

## SÉLECTION DE GENOTYPES D'ORGE (*HORDEUM VULGARE L.*) TOLÉRANTS AU STRESS HYDRIQUE PAR LES INDICES DE TOLERANCE A LA SÉCHERÈSSE

LADOUÏ Khawla Khadidja<sup>1\*</sup>, MEFTI Mohammed<sup>1</sup> et BENKHERBACHE Nadjet<sup>1</sup>

1. Ecole Nationale Supérieure Agronomique - ENSA – LRGB – Algérie

Reçu le 16/12/2019, Révisé le 08/06/2020, Accepté le 12/06/2020

### Résumé

**Description du sujet :** La culture des céréales est très ancienne en Algérie. De par son utilisation, en consommation humaine et comme complément fourrager l'orge est considérée comme la deuxième céréale après les blés. La plus grande partie des surfaces en céréales est située en zone semi-aride où la pluviométrie est faible et irrégulière et les sols peu fertiles et à faible réserve hydrique. La valorisation de ce terroir nécessite le développement de variétés tolérantes aux stress.

**Objectifs :** La sélection, sur la base des indices de tolérance, de génotypes d'orge adaptés aux conditions sèches

**Méthodes :** Les performances de rendement de 7 génotypes d'orge ont été déterminées, sous conditions irriguées et non irriguées. Les indices de tolérance, caractéristiques des variétés évaluées, ont été déterminés sur la base de ces performances.

**Résultats :** Les résultats indiquent un effet stress significatif et des différences de performances appréciables entre les variétés évaluées. De par leurs liaisons avec les performances de rendement en absence ( $Y_p$ ) et en présence du stress ( $Y_s$ ), les indices déterminés se subdivisent en deux groupes : ceux qui sont corrélés significativement à  $Y_p$  et  $Y_s$  (indices MP, YI, STI et GMP) et ceux qui sont liés uniquement à  $Y_s$  (indices SSI et TOL). L'analyse en composantes principales a permis d'interpréter les relations entre les génotypes et les indices de tolérance, de départager les indices en deux groupes : ceux qui identifient les génotypes performants sous stress et en absence de stress et ceux qui performant mieux sous stress et de classer les génotypes testés en trois groupes distincts.

**Conclusion :** L'influence du déficit hydrique sur le rendement en grains a été fortement remarquée particulièrement pour le génotype Barberousse. La sélection sur la base des indices permet de sélectionner aussi bien des génotypes à adaptation spécifique (tolérants à la sécheresse) que des génotypes à large adaptation, performants sous stress modéré et sous conditions irriguées.

**Mots clés :** Orge, Sélection, Stress hydrique, Indice de tolérance au stress

## SELECTION OF DROUGHT TOLERANT GENOTYPES OF BARLEY (*HORDEUM VULGARE L.*) THROUGH STRESS TOLERANCE INDICES

### Abstract

**Description of the subject:** Cereals cultivation is very ancient in Algeria. Due to its utilization as human food and animal fodder, barley is the second cereal crop after wheat. Most of cereal cultivation areas are located in semi-arid region, where rainfall is low and irregular, and soils had low fertility and low water holding capacity.

**Objective:** Selection based on stress indices of barley genotypes tolerant to drought conditions

**Methods.** Grain yield performances of 7 barley genotypes were determined under irrigated and non-irrigated conditions. Stress tolerance indices, characterizing the evaluated varieties, were deduced based on these performances.

**Results:** The results showed significant stress effect and appreciable differences among the performances of the tested varieties. Based on their relationships with yield under irrigation ( $Y_p$ ) et under stress conditions ( $Y_s$ ) the indices were subdivided into two groups; those significantly correlated to grain yield in both growth conditions (MP, YI, STI and GMP indices) and those correlated only with yield under stress (SSI and TOL). Principal components analysis allowed interpreting genotypes and stress indices relationships, subdividing indices into two groups; indices able to identify genotypes performing under both growth conditions and those able to identify genotypes performing under stress conditions only, and to classify the evaluated genotypes into three distinct groups.

**Conclusion:** The influence of water deficit on grain yield was strongly noticed, especially on Barberousse genotype. Selection based on stress indices allowed to identify genotypes with narrow adaptation (stress tolerant) and widely adapted genotypes to both growth conditions.

**Keywords:** Barley, Selection, Drought stress, Stress Tolerance Index.

\*Auteur correspondant: LADOUÏ Khawla Khadidja, E-mail:k.ladoui@edu.ensa.dz.

## INTRODUCTION

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) se classe, après les blés, le riz et le maïs, parmi les céréales les plus cultivées dans le monde. C'est une des cultures anciennes, qui joue un rôle important dans le développement de l'agriculture [1, 2]. En Algérie et au début du dix-neuvième siècle, l'orge se classait en tête par son utilisation, en consommation humaine (grain) et animale (grain et paille) [3, 4, 5]. Parmi les différents stress abiotiques, le stress hydrique est le facteur qui induit le plus d'effet négatif sur les productions agricoles. En effet la sécheresse est une contrainte majeure de la production céréalière dans beaucoup de régions ; sa fréquence et son intensité ont augmenté dans la plupart des régions arides et semi-arides selon les prévisions faites sous différents scénarios de changements climatiques futurs [6, 7, 8]. En Algérie, la plus grande partie des surfaces en céréales est située en zone semi-aride. La pluviométrie y est faible et irrégulière, fluctuant d'une année à une autre. A cela s'ajoute souvent des sols peu fertiles et à faible réserve hydrique [9, 10]. Par conséquent, le développement et l'obtention de variétés résistantes à la sécheresse, donnant une bonne production sous une large gamme de conditions environnementales constituent un objectif majeur de sélection [11, 12]. La recherche vise à sélectionner des génotypes 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 une autre [13]. A ce titre, plusieurs indices de tolérance des stress, dont le calcul est basé sur le rendement obtenu en présence et en absence de stress, sont proposés pour sélectionner de tels génotypes [11, 14]. Parmi les indices les plus utilisés, figurent l'indice de la sensibilité au stress (SSI) [15], l'indice de la tolérance (TOL) [16], l'indice de la productivité moyenne (MP) [17], l'indice de la stabilité du rendement (YSI) [18], l'indice de tolérance du stress (STI) [19], l'indice de la moyenne géométrique de la productivité (GMP) [19] et l'indice de rendement (YI) [20, 21]. En effet, ces indices permettent de classer les variétés évaluées selon leur degré de tolérance à la sécheresse, exprimé en termes de performance de rendement grain, sous stress (Ys) et en absence de stress (Yp) [22, 23]. Les indices MP, STI, GMP identifient des génotypes qui donnent des rendements appréciables (au-dessus de la moyenne) à la fois en absence et en présence de stress hydrique [23]. Alors que, les indices TOL, YSI et SSI discriminent nettement entre tolérance et sensibilité à la sécheresse et identifient les

génotypes qui performant relativement mieux sous stress indépendamment de leur performance en absence de stress [24, 25, 26]. C'est dans ce contexte que s'insère ce travail qui a pour objectif de comparer les capacités de différents indices de tolérance à identifier, parmi 7 génotypes d'orge, ceux qui sont performants, tolérants et stables.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1. Conduite de l'essai

L'étude a été réalisée au cours de la campagne agricole 2015/2016 à la station expérimentale de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA, latitude 36° 43' Nord, longitude 30° 8' Est, altitude 32 m d'altitude) dans une serre vitrée. Sept génotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) à six rangs, d'origines diverses, sont utilisés comme matériel végétal. Ces génotypes sont Saida et Tichedrett, obtenus par sélection généalogique à partir des variétés populations locales, Rihane et El Fouara sont des sélections nationales faites à l'intérieur du matériel végétal de l'INRA France, et Barley 1 et Barley 2 sont fournis par le Centre International d'Agriculture Biosaline (Emirats Arabe Unis). Ces génotypes sont évalués dans un dispositif en split-plot avec deux régimes hydriques et trois répétitions dont chacune comprend les sept variétés étudiées réparties d'une façon aléatoire en sept micro-parcelles (pots). Le semis a été effectué le 10 décembre 2015, dans des pots de 14 L contenant un substrat constitué par un mélange de terre, terreau et sable dans des proportions de 1/3 : 1/3 : 1/3. Une fine couche de gravier a été mise au fond de chaque pot pour faciliter le drainage des eaux d'irrigation. Le poids de chaque pot était de 10 kg. L'expérimentation a été conduite sans restriction hydrique en régime d'évapotranspiration maximale (ETM) jusqu'au début de l'application du stress hydrique.

### 2. Application du stress hydrique

L'application du stress hydrique a eu lieu le 4 Avril 2016, au stade épiaison. Deux traitements hydriques ont été appliqués.

#### 2.1. Traitement sans déficit hydrique

Les génotypes soumis au traitement sans déficit hydrique sont conduits en régime d'évapotranspiration maximale (ETM). La détermination des besoins en eau est effectuée à partir de la moyenne de l'évapotranspiration maximale des pots lysimétriques qui sont soumis aux mêmes conditions que les pots de l'essai, selon la méthode décrite par Mouhouche *et al.* [27], qui consiste à effectuer un bilan hydrique entre la quantité d'eau apportée et celle

drainée au niveau de chaque pot lysimétrique.  $ETM=A - D$ , où :  $ETM$  : Evapotranspiration maximale de chaque pot lysimétrique.  $A$  : Apport d'eau d'irrigation pour chaque pot (ml) et  $D$  : Drainage de chaque pot (ml)

## 2.2. Traitement avec déficit hydrique

Les génotypes soumis au traitement avec déficit hydrique sont stressés sévèrement du début d'application du stress hydrique jusqu'à la fin du cycle. Le stress appliqué correspond à un taux de tarissement de 80 % de la réserve utile (RU). Les plants sont donc irrigués, dès que le seuil de 80% du taux de tarissement est atteint. Afin de pouvoir calculer les doses irrigations, la capacité de rétention du mélange (sable-terre-tourbe) a été calculée suivant l'équation :  $C.R=[(PF-PS)/PS]\times 100$ , où :  $PF$ =Poids frais (poids après 24 h de drainage d'eau),  $PS$ = Poids sec (Poids après passage à l'étuve : à 60°C pendant 48h). Pour la détermination des taux de tarissement, le principe consiste à peser régulièrement les pots en stress pour déterminer le poids initial ( $P_i$ ) correspondant à la capacité de rétention jusqu'à l'obtention du poids final ( $P_f$ ) correspondant au taux de tarissement voulu (80%) de la réserve utile en eau du sol. Le poids final est déterminé selon la méthode des pesées suivantes :  $P_f=P_i - X RU$ , Où  $X$  : taux de tarissement (80%),  $P_f$  : poids final à un taux de tarissement de 80% de la réserve utile en eau du sol,  $P_i$  : poids du pot à la capacité de rétention,  $RU$  : réserve utile du sol, représente 50% de l'eau totale réservée (g d'eau/g du sol sec)

## 3. Indices de tolérance aux stress

Les sept indices étudiés ont été calculés par les formules mentionnées ci-dessous :  $SSI=1-(Y_s/Y_p)/SI$ , avec  $SI$  (*Stress Intensity*)= $[1-(\bar{Y}_p)/(\bar{Y}_s)]$  [15],  $TOL=Y_p - Y_s$  [16],  $MP=(Y_s+Y_p)/2$  [17],  $YSI=Y_s/Y_p$  [18],  $GMP=(Y_p\times Y_s)^{1/2}$  [19],  $STI=(Y_p\times Y_s)/(\bar{Y}_p)^2$  [19],  $YI=Y_s/\bar{Y}_s$  [20; 21], où :  $Y_p$  et  $Y_s$  sont respectivement les rendements en grains pour un génotype donné en absence et en présence du stress.  $\bar{Y}_p$  et  $\bar{Y}_s$  sont, respectivement, les moyennes des rendements de tous les génotypes testés sous régimes hydriques non stressé et stressé.

## 4. Analyse statistique

Une analyse de la variance a été réalisée pour tester les effets moyens stress hydrique, génotype et leur interaction. La comparaison des moyennes est faite relativement à la plus petite différence significative au seuil de 5%. Les corrélations entre les valeurs des différents indices et les moyennes de rendement en grains obtenus sous conditions normale et contraignante, des différents génotypes, ont été

déterminées et une analyse en composantes principales (ACP) effectuée. Toutes les données ont été traitées avec le logiciel Statistica version 10 (Statsoft, 2011).

## RÉSULTATS

### 1. Etude de l'effet du stress et de la réponse variétale au stress hydrique

Les moyennes de rendement obtenues en absence et en présence du stress hydrique sont, respectivement, de 793,68 et 414,63 g/pot.

En comparaison avec la plus petite différence significative dont la valeur est de 78,72g/pot, l'écart entre les deux traitements est significatif prenant la valeur de 379,04 g/pot.

Cet écart significatif indique que le stress hydrique réduit, en moyenne des 7 génotypes testés, le rendement en grains de 47,76%.

En moyenne des deux traitements hydriques, les performances de rendement des différents génotypes évalués varient de 12,19 g/pot, moyenne de Barberousse, à 1078,76 g/pot, moyenne de Rihane. En comparaison avec la Ppds 5% de l'effet moyen génotype, dont la valeur est de 208,29 g/pot, l'écart

de rendement entre les variétés extrêmes est significatif. Les 5 variétés restantes forment un groupe de productivité intermédiaire, dont les moyennes varient de 515,10 g/pot pour Saida à 795,71 g/pot pour Barley1. Les performances de Barberousse s'expliquent en partie par sa tardivité de 42 jours à l'épiaison, par rapport à Barley1 qui est le plus précoce. Par variété, la réduction du rendement induite par le stress hydrique varie de 18,62 g/pot soit 86,60% pour Barberousse à 890,33 g/pot, soit 58,42% pour Rihane.

Les valeurs caractéristiques des autres génotypes sont 420,74 g/pot et 58,00% pour Saida ; 481,93 g/pot et 46,49% pour Barley1 ; 326,12 g/pot et 42,57% pour Barley2 ; 308,72 g/pot et 36,78% pour Tichedrett et 206,85 g/pot et 32,18% pour El Fouara. Le classement des variétés évaluées de par leurs performances de rendement comparativement aux moyennes de l'effet du stress hydrique, suggère que Rihane, Barley1 et Tichedrett, sont tolérants et performants aussi bien sous stress qu'en absence de stress (Fig. 1). Barley2 et El Fouara sont tolérants et relativement plus performants sous stress qu'en absence de stress ; alors que Saida et Barberousse sont sensibles et moins performants sous les deux conditions (Fig. 1). Les valeurs moyennes des rendements obtenus en absence et sous stress hydrique et les valeurs des indices de tolérance des différents génotypes évalués sont données au tableau 1. La

variété Rihane se distingue par les valeurs les plus élevées des indices TOL (890,32), MP (1078,76), YI (1,53), STI (3,43) et GMP (971,44) ; alors que Barberousse se caractérise par les plus faibles valeurs de ces indices : TOL (18,61), MP (12,18), YI (0,007), STI (0,04) et GMP (3,32) (Tableau 1). La valeur la plus élevée de l'indice SSI (1,251) est mesurée chez Barberousse et la plus faible (0,679) chez El Fouara qui présente aussi la valeur la plus élevée de l'indice YSI (0,675) (Tableau 1). Les valeurs élevées des indices TOL, MP, YI, STI et GMP suggèrent que Rihane est tolérant au stress alors que les faibles valeurs de ces indices suggèrent que Barberousse est par contre sensible au stress. La sensibilité au stress affichée par Barberousse est aussi suggérée par l'indice SSI, qui prend une valeur plus que grande que l'unité. Les indices SSI et YSI suggèrent que Fouara est stress tolérante.

Cette tolérance est différente de celle exprimée par le génotype de Rihane. La différence est généralement expliquée par la liaison entre la tolérance des stress et la performance sous stress et en absence de stress.

## 2. Etude des corrélations entre les performances de rendement et les indices de tolérance

L'analyse des corrélations indique que les indices MP, YI, STI et GMP sont positivement et significativement corrélés entre eux et avec les rendements sous les deux régimes hydriques (Tableau 2). Ces résultats indiquent que les valeurs élevées de ces indices sont révélatrices des génotypes stress tolérants et performants aussi bien en présence qu'en absence de stress. L'indice TOL est positivement et significativement corrélé uniquement avec  $Y_p$ , ce qui suggère que les valeurs élevées de cet indice sont associées à la performance en absence de stress et ne sont pas indicatrices de la tolérance. On note l'absence de corrélation de l'indice SSI avec  $Y_p$  et  $Y_s$ , alors que l'indice YSI est corrélé positivement et significativement avec uniquement  $Y_s$ . Ces résultats suggèrent que les valeurs élevées de YSI sont indicatrices des génotypes tolérants des stress.

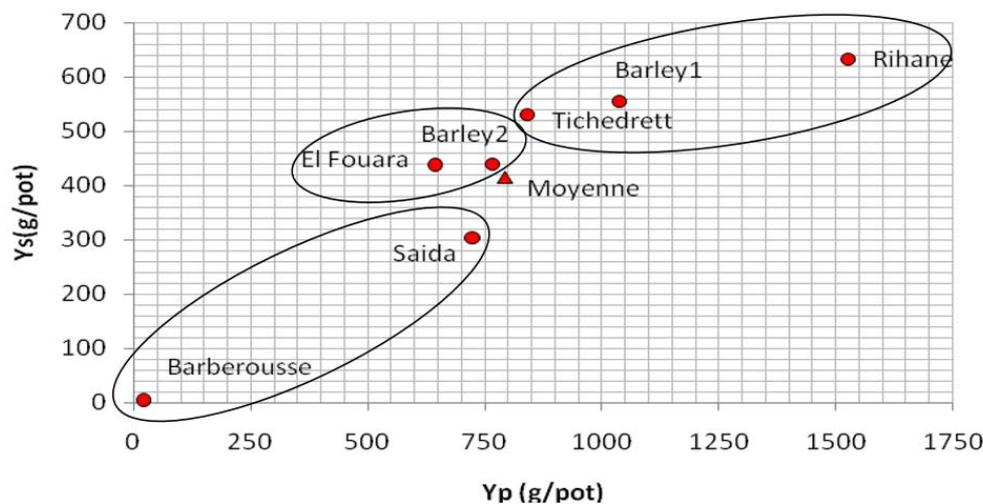


Figure 1. Classement des variétés évaluées de par leurs performances de rendement comparativement aux moyennes de l'effet du stress hydrique

Tableau 1 : Moyennes des rendements obtenus en absence ( $Y_p$ ) et en présence du stress ( $Y_s$ ) et valeurs des indices de tolérance des différentes variétés évaluées.

Génotypes	$Y_p$	$Y_s$	TOL	MP	YI	STI*	SSI	GMP	YSI
Rihane	1523,92	633,59	890,32	1078,76	1,528	3,43	1,202	971,44	0,425
Saida	725,46	304,73	420,73	515,10	0,734	1,64	1,158	464,38	0,446
Barberousse	21,49	2,88	18,61	12,18	0,007	0,04	1,251	6,32	0,069
Barley 1	1036,67	554,75	481,92	795,71	1,337	2,53	0,971	757,18	0,536
Barley 2	766,00	439,88	326,12	602,94	1,060	1,91	0,880	579,45	0,579
Tichedrett	839,35	530,63	308,72	684,99	1,279	2,17	0,729	662,83	0,651
El Fouara	642,82	435,98	206,84	539,40	1,051	1,71	0,679	529,09	0,675

$Y_i$  : rendement en absence de contrainte hydrique,  $Y_s$  : rendement sous contrainte hydrique, STI\* = valeurs multipliées par 1000

Tableau 2 : Coefficients de corrélations entre Yp, Ys et les indices de tolérance au stress

	Yp	Ys	TOL	MP	YI	STI	SSI	GMP	YSI
Yp	1,000	0,918**	0,952***	0,991***	0,918**	0,991***	-0,039ns	0,979***	0,484ns
Ys		1,000	0,753ns	0,961***	1,000***	0,965***	-0,420ns	0,979***	0,755*

ns, \*, \*\* et \*\*\* = coefficient non significatif, significatif au seuil de 5%, 1% et 0,1 %, respectivement,  $r_{5\%}=0,754$ ,  $r_{1\%}=0,875$  et  $r_{0.1\%}=0,910$  Pour  $n-2=5$  ddl.

### 3. Analyse en composantes principales

Les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales expliquent, respectivement, 78,97% et 20,20%, soit un total de 99,18%. L'interprétation peut donc être limitée à ces deux premières composantes à grand pouvoir discriminant (Figure.2).

L'axe 1 est une fonction représentative des rendements Yp ( $r=0,363$ ) et Ys (0,374) et des indices GMP (0,374), MP (0,371), YI (0,371) et STI (0,371) qui lui sont mieux corrélés ; alors que l'axe 2 est une fonction des indices SSI (0,705), YSI (-0,521) et TOL (0,392) avec qui ils sont mieux corrélés (Fig. 2). Ces résultats indiquent que l'axe 1 représente la performance associée à la tolérance des stress alors que l'axe 2 est une représentation de la tolérance

uniquement. L'étude des scores des différents génotypes indique que Rihane (score de 3,376 sur PC1 et 2,017 sur PC2), Barley1 (1,560 ; 0,100), Saida (-0,857 ; 0,700) et Barberousse (-5,200 ; 0,967) sont mieux représentés par l'axe 1. En fonction du signe de leurs scores, Rihane et à un degré moindre Barley1 se classent comme performants et stress tolérants ; alors que Saida et Barberousse sont sensibles au stress et peu performants (Fig. 2). Les génotypes Barley2 (score de 0,184 sur PC1 et -0,665 sur PC2), Tichedrett (0,998 ; -1,327) et El Fouara (-0,060 ; -1,327) sont mieux représentés par l'axe 2. De par le signe de leurs scores, on déduit que ces génotypes sont tolérants au stress hydrique.

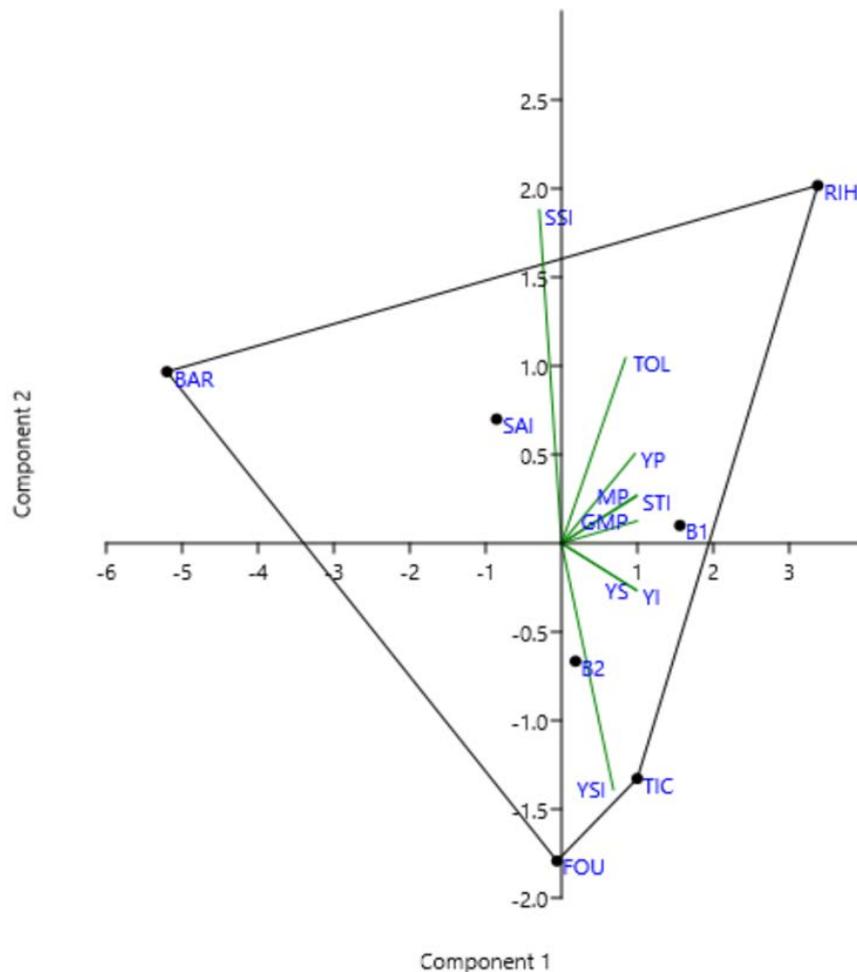


Figure 2. Représentation sur le plan formé par les deux premières composantes (PC1=78,96 et PC2=20,22% soit un total de 99,18%) des caractères et des variétés soumises à l'analyse.

## DISCUSSION

Les résultats de la présente étude indiquent que le stress hydrique imposé réduit significativement le rendement potentiel de 47,76%. Les variétés évaluées divergent amplement pour le potentiel de rendement qui varie de 12,19 g/pot à 1078,76 g/pot et diffèrent pour la réponse vis-à-vis du stress montrant des réductions allant de 32,18% chez le génotype le plus tolérant à 86,60% chez le génotype le plus sensible. Ceci corrobore les résultats de Patel *et al.* [26], qui rapportent des différences significatives entre Yp et Ys et entre les performances des 20 variétés évaluées qui présentent des réductions dues aux effets du stress hydrique allant de 12,58 à 76,18%. De par leurs performances sous stress et en absence de stress, les 7 variétés évaluées dans la présente étude se subdivisent en variétés tolérantes et performantes, donnant de bons rendements aussi bien sous stress qu'en absence de stress ; des variétés uniquement tolérantes qui performant relativement mieux sous contrainte hydrique et des variétés moins performantes sous les deux conditions environnementales. Ces résultats rejoignent ceux de Fernandez [19], qui mentionne que les génotypes, évalués sous stress et en absence de stress hydrique, se subdivisent en 4 groupes : performants sous les deux modalités

de la contrainte hydrique, performants sous stress hydrique uniquement, performants en absence de contrainte et non performants sous les deux types contraintes. Les résultats de l'analyse des corrélations indiquent que les indices MP, YI, STI et GMP sont positivement et significativement corrélés avec les rendements sous les deux régimes hydriques, suggérant que les valeurs élevées de ces indices sont révélatrices des génotypes tolérants et performants. L'indice TOL est positivement et significativement corrélé uniquement avec Yp, ce qui suggère que les valeurs élevées de cet indice sont associées à la performance en absence de stress et ne sont pas indicatrices de la tolérance. Ces résultats vont à l'encontre de ceux de Patel *et al.* [27], qui rapportent que les valeurs élevées de TOL sont indicatrices de sensibilité au stress et que ce sont plutôt les faibles valeurs de cet indice qui indiquent la minimisation de la baisse du rendement sous stress hydrique.

Les valeurs élevées de YSI sont indicatrices des génotypes tolérants des stress. Ces résultats corroborent ceux de Subhani *et al.* [23] ; Talebi *et al.* [24] ; Nazari et Pakniyet [25], qui rapportent que les indices MP, STI, GMP identifient des génotypes qui donnent des rendements appréciables à la fois en absence et en présence de stress hydrique.

Alors que, les indices TOL, YSI et SSI discriminent nettement entre tolérance et sensibilité à la sécheresse et identifient les génotypes qui performant relativement mieux sous stress indépendamment de leur performance en absence de stress [23, 24, 25].

Les résultats de l'analyse en composantes principales montrent que l'axe 1 représente la performance associée à la tolérance des stress, identifiée par les indices GMP, MP, YI et STI ; alors que l'axe 2 est une représentation de la tolérance uniquement, révélée par les indices SSI, YSI et TOL. Rihane, Barley1, Saida

et Barberousse sont mieux représentés par l'axe 1 qui classe Rihane et Barley1 dans la catégorie des génotypes performants et stress tolérants et Saida et Barberousse dans la catégorie des génotypes sensibles au stress et peu performants. Barley2, Tichedrett et El Fouara sont mieux représentés par l'axe 2 qui les classent dans la catégorie des génotypes tolérants au stress hydrique. Ces résultats corroborent ceux de Merhaban *et al.* [28] ; Subhani *et al.* [23], qui rapportent que les indices TOL et SSI sont révélateurs de la tolérance au stress mesurée par la performance élevée sous stress ; alors que selon Mohammedi-joo *et al.* [7] et Merhaban *et al.* [28], les valeurs élevées des indices MP, YI, STI et GMP identifient les génotypes performants et tolérants. A cet effet, l'intégration des indices de tolérance au stress comme outil de sélection fiable pour l'amélioration des rendements sous différents environnements, en agriculture intensive a pour but l'augmentation des rendements céréaliers et pourrait permettre une quantification de l'effet de la contrainte hydrique sur les rendements. Les indices TOL, YSI et SSI sont les mieux indiqués pour sélectionner pour la tolérance au stress hydrique. Ces résultats corroborent ceux de Ben naceur *et al.* [29].

## CONCLUSION

L'influence du déficit hydrique sur le rendement en grains de l'ensemble des génotypes étudiés a été fortement marquée. Les génotypes Rihane et Barberousse constituent les extrêmes pour cette caractéristique. Dans l'ensemble tous les génotypes évalués montrent, à des degrés divers, une réduction appréciable du rendement sous contrainte hydrique. La sélection basée sur les valeurs élevées de l'un des indices MP, GMP, YI et STI identifie des génotypes tolérants et performants alors que la sélection basée sur les indices SSI, TOL et YSI identifie les génotypes tolérants indépendamment de la performance de rendement.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. **Bornane, S. S., Prasad, L., Prasad, R. and Lal, J.P. (2012).** Perspective of barley drought tolerance; methods and mechanisms comparable to other cereals. *Journal of Progressive Agriculture*, 3 (2): 68-70.
- [2]. **Kishore, N., Kumar, N. and Verma, R.P.S. (2016).** Barley. In: Singh M., Kumar S. (Ed) *Broadening the Genetic Base of Grain Cereals*. Springer, New Delhi, 89-125.
- [3]. **Benmahammed, A. (2004).** La production de l'orge et possibilité de développement en Algérie. *Céréaliculture*, (4): 34-38.
- [4]. **Amrani, R., Djohri, M., Houassine, D. & Zeghouane-Bounefar, F. (2007).** Résultat d'enquête sur l'identification des contraintes entravant le développement de la culture d'orge en Algérie. *Céréaliculture*, (49): 32-38.
- [5]. **Rahal-Bouziiane, H., Berkani, S., Merdas, S., Nait Merzoug, S. and Abdelguerfi, A. (2015).** Genetic diversity of traditional genotypes of barley (*Hordeum vulgare* L.) in Algeria by phenomorphological and agronomic traits. *African Journal of Agricultural Research*, 10(31): 3041-3048.
- [6]. **Kosová K., Vítámvás, P., Urban, M.O., Kholová, J. and Prašil, I.T. (2014).** Breeding for enhanced drought resistance in barley and wheat – drought-associated traits, genetic resources and their potential utilization in breeding programmes. *Czech Journal of Genetics Plant Breeding*, 50(4): 247–261.
- [7]. **Mohammadi-joo, S., Mirasi, A., Saecidi-abiesharghi, R. and Amiri, M. (2015).** Evaluation of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes based on resistance indices under field conditions. *International Journal of Biosciences*, 6(2): 331-337.
- [8]. **Rauf, S., Al-Khayri, J.M., Zaharieva, M., Monneveux, P. and Khalil, F. (2016).** Breeding Strategies to Enhance Drought Tolerance in Crops. In: Al-Khayri J., Jain S., Johnson D. (Ed) *Advances in Plant Breeding Strategies: Agronomic, Abiotic and Biotic Stress Traits*. Springer, Cham, 397-445
- [9]. **Dekkiche, N., Ait abdellah-Djennadi, F., Ghalem-Djender, Z., Oumdjane, K. & Zaghouane-Boufenar, F. (2010).** Cultures et coûts de production des grandes cultures. *ITGC*, El-Harrach, Alger, 96p.
- [10]. **Belaid D. (2015).** Le semis-direct, une opportunité de développement. Communication au Séminaire International « Systèmes de Production en Zones Semi-arides. Diversité Agronomique et Systèmes de Cultures ». Université Mohamed Boudiaf, M'sila. 04 et 05 Novembre 2015. 6p.
- [11]. **Papathanasiou, F., Dordas, C., Gekas, F., Pankou, C., ElissavetNinou, E., Mylonas, L., Tsantarmas, K., Sistanis, L., Sinapidou, E., Lithourgidis, A., Petrevskaa, J. K., Papadopoulou, I., Zouliamisa, P., Kargiotidou, A. and Tokatlidisa, I. (2015).** The use of stress tolerance indices for the selection of tolerant inbred lines and their correspondent hybrids under normal and water-stress conditions. *Procedia Environmental Sciences*, 29: 274 – 275.
- [12]. **Hamli, S., Labhilili, M., Kadi, K., Addad, D. and Bouzerzour, H. (2018).** Heat Shock Effects on Physiological Parameters Durum Wheat Seedlings and Relationships with Stress Tolerance Indices. In: Kallel A., Ksibi M., Ben Dhia H., Khélifi N. (Ed) *Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions. EMCEI 2017. Advances in Science, Technology & Innovation (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development)*. Springer, Cham, 1333-1335.
- [13]. **Madic, M., Paunovic, A., Djurovic, D., Knezevic, D. and Tanaskovic, S. (2012).** Breeding barley (*Hordeum vulgare* L.) for abiotic and biotic limiting factors. *Third International Scientific Symposium "Agrosym Jahorina 2012"*, 6p.
- [14]. **Boussen, H., Ben Salem, M., Slama, A. & Rezgui S. (2009).** Évaluation de la tolérance au stress hydrique de quelques lignées de blé dur (*Triticum durum* desf.). *Annales de l'INRAT*, 82: 7-29.
- [15]. **Fischer R. A. & Maurer R.C. (1978).** Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 1: Grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29: 897-912.
- [16]. **Rosielle, A.A. and Hamblin, J. (1981).** Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*, 21: 943-946.
- [17]. **Hossain, A.B.S., Sears, A.G., Cox, T. S. and Paulsen, G.M. (1990).** Desiccation tolerance and its relationship to assimilate partitioning in winter wheat. *Crop Science*, 30: 622-627.
- [18]. **Bousslama, M. and Schapaugh, W. T. (1984).** Stress tolerance in soybean. I: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24: 933-937.
- [19]. **Fernandez, G.C.J. (1992).** Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: C.G. Kuo (Ed) *Adaptation of food crops to temperature and water stress. Proceeding of the international Symposium on adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water stress*. Taiwan, 13-16 Aug. Chapter 25, 257-270.

- [20]. Lin, C.S., Binns M.R. and Lefkovich L.P. (1986). Stability analysis: where do we stand?. *Crop Science*, 26: 894-900.
- [21]. Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campalino, R. G., Ricciardi, G.L. and B. Borghi, B. (1997). Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals *Canadian Journal of Plant Science*, 77: 523-531.
- [22]. Mitra, J. (2001). Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Current Science*, 80 (6): 758-762.
- [23]. Subhani, G. M., Abdullah, A. J., Anwar, J., Hussain, M. and Mahmood, A. (2015). Identification of drought tolerant genotypes of barley (*Hordeum vulgare* L.) through stress tolerance indices. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 25(3): 686-692.
- [24]. Talebi, R., Fayaz, F. and Naji, A.M., (2009). Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *General and applied plant physiology*, 35 (1-2): 64-74.
- [25]. Nazari, L. and Pakniyet, H. (2010). Assessment of Drought Tolerance in Barley Genotypes. *Journal of applied Sciences*, 10(2): 151-156.
- [26]. Patel, J.M., Patel, A.S., Patel, C.R., Mamrutha, H.M., Pradeep, S. and Pachchigar, K.P. (2019). Evaluation of Selection Indices in Screening Durum Wheat Genotypes Combining Drought Tolerance and High Yield Potential. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(4): 1165-1178.
- [27]. Mouhouche, B., Ruget, F. and Delécolle, R. (1994). Effects of water stress applied at different phenological phases on yield components of dwarf bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agronomie*, 18 (3): 197-205.
- [28]. Mehraban, A., Tobe, A., Gholipouri, A., Amiri, E., Ghafari, A. and Rostaii, M. (2014). Evaluation of Drought Tolerance Indices and Yield Stability of Wheat Cultivars to Drought Stress in Different Growth Stage. *World Journal of Environmental Biosciences*, 7(1): 8-14.
- [29]. Ben naceur, A., Cheikh M'hamed, H., Abdelly, C. and Ben naceur, M. (2018). Screening of north african barley genotypes for drought tolerance based on yields using tolerance indices under water deficit conditions. *Turkish Journal of field crops*, 23(2): 135-145.