	0.003
Combinée								
An	1	302.4*	173449**	4.23 ^{ns}	287298***	3925378***	6225210***	0.0667μ**
Gén	14	343.6**	39713*	46.05**	30132**	88587 ^{ns}	145318*	0.0200***
G x A	14	154.6**	19768 ^{ns}	25.03*	19204*	35947 ^{ns}	865436 ^{ns}	0.0106 ^{ns}
Rép	2	43.8	27835	5.58	24722	67271	174161	0.0015
Erreur	60	29.0	15374	9.55	10239	51545	74977	0.0062

NGE : le nombre de grains par épi ; NE : le nombre d'épis/m² ; BIO : la biomasse aérienne ; PMG : le poids de 1000 grains ; RDT : le rendement en grains ; PLL : le rendement en paille ; IR : l'indice de récolte.

Tableau III. Valeurs moyennes des variables agronomiques des deux années d'expérimentation

	BIO		IR		NE/m ²		NGE		PMG		PLL		RDT	
Génotypes	An 1	An 2	An 1	An 2	An 1	An 2	An 1	An 2	An 1	An 2	An 1	An 2	An 1	An 2
Acsad 176	267	505de	0.25	0.39abc	398	206de	50abc	43cd	37.0bcde	34.0e	1233	252e	435ab	209cd
Barberousse	263	522de	0.32	0.33abcd	375	214cde	45cd	46abc	33.8de	36.5bcde	1233	323de	318bc	154ef
Bégonia	220	386e	0.18	0.33abcd	218	229cde	47bcd	43bcd	27.1f	36.1cde	667	259e	155bc	127ef
El Bahia	300	826ab	0.56	0.33abcd	432	336a	57ab	43bcd	36.5bcde	36.6bcde	1433	566ab	462ab	261b
Express	320	497de	0.37	0.27de	433	270bc	52abc	43bcd	35.4cde	39.9ab	1233	363de	616a	144f
Fouara	393	844ab	0.41	0.40ab	468	352a	60a	50ab	35.6cde	39.0abc	1133	513abc	427abc	246bc
Jaidor	226	409e	0.28	0.37abc	248	126f	51abc	44bcd	37.8bcde	36.9bcde	1033	258e	256bc	138ef
Plaisant	237	578cd	0.30	0.40ab	223	252bcd	61a	45bcd	39.3abcd	35.2de	1000	348de	261bc	224bc
Rahma	283	779b	0.38	0.20e	653	324ab	30ef	30e	40.4abc	34.1e	1400	613a	224bc	132f
Rihane	257	568cd	0.38	0.39abc	360	314ab	47bcd	38d	37.4bcde	34.7de	833	345de	322bc	224bf
Saïda	240	941a	0.30	0.40ab	255	304ab	42cd	43cd	44.8a	41.4a	1200	560ab	326bc	381a
Soufara	290	518de	0.25	0.29cde	358	270bc	29ef	30e	40.4abc	38.2abcd	1167	445bcd	203bc	143g
Tichedret	253	588cd	0.28	0.41a	258	300ab	57ab	48abc	32.5ef	38.2e	1033	447bcd	203bc	230bc
Tina	127	606cd	0.33	0.30bcd	153	221cde	37de	42cd	33.9de	33.8e	1200	420cd	224bc	173de
Tissa	233	691bc	0.17	0.24de	135	172ef	36f	52a	41.8ab	37.0bcde	1000	520abc	275bc	136ef
Moyenne	260	617	0.31	0.33	331	259	44	43	36.9	36.7	1119	415	313	195

BIO : la biomasse aérienne ; IR : l'indice de récolte ; NE : le nombre d'épis/m² ; NGE : le nombre de grains par épi ; PMG : le poids de 1000 grains ; PLL : le rendement en paille ; RDT : le rendement en grains.
An 1 : Première année ; An 2 : Deuxième année.

des orges à 2 rangs. Un comportement contraire a été observé chez Fouara, Plaisant, Tichedrett et Bahia qui ont présenté des valeurs moyennes du nombre de grains par épi élevées pour la première année contrairement à la deuxième année. Selon Benmahammed *et al.* (2008), l'effet de la saison était une source de variation beaucoup plus importante. Ceci indique que la variation entre les saisons affecte l'expression du rendement en grains beaucoup plus que la variation entre les génotypes.

Pour la première année, le génotype Rahma a enregistré le nombre d'épis/m² le plus élevé (653), alors que le nombre le plus faible a été observé par Tissa (135). Pour la deuxième année, Fouara a présenté le nombre d'épis/m² le plus élevé (352), tandis que Jaidor a le nombre d'épis/m² le plus faible (126). Les moyennes du nombre d'épis/m² pour les deux années sont assez proches (331 et 259,0 respectivement). Cependant, il y a une grande variabilité de réponses des génotypes au niveau de chaque année. Les conditions de croissance des deux années sont perçues différemment par les génotypes évalués. Ainsi la première année a été plus favorable que la deuxième année à l'expression du nombre d'épis de certaines variétés comme Rahma, Express, Barberousse et Acsad176. Par contre, certaines variétés comme Fouara, Bahia, Rihane, Tissa et Bégonia ont répondu favorablement aux

deux campagnes, et se présentent comme des génotypes stables pour la production d'épis/m², avec des potentiels génétiques différents. Le nombre d'épis par plant est la composante la plus importante pour déterminer le rendement en grains chez le blé de printemps (Hsu and Walson, 1971).

Le poids de 1000 grains le plus élevé a été enregistré par le génotype Saida (44,8 g) pour la première année, alors que le génotype Tichedrett présente la valeur la plus faible avec 32,5 g. Pour la deuxième année, le poids de 1000 grains, le plus élevé a été obtenu par le génotype Saida (41,4 g), tandis que le poids le plus faible est enregistré par les génotypes Tina et Acsad176 avec 33,8 g et 34,0 g, respectivement. Le génotype Saida a enregistré poids de 1000 grains le plus élevé pour les deux années. L'interaction génotype x année pour le poids de 1000 grains est significative. Les génotypes les plus interactifs avec l'environnement ont été Bégonia (27,1 g vs 36,1 g), Rahma (40,4 g vs 34,1 g), Tissa (41,9 g vs 37,0 g) et Tichedrett (32,6 g vs 38,2 g). Les moins interactifs sont Bahia (36,5 g vs 36,6 g), Barberousse (33,8 g vs 36,5 g) et Tina (34,0 vs 33,8 g). Rahal-Bouziane et Abdelguerfi (2012), en évaluant les orges traditionnelles, indiquent que le poids de 1000 grains a fluctué selon les années pour tous les cultivars étudiés, et les plus faibles valeurs ont été observées

durant l'année où le semis a été réalisé tardivement. Selon Sedira *et al.* (2019), l'effet année et l'interaction variété x année ne sont pas significatifs pour la majorité des caractères étudiés, ce qui suggère que l'expression du potentiel de ces caractères n'est pas très variable.

Pour le rendement en grains, le génotype Express a enregistré le rendement le plus élevé (616 g) pour la première année, alors que Bégonia a présenté le rendement le plus faible (155 g). Pour la deuxième année, le plus haut rendement en grains a été obtenu par le génotype Saida (381 g), alors que la plus faible valeur a été enregistrée par le génotype Bégonia (127 g). L'interaction génotype x année est seulement significative. Le rendement moyen en grains a été de 313,8 g pour la première année et 193,5 g pour la deuxième année. L'analyse combinée montre la prépondérance de l'effet

année sur l'expression du caractère mesuré, avec une première année de loin plus favorable que la seconde. Selon Benmahammed *et al.* (2008) la variation entre les saisons affecte l'expression du rendement en grains beaucoup plus que la variation entre les génotypes.

Des liaisons étroites ont été trouvées entre le rendement en grains et les composantes de rendement (Tableau IV). En effet, les génotypes qui ont produit plus de biomasse ont enregistré un rendement en grains le plus élevé pour les deux années d'expérimentation. Benmahammed (2005) indique que le rendement en grains est la résultante d'une bonne production de la biomasse et d'un nombre élevé d'épis/m². Selon Sharma (1993), la biomasse permet des améliorations positives dans le rendement en grains chez le blé. Des corrélations positives ont été détectées entre le nombre d'épis et la biomasse

Tableau IV. Matrice des coefficients de corrélation des variables mesurées (au-dessus de la diagonale **r** de la première année, au-dessous de la diagonale **r** de la deuxième année)

	NGE	NE	PMG	RDT	PLL	BIO	IR
NGE		-0.157	-0.405	0.381	-0.458	-0.061	0.441
NE	0.284		0.242	0.459	0.366	0.575*	0.251
PMG	0.133	0.176		-0.152	0.261	0.313	0.056
RDT	0.350	0.463	0.207		-0.163	0.574*	0.836**
PLL	0.730***	-0.110	0.320	0.230		0.478	-0.447
BIO	-0.102	0.599*	0.347	0.529*	0.936***		0.075
IR	0.271	-0.030	-0.022	0.579*	-0.521*	-0.211	

Seuil de signification : $r_{5\%} = 0.513$; $r_{1\%} = 0.592$; $r_{0,1\%} = 0.641$.

NGE : le nombre de grains par épi ; NE : le nombre d'épis/m² ; BIO : la biomasse aérienne ; PMG : le poids de 1000 grains ; RDT : le rendement en grains ; PLL : le rendement en paille ; IR : l'indice de récolte.

durant les deux années. Ces corrélations positives suggèrent que les traits mesurés varient de manière similaire. L'indice de récolte est lié positivement au rendement en grains. Ceci indique que les génotypes qui ont présenté un indice de récolte élevé ont enregistré des rendements en grains élevés. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Rekika (1997) et Meziani (2001), qui signalent une forte liaison entre le rendement en grains et l'indice de récolte.

L'analyse en composantes principales réalisée avec les données par campagne indique que les deux premiers axes

absorbent 66,67% de la variation totale pour la première année et 64,73% pour la deuxième année (Figures 1 et 2).

Pour la première année, la première composante principale explique à elle seule 44,62 %, alors que la deuxième composante principale absorbe 24.05% (Figure 1). La dispersion des individus dans le plan défini par les deux composantes principales a révélé une forte hétérogénéité entre les génotypes. Le premier axe a mis en évidence deux groupes de génotypes. Le premier groupe constitué des génotypes Acsad, El Bahia, Express et Fouara, s'est distingué du deuxième groupe formé

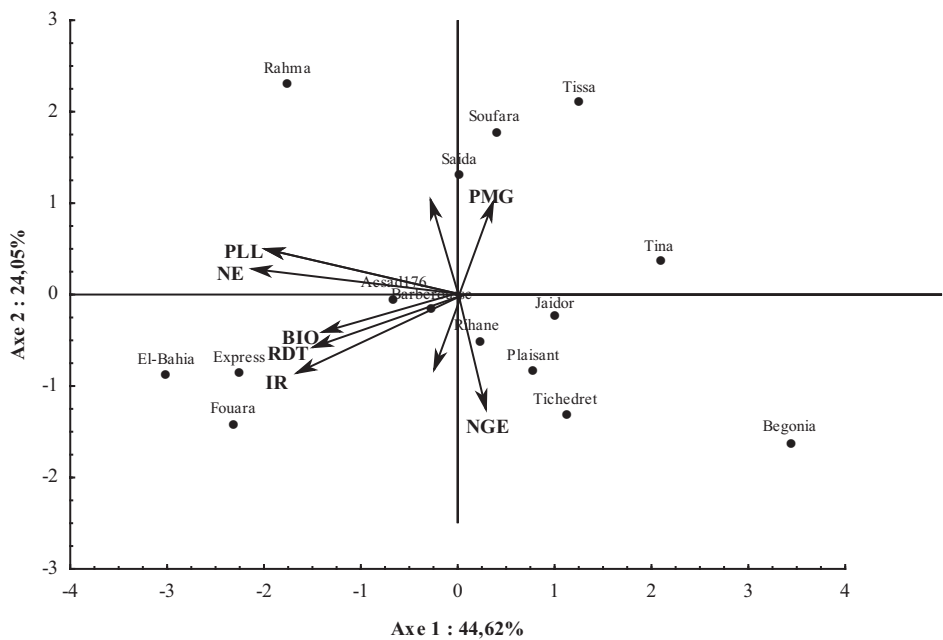


Figure 1. Analyse en composantes principales des 15 génotypes et des variables mesurées au cours de la première année.

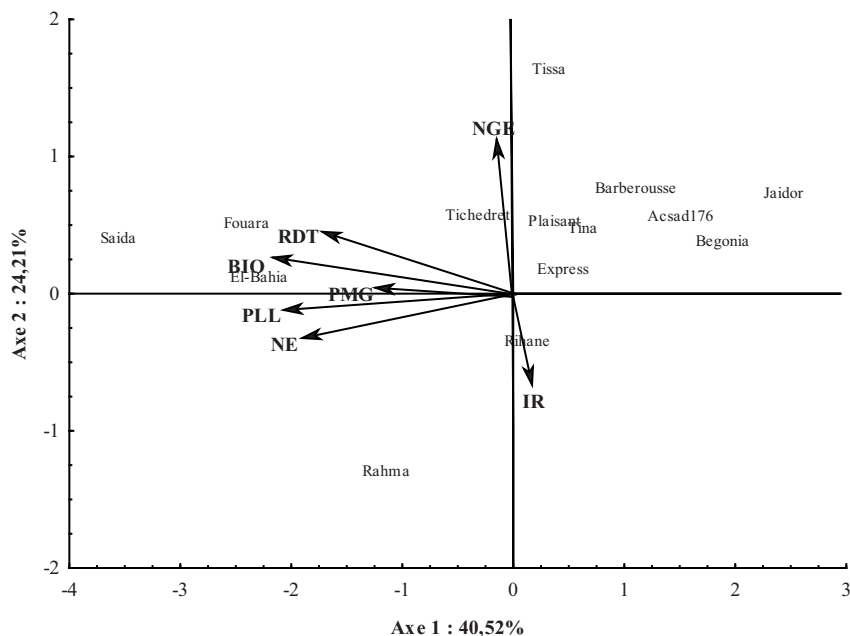


Figure 2. Analyse en composantes principales des 15 génotypes et des variables mesurées au cours de la deuxième année.

par Begonia, Jaidor et Tina, par une bonne production de biomasse et de paille, un bon rendement en grains et un nombre d'épis/m² et un indice de récolte élevés. Le deuxième axe met en évidence les génotypes Rahma, Saida, Soufara et Tissa. Ces génotypes ont un poids de 1000 grains élevé et un nombre de grains par épis faible.

Pour la deuxième année, l'axe 1 explique 40,52% de la variabilité totale, alors que l'axe 2 explique 24,21% (Figure 2). L'axe 1 oppose le groupe de génotypes El Bahia, Fouara et Saida, caractérisés par une bonne production de biomasse et de la paille, un bon rendement en grains et un nombre

d'épis et un poids de 1000 grains élevés, au groupe formé des génotypes Acsad, Barberousse, Begonia et Saida. L'axe 2 a mis en évidence seulement le génotype Tissa, qui s'est caractérisé par un nombre de grains par épis élevé et un indice de récolte faible.

CONCLUSION

Les résultats de l'analyse combinée des deux années ont montré la prépondérance de l'effet année sur l'expression des caractères mesurés, avec une première année plus pluviale que la seconde. Nous avons noté aussi que les caractères variétaux ont répondu différemment aux

effets de l'environnement (année). Les analyses de corrélation réalisée dans cette étude indiquent que le nombre de grains par épis est fortement dépendant de la biomasse aérienne.

Le groupage des génotypes sur la base des caractères mesurés a donné des résultats différents selon les années, ceci est dû à la sensibilité de ces caractères mesurés à la variation du déficit hydrique entre les deux années. Trois groupes de génotypes aux comportements inter campagnes contrastés ont été identifiés. Pour la première année, l'ACP suggère la sélection des génotypes Fouara, Express, Bahia et Acsad176, comme variétés performantes pour le rendement en grains, la biomasse aérienne, la paille produite, l'indice de récolte, le nombre d'épis/m². Alors que pour la deuxième année, elle suggère la sélection des génotypes Saïda, Fouara, Bahia comme variétés performantes pour le rendement en grains, la biomasse aérienne, la paille produite, le poids de 1000 grains et le nombre d'épis.

Références

- Annichiarico, P., Bellah, F. and Chiari, T. 2005.** Defining sub regions and estimating benefits for a specific adaptation strategy by breeding programs: A case study. *Crop Science*, 45: 1741-1749.
- Benmahammed, A., Djekoun, A., Bouzerzour, H. and Hassous, K. 2008.** Genotype x Year Interaction of Barley (*Hordeum* spp.) Grain Yield and Its Relationship with Plant Height, Earliness and Climatic Factors under Semi-arid Growth Conditions. *Agricultural Sciences*, 32 (2): 239-247.
- Benmahammed, A. 2005.** Hétérosis, transgression et efficacité de la sélection précoce retardée de la biomasse, du nombre d'épi et utilisation des indices chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.). Thèse de doctorat, Université de Constantine, Algérie. 125p.
- Bothmer, R. von., Sato, K., Komatsuda, T., Yasuda, S. and Fischbeck, G. 2003.** The domestication of cultivated barley. In: *Diversity in barley (Hordeum vulgare)*. Amsterdam, p. 9-27.
- Bouzerzour, H. et Monneveux, P. 1992.** Analyse de facteurs de stabilité du rendement de l'orge dans les conditions des hauts plateaux de l'est Algérien. Séminaire sur la tolérance à la sécheresse des céréales en zones méditerranéennes. *Les colloques*, 64: 139-148.
- Brancourt-Humel, M., Lecomte, C. and Meynard, J.M. 1999.** Diagnosis of yield-limiting factors on probe genotypes for characterizing

environments in winter wheat trials. Crop Science, 39: 1798-1808.

Ceccarelli, S., Grando, S. and Impiglia, N. 1998. Choice of selection strategy in breeding barley for stress environments. Euphytica, 103: 307-318.

Hamadache, A. 2016. Eléments de phytotechnie générale. Tome III : Les Ressources fourragères. 395p.

Hsu, P. and Walson, P.D. 1971. Relationships between yield and its components and structures above the flag leaf node in spring wheat. Crop Science, 11: 190-193.

Jestin, L. 1993. Quelques aspects de l'amélioration génétique de l'espèce « orge cultivée » (*Horeum vulgare* L.). In: Amélioration du blé tendre d'hiver, du blé dur et de l'orge à l'INRAA. Ed. INRAFrance, p. 160-172.

Kadi, Z., Adjel, F. and Bouzerzour, H. 2010. Analysis of the genotype x environment interaction of barley grain yield (*Hordeum vulgare* L.) under semi-arid conditions. Advance in Environmental Biology, 4: 34-40.

Kirigwi, F. M., Van Ginkel, M., Trethowan, R., Sears, R.G., Rajaram, S. and Paulsen, G.M. 2004. Evaluation of selection strategies for wheat

adaptation across water regimes. Euphytica, 135: 361-371.

Meziani, N. 2001. Etude de la tolérance à la sécheresse de quelques variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.). Essai de production de plants haploïdes. Thèse de magister, INA El Harrach, Algérie. 106p.

Nouar, H., Bouzerzour, H., Haddad, L., Menad, A., Hazmoune, T. and 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.

Rahal-Bouziiane, H. et Abdelguerfi, A. 2012. Evaluation agronomique et morphologique des orges traditionnelles (*Hordeum vulgare*) cultivées dans les oasis de la région d'Adrar (Algérie). Revue Recherche Agronomique (INRAA), 25: 89-105.

Rekika, D. 1997. Identification et analyse génétique des caractères physiologiques liés au rendement en conditions de sécheresse chez le blé dur. Intérêt potentiel des espèces sauvages apparentées pour l'amélioration de ces caractères. Thèse de doctorat, ENSA Montpellier, France. 158p.

Richards, R.A., Rebetzke, G.J., Condon, A.G. and van Herwaarden, A.F. 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Science*, 42: 111-121.

Sedira, H., Bousalhih, B. and Aissat, A. 2019. Behavior study of autochtone and introduced genotypes (*Hordeum vulgare* L.) under sub-humid conditions of north Algeria. Study of F1 and F2

generation obtained by diallel crossing. *Revue AgroBiologia*, 9 (1): 1397-1404

Sharma, R.C. 1993. Selection for biomass yield in wheat. *Euphytica*, 70: 35-42.

Sinebo, W., Gretzmacher, R. and Edelbauer, A. 2004. Genotypic variation for nitrogen use efficiency in Ethiopian barley. *Field Crops Research*, 85: 43-60.