

ANALYSE GÉNÉTIQUE ET VARIABILITÉ PHÉNOTYPIQUE DE LA SÉLECTION BASÉE SUR LES CARACTÈRES AGRO-MORPHO-PHYSIOLOGIQUES DE POPULATIONS AVANCÉES DE BLÉ DUR (*TRITICUM DURUM* DESF.), CULTIVÉES EN CONDITIONS SEMI-ARIDES

MESSAOUDI Noura^{1,2}, BENDERRADJI Laid^{1,*}, BRINI Faical³, BENMAHAMMED Amar⁴, BOUZERZOUR Hamenna⁴

¹Laboratoire de Biodiversité et Techniques Biotechnologiques de la Valorisation des Ressources Végétales (LBTB_VRV), Département SNV, Faculté des Sciences, Université de M'sila, Algérie.

²Laboratoire de Biologie, Eau et Environnement (LBEE), Faculté SNV_STU, Université de Guelma, Algérie.

³Laboratoire Biotechnologies et d'Amélioration des Plantes (LBAP), Centre de Biotechnologie de Sfax (CBS), Université de Sfax 3018 - Sfax, Tunisie.

⁴Faculté SNV, Université Sétif1, Sétif, Algérie.

Reçu le 29/12/2020, Révisé le 20/01/2021, Accepté le 26/01/2021

Résumé

Description du sujet : La présente étude a été conduite au niveau de la Station Expérimentale Agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif au cours des campagnes agricoles 2016/17 et 2017/18, elle porte sur le comportement de huit (08) variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) comparativement au témoin «Waha».

Objectifs : L'objectif de cette étude est la détermination des effets campagne, génotype et interaction (génotype x campagnes) pour treize variables mesurées, hormis la teneur relative en eau.

Méthodes : L'expérimentation a été conduite dans un dispositif en blocs randomisés avec 4 répétitions. La parcelle élémentaire fait 6 rangs x 5 m de long x 0,20 m d'écart inter-rangs. Les techniques culturales recommandées pour la région ont été suivies pour la mise en place de l'expérience. Les mesures et notations faites au cours du cycle de la culture concernent les treize facteurs étudiés.

Résultats : La variabilité observée est plus importante pour les paramètres rendement grain, biomasse, fertilité épi, rendements paille et économique, contenu en chlorophylle et intégrité cellulaire, dont le coefficient de variation est supérieur à 10 %. L'héritabilité est élevée pour le nombre de grains par épi et le contenu en chlorophylle ; moyenne pour le poids de 1000 grains, faible pour le rendement grain, biomasse et rendement économique et nulle pour le reste des variables mesurées. Les résultats montrent aussi que les caractères agro-morphologiques sont significativement liés entre eux, à l'inverse des caractères physiologiques qui montrent peu de liaisons entre eux et avec les caractères agro-morphologiques. Ceci suggère que parmi les variétés évaluées, la sélection de celles qui sont tolérantes et à haut potentiel de rendement devra donc se faire au cas par cas et non sur la base d'un caractère physiologique spécifique, marqueur de la tolérance, hautement corrélé au rendement grain. Les neuf variétés évaluées se subdivisent en trois clusters divergents de trois variétés chacun. Le cluster C1 est constitué des variétés les moins performantes au contraire des deux autres clusters qui apportent des gains appréciables pour plusieurs caractéristiques dont le rendement grain, biomasse, poids de 1000 grains, rendement paille et fertilité de l'épi. Une nette amélioration du contenu en chlorophylle et une réduction appréciable de dommages causés à la membrane cellulaire par le stress thermique ont été marqués.

Conclusion : Suite à leur divergence, il est suggéré d'utiliser les variétés des clusters C2 et C3 en croisement avec les variétés du cluster C1 pour améliorer et concilier dans un même fond génétique la tolérance des stress et le potentiel de rendement.

Mots clés : Blé dur / Classification hiérarchique / Caractères / Corrélation / Héritabilité.

GENETIC ANALYSIS AND PHENOTYPIC VARIABILITY OF SELECTION BASED ON AGRO-MORPHO-PHYSIOLOGICAL CHARACTERS OF ADVANCED DURUM WHEAT (*TRITICUM DURUM* DESF.) POPULATIONS, GROWN IN SEMI-ARID CONDITIONS

Abstract

Description of the subject: This study was conducted at the Agricultural Experimental Station of the Technical Institute of Field Crops (AESTI_FC) of Sétif during the campaigns: 2016/17 and 2017/18. it concerns the behavior of eight (08) varieties of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) compared to "Waha" cultivar as a control.

Objective: The objective of this study is to determine the campaign, genotype, and interaction effects (genotype x campaigns) for thirteen measured variables, apart from the relative water content.

Methods: The experiment was carried out in a randomized block device with 4 repetitions. The basic plot is 6 rows x 5 m long x 0.20 m inter-row spacing. The cultivation techniques recommended for the region were followed for setting up the experiment. The measurements and notations made during the culture cycle relate to the thirteen factors studied.

Results : The observed variability is greater for the parameters grain yield, biomass, ear fertility, straw, and economic yields, chlorophyll content and cell integrity, for which the coefficient of variation is greater than 10%. Heritability is high for the number of kernels per ear and the chlorophyll content; the average for the weight of 1000 grains, low for grain yield, biomass, and economic yield and zero for the rest of the variables measured. The results also show that the agro-morphological characters are significantly related to each other, unlike the physiological characters which show little connection between them and with the agro-morphological characters. This suggests that among the varieties evaluated, the selection of those which are tolerant and with a high yield potential should, therefore, be done on a case-by-case basis and not on the basis of a specific physiological trait, a marker of tolerance, highly correlated with yield grain. The nine varieties evaluated are subdivided into three divergent clusters of three varieties each. Cluster C1 is made up of the least performing varieties, unlike the other two clusters which provide appreciable gains for several characteristics including grain yield, biomass, 1000 grain weight, straw yield, and ear fertility. A marked improvement in the chlorophyll content and an appreciable reduction in damage to the cell membrane by heat stress were noted.

Conclusion: Following their divergence, it is suggested to use the varieties of the C2 and C3 clusters in crossing with the varieties of the C1 cluster to improve and reconcile stress tolerance and yield potential in the same genetic background.

Keywords: Durum wheat / Hierarchical classification / Characteristics / Correlation / Heritability.

* Auteur correspondant: BENDERRADJI Laid, E-mail : laid.benderradji@univ-msila.dz

INTRODUCTION

De part la superficie qu'il occupe et la demande qu'il engendre, le blé dur est une culture stratégique pour l'Algérie [1]. Sur une superficie annuelle de 1,5 million d'hectares, la production est faible et très irrégulière variant de 0,42 million tonnes (1986/1987) à 3,2 million tonnes (2016/2017). Lors de la période 1975-2017, l'insuffisance en matière de production de cette matière alimentaire stratégique est couverte par les importations (<https://www.ceicdata.com/en/algeria/agricultural-production/agriculture-production-vegetable-cereals-durum-wheat>). Pour réduire cette dépendance alimentaire, les options se limitent à l'extension des surfaces emblavées, à l'adoption d'un itinéraire technique plus ambitieux (irrigation, fertilisation, désherbage, dates et densités de semis optimales) et la sélection de variétés plus productives et mieux adaptées à des conditions de productions très variables. Parmi ces alternatives, l'amélioration variétale, en termes de potentiel de rendement, résilience vis-à-vis des stress biotiques et abiotiques et qualité technologique, est la plus efficiente, car la variété est le package technologique le plus facilement accessible à l'agriculteur [2]. La sélection pour le potentiel de rendement utilise le rendement comme critère de sélection. Les variétés issues d'une telle sélection sont sensibles aux stress abiotiques, réagissant fortement à la variation environnementale [3 ; 4]. Dans de tels cas la sélection multi-caractères associant les caractères marqueurs de la tolérance des stress au potentiel de rendement se justifie [5 ; 6]. L'identification des caractères conditionnant le potentiel de rendement sous conditions stressantes est la première étape de ce processus [7 ; 8 ; 2]. Parmi les caractères candidats à une telle sélection figurent, entre autres, la biomasse, l'indice de récolte, la précocité d'épiaison, la capacité de translocation des assimilés stockés dans le col de l'épi vers le grain, l'efficacité d'utilisation de l'eau, la teneur relative en eau, le contenu en chlorophylle, la stabilité de la membrane plasmique et la surface de la feuille étendard [9 ; 10 ; 8]. L'amélioration du rendement est associée à l'augmentation de la biomasse, de l'indice de récolte, à la réduction de la hauteur et de la surface de la feuille étendard [11 ; 12]. Lopes *et al.* [13], rapportent des corrélations significatives du rendement avec la précocité à l'épiaison, le contenu en chlorophylle de la feuille étendard, la température de la canopée, et le contenu en sucre solubles de la tige. Selon Aissawi *et al.* [14],

l'amélioration du rendement, des variétés émises par Cimmyt au cours de la période allant de 1966 à 2009, est associée à l'augmentation de la biomasse et de la hauteur qui passe de 70 à 100 cm et à la réduction de l'indice de récolte qui régresse de 47 à 43 %. Belagrouz *et al.* [15], rapportent que, comparativement aux variétés locales, les variétés modernes, en plus de leur haut potentiel de rendement, se caractérisent par l'amélioration concomitante de l'indice de récolte, du contenu en chlorophylle, la réduction du contenu relative en eau et de la hauteur de la plante. Ces variétés se caractérisent aussi par une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau pour produire du grain associée à l'indice de récolte et au contenu en chlorophylle. Ces auteurs suggèrent que la sélection concomitante pour la hauteur de la plante et l'indice de récolte peut engendrer des améliorations du rendement grain sous conditions sèches. Blum [16], mentionne que l'incorporation dans un même fond génétique des caractéristiques morpho-physiologiques désirables est une approche désirable pour développer des variétés résilientes pour les milieux arides et semi-arides. Les caractères candidats doivent être génétiquement corrélés avec le rendement, facilement mesurable et possédant une héritabilité plus élevée que celle du rendement objet de la sélection [16]. La présente étude se fixe pour objectif d'analyser la variabilité des caractères agro-morpho-physiologiques, de déterminer leur héritabilité et le degré d'association avec le rendement des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) conduites sous conditions semi-arides.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Site, matériel végétal et dispositif expérimental

L'étude porte sur le comportement de 8 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en plus du témoin, variété Waha (Tableau 1). Le matériel végétal a été évalué au cours de deux campagnes agricoles 2016/17 et 2017/18, sur le site de la Station Expérimentale Agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures de Sétif (SEA-ITGC- Sétif, 36°8' N de latitude, 5°20' E de longitude et 1081 m d'altitude). L'expérimentation a été conduite dans un dispositif en blocs randomisés avec 4 répétitions. La parcelle élémentaire fait 6 rangs x 5 m de long x 0,20 m d'écart inter-rangs. Les techniques culturales recommandées pour la région ont été suivies pour la mise en place de l'expérience.

Quatre-vingt kg/ha de mono-ammonium phosphate (52% P₂O₅ + 12% N) ont été appliqués avant le semis et 80 kg/ha d'urée (46% N) ont été pulvérisés au stade tallage. Les adventices ont été contrôlées par des

applications de 150g/ha de Zoom (Dicamba 66% Triasulfuron 4%) et 1,2 L/ha de Traxos (22,5g/L de Pinoxaden, 22,5g/L de Clodinafopropargyl et 6,5g/L de Cloquintocet-mexyl) d'herbicides chimiques.

Tableau 1 : Nom et pedigree des variétés utilisées comme matériel végétal

N°	Nom/Pedigree	Code	Origine
1	Waha – syn Pelicano/Ruff//Gaviota/3/Rolette (témoin)	V1	Inraa-Itgc
2	Canelo 9 .1/Snitán/10/Plata_10/6/Mque/4/Usda537	V2	Cimmyt-Icarda
3	Guemgoum Rkhem/4/Stj3 //Bcr/Lks4/3/Ter-3	V3	Inraa-Itgc
4	Brak //Ajaia_8/3/Canelo_8//Sora//	V4	Cimmyt-Icarda
5	<i>Triticum Polonicum</i> / Zenati Bouteille//Inrat69	V5	Inraa-Itgc
6	Icasyrl/3/Gcn//Stj /Mrb3	V6	Cimmyt-Icarda
7	Icasyrl/3/Bcr/Sb15// <i>Triticum urartu</i> /4/13376/Berchl /Ossll /Stj5	V7	Cimmyt-Icarda
8	Amedakull/ <i>Triticum dic</i> Syr Col//Loukos	V8	Cimmyt-Icarda
9	Terbol 97-5/Geruftel2	V9	Cimmyt-Icarda

2. Mesures et notations

Les mesures et notations faites au cours du cycle de la culture concernent la hauteur de la plante (HT, cm) qui a été mesurée, à maturité, du sol au sommet de l'épi, barbes non incluses, par trois endroits par parcelle élémentaire. La moyenne de trois mesures représente la valeur moyenne de la parcelle élémentaire. Les valeurs moyennes de la biomasse aérienne (BIO, g/m²), de la paille (PLL, g/m²), du rendement économique (RDTeco, g/m²), du rendement grain (RDT, g/m²) et des composantes ont été estimées à partir de bottillons de végétation provenant de la récolte de 2 rangs de 1m de long par parcelle élémentaire. Le rendement en paille est estimé par la différence entre la biomasse aérienne et le rendement grain. Le rendement économique est la somme du rendement en grains plus 30% du rendement en paille. Le nombre d'épis (NE, m²) est déduit du comptage des épis du bottillon de végétation, ramené au m². Le rendement grain (RDT, g/m²) est déterminé suite au battage manuel des épis du bottillon de végétation et du pesage des graines obtenues. Le poids obtenu est exprimé en g/m². Le poids de 1000 grains (PMG, g) et le nombre de grains par épi (NGE) sont estimés par le nombre, le poids et la moyenne des graines d'un échantillon de 10 épis pris au hasard par parcelle élémentaire. Les notations des caractères physiologiques ont portées sur la teneur relative en eau (TRE, %) qui a été réalisée selon la méthode de Barrs, décrite par Clarke et McCaig, [17]. Les feuilles échantillonnées sont coupées à la base du limbe, elles sont pesées immédiatement pour obtenir leur poids frais (PF, mg).

Elles sont mises par la suite dans des tubes à essai remplis d'eau distillée et placés à l'obscurité dans un endroit frais. Après 24h, les feuilles sont retirées, passées dans un papier buvard pour absorber l'eau de la surface, pesées de nouveau pour obtenir le poids turgide (PT, mg). Les échantillons sont enfin mis à l'étuve réglée à 80°C pendant 48h et pesés pour avoir le poids sec (PS, mg). La teneur relative en eau est calculée par la formule suivante : TRE (%) = [(PF-PS) / (PT-PS)] × 100. La teneur en chlorophylle (CHL, Unité-Spad) est déterminée à l'aide d'un chlorophylle-mètre, model Minolta (Konika-Minolta Chlorophyll Meter SPAD-502). L'intégrité cellulaire (IC %) est déterminée selon la méthode décrite par Saadallah et al. [18]. La température testée est de 50°C (C1) pendant 30 minutes et la température létale (C2) étant de 100°C pendant 30 minutes. La lecture est faite à l'aide du conductimètre. Le pourcentage des cellules endommagées est estimé par : IC (%) = 100×(C1/C2). La surface de la feuille étandard (SFE, cm²) est déterminée par le produit de la longueur (L) par la largeur du limbe (l) par le coefficient 0,607 (L) et (l) sont mesurées sur un échantillon de 5 feuilles prises au hasard au stade épiaison : SFE (cm²)= (L × l) × 0,607, où SF, L, l comme définis ci-dessus et 0,607 est la valeur du ratio entre la surface de la feuille estimée par le produit L x l et celle mesurée par planimétrie [6]. La température de la canopée (TCV, °C) est mesurée à l'épiaison avec un thermomètre à infrarouge Modèle AG-42 (Tele-temp Corp. Fullerton, CA).

3. Analyse des données

Les données collectées ont été soumises à l'analyse de la variance à deux facteurs (2 campagnes et 9 génotypes), utilisant le module ANOVA implanté dans le logiciel COSTAT version 6.4 [19]. L'effet campagne est testé relativement à l'effet blocs hiérarchisés aux campagnes. L'effet génotype ainsi que l'interaction génotype x campagnes sont

$$\sigma^2e = CMe \text{ résiduel} ,$$

$$\sigma^2gxe = \frac{CMe \text{ gxe} - \sigma^2e}{r} ,$$

$$\sigma^2g = \frac{CMe \text{ g} - CMe \text{ gxe}}{r \times s} ,$$

$$\sigma^2p = \sigma^2g + \sigma^2gxe + \sigma^2e ,$$

Avec CMe = carré moyen des écarts, r = nombre de répétitions et s = nombre de saisons ou campagnes d'étude. Les composantes de la variation ont servi à la détermination des coefficients de variation phénotypique, génotypique et résiduelle, suivants :

testées par la résiduelle pondérée, en accord avec [20]. Les composantes environnementale (σ^2e), génotypique (σ^2g), d'interaction G x E ($\sigma^2g \times e$) et phénotypique (σ^2p) de la variation sont déduites à partir des valeurs des carrés moyens des écarts qui sont prises comme étant les estimées des espérances moyennes des sources de variations génotype, interaction G x E et résiduelle pondérée [21].

$$CVp(\%) = \frac{100 * \sqrt{\sigma^2p}}{\mu} ;$$

$$CVg(\%) = \frac{100 * \sqrt{\sigma^2g}}{\mu} ;$$

$$CVe(\%) = \frac{100 * \sqrt{\sigma^2e}}{\mu}$$

Le degré de détermination génotypique (H^2_{sl}) est déduit par la formule :

$$H^2_{sl} = \frac{\sigma^2g}{\sigma^2g + \frac{\sigma^2gxe}{e \times r} + \frac{\sigma^2e}{r}}$$

Les coefficients de corrélation de Pearson entre les différentes paires de caractères montrant un effet génotype significatif ont été déterminés en utilisant le logiciel Excel (2003). La classification hiérarchique, pour grouper les variétés selon le degré de ressemblance, a été déterminée suivant la méthode Ward implémentée dans le logiciel Past version 3 [22], en utilisant les distances euclidiennes des valeurs centrées et réduites des variables soumises à l'analyse. La signification statistique des coefficients de corrélations est faite par rapport aux valeurs de la table r avec n-2 degrés de liberté.

RÉSULTATS

1. Pluie et températures des campagnes d'étude

Les cumuls pluviométriques enregistrés au cours de la période allant de septembre à juin étaient de 187,5 et 442,1 mm, respectivement, pour 2016/17 et 2017/18 (Fig. 1). Les deux campagnes diffèrent surtout par le grand écart de pluie accumulée au cours du printemps, 13.9 contre 223,6 mm, respectivement en 2016/17 et 2017/18.

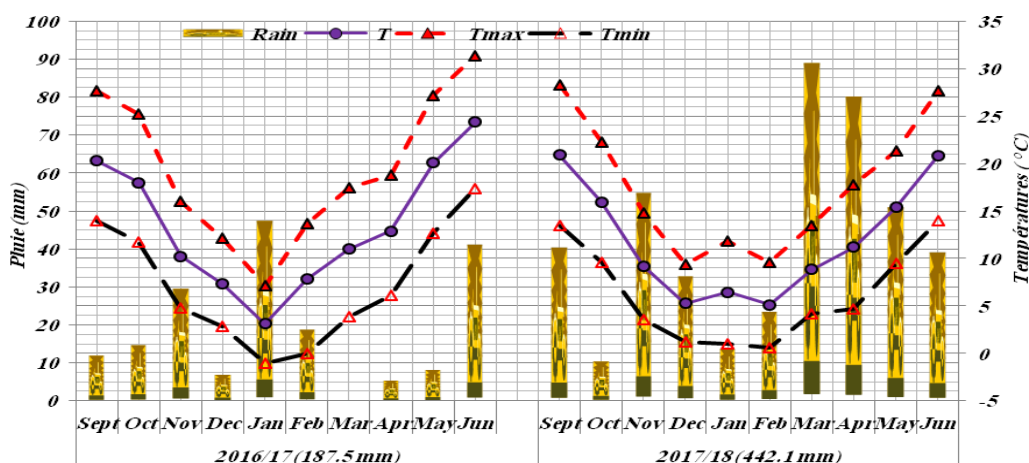


Figure 1/ Pluviométrie et températures moyennes du site expérimental ITGC de Sétif des deux campagnes agricoles 2016/17 et 2017/18 (Tutiempo, 2020) <https://www.tutiempo.net/premium/dz>

La campagne 2016/17 évita le sinistre grâce aux 40mm des orages enregistrés en juin (Fig. 1). Cette variation de la pluviométrie est une caractéristique des régions semi-arides. La répartition de la température est bimodale, basse en hiver, puis s'élève progressivement à partir du mois d'avril pour atteindre les 25°C, en moyenne, en juin. Cette élévation de la température associée à la rareté des pluies coïncide avec la phase de remplissage du grain induisant des baisses significatives du potentiel de rendement (Fig. 1).

2. Variabilité phénotypique

La variabilité ou diversité phénotypique est indispensable pour obtenir des gains sur les caractères ciblés tels que le rendement, l'adaptation ou la résistance des stress [21]. Dans ce contexte, les résultats de l'analyse de la variance combinée indiquent un effet moyen campagne hautement significatif pour les treize variables mesurées. L'effet moyen génotype est non significatif pour la teneur relative en eau, le pourcentage de dommages cellulaires et la surface de la feuille étendard. L'interaction (génotype × campagnes) est non significative pour le nombre de grains par épi, le poids de 1000 grains, le contenu en chlorophylle, la température de la canopée et la teneur relative en eau (Tableau 2). Ces résultats indiquent que les valeurs prises par les différentes variables analysées varient surtout en fonction des campagnes qu'en fonction des génotypes et de l'interaction génotype x campagnes. En effet, en moyenne des treize variables analysées, 43,3% de la variation totale est expliquée par l'effet campagne, 13,6% par l'effet génotype, 8,1% par l'interaction et 26,9% par la résiduelle, avec d'importantes variations entre variables. Ceci suggère que pour augmenter les chances d'observer les différences entre variétés, il est souhaitable d'augmenter le nombre d'environnements tests et de répétitions.

Pour les variables dont l'effet moyen génotype et l'interaction génotype x campagnes sont significatifs (HT, RDT, BIO, NE, PLL et R.D.T.éco.), ainsi que pour celles dont l'effet moyen génotype est significatif et l'interaction non significatif (PMG, NGE, CHL et TCV), l'ordre de classement des variétés est constant d'une campagne à l'autre, et l'interaction est de nature quantitative (absence de cross over). Pour de telles variables, l'effet moyen génotype discrimine aisément entre les différentes variétés évaluées. La variable TRE,

dont l'effet moyen génotype et l'interaction ne sont pas significatifs, ne discrimine pas entre les variétés étudiées, suite à l'absence de la variabilité d'origine génétique. Les valeurs prises par les variables IC et SFE, dont l'effet moyen génotype n'est pas significatif, alors que l'interaction l'est, varient selon la campagne. Le classement des variétés est différent d'une campagne à l'autre (interaction de nature qualitative avec cross over). Pour ces variables, une variété donnée se comporte comme deux génotypes différents au cours des deux campagnes. Les valeurs moyennes des différentes variables mesurées de la campagne 2016/17 ainsi que les écarts des valeurs de la campagne 2017/18 et de celles aussi de la campagne 2016/17 en plus de la plus petite différence significative au seuil de 5% de probabilité (Ppds 5%) sont portées au Tableau 2. L'étude de ces valeurs montre que la campagne 2017/18 a été plus favorable à l'expression de la hauteur (+28,33 cm), du nombre de grains par épi (+11,03 grains), du poids de 1000 grains (+15,81 g) et de la surface de la feuille étendard (+8,19 cm²). Comparativement aux valeurs prises par la Ppds5%, ces écarts inter campagnes sont significatifs. Les moyennes de ces variables, dans l'ordre ci dessus cité, mesurées au cours de 2016/17, sont de 58,28 cm, 17,62 grains/épi, 34,02 g et 12,2 cm² (Tableau 2).

Les différences entre campagnes pour le rendement grain, le contenu en chlorophylle et la température de la canopée ne sont pas significatives. Les moyennes de 2016/17, de ces trois variables, sont, respectivement, de 160,30 g/m², 41,29 unités spad et 26,58°C. La campagne 2016/17 a été plus favorable à l'expression de la biomasse (+195,9 g/m²), du nombre d'épis/m² (+223,64 épis), des rendements paille (+174,49 g/m²), et économique (+73,76 g/m²), de la teneur relative en eau (+2,66%) et de l'intégrité cellulaire (+34,85%). En moyenne des deux campagnes et des 9 variétés étudiées, les valeurs des différents caractères mesurés et paramètres estimés sont reportées dans le Tableau 3. Le coefficient de variation phénotypique supérieur à 10% est noté pour le rendement grain, la biomasse, la fertilité épi, les rendements paille et économique, le contenu en chlorophylle et l'intégrité cellulaire, indiquant la présence d'une variabilité phénotypique appréciable pour ces variables.

Cette variabilité est essentiellement d'origine génétique pour le rendement grain, la fertilité épi et le contenu en chlorophylle. Par contre en plus de la variabilité d'origine génétique, la variance d'interaction $G \times E$ contribue significativement à la variabilité observée de la biomasse, des rendements en paille et économique et de l'intégrité cellulaire. Le coefficient de variation phénotype est inférieur à 10%, montrant une faible variabilité, pour la hauteur, le nombre d'épis, le poids de 1000 grains, la température de la canopée et la surface de la feuille étendard (Tableau 3).

La composante génétique (σ^2_g) de la hauteur, du nombre d'épis, du poids de 1000 grains, de la température de la canopée et de la surface de la feuille étendard est égale à zéro, annulant l'héritabilité de ces caractères. Par contre l'héritabilité est élevée pour le nombre de grains par épi (72,97%) et le contenu en chlorophylle (82,41%); elle est moyenne pour le poids de 1000 grains (52,75%), et faible pour le rendement grain, la biomasse et le rendement économique.

Tableau 2 : Carrés moyens de l'analyse de la variance combinée, moyennes de la campagne 2016/17, écarts inter campagnes (2016/17-2017/18) et plus petite différence significative au seuil de 5% de probabilité des variables mesurées des 9 génotypes évalués au cours de deux campagnes.

Source	Camp (C)		Geno (G)		G × C	Résiduelle	Performances		
	1	6	8	8			2016/17	Ecart	Ppds5%
Ddl						48			
HT	14450,00**	63,86	42,07**	72,54**	14,98	58,28	-28,33**	4,61	
RDT	8253,13**	1562,23	3073,58**	1842,66**	750,99	160,30	21,41 ^{ns}	22,79	
BIO	690822,00**	8563,53	20285,70**	18064,40**	6107,66	618,18	195,91**	53,35	
NE	900259,00**	625,61	982,81**	2541,91**	381,10	332,78	223,64**	14,42	
NGE	2189,94**	23,70	108,67**	14,11 ^{ns}	20,91	17,62	-11,03**	2,81	
PMG	4501,58**	4,97	57,52**	20,25 ^{ns}	13,14	34,02	-15,81**	1,29	
PLL	548059,00**	8382,96	11050,10**	14024,40**	5138,78	457,88	174,49**	52,79	
RDTeco	97931,30**	1902,20	5916,69**	3764,05**	1278,85	297,67	73,76**	25,14	
CHL	178,05**	51,81	121,62**	5,97 ^{ns}	18,71	41,29	3,15 ^{ns}	4,15	
TCV	124,03**	76,78	18,15*	2,51 ^{ns}	6,13	26,58	2,63 ^{ns}	5,05	
TRE	127,42**	14,85	61,49 ^{ns}	66,20 ^{ns}	33,15	84,67	2,66*	2,22	
IC	21867,10**	345,64	244,03 ^{ns}	329,43**	142,46	83,99	34,85**	10,72	
SFE	1207,00**	1,25	11,42 ^{ns}	15,93*	6,51	12,42	-8,19**	0,64	

Ns, *, ** = effet non significatif et significatif au seuil de 5 et 1%, respectivement.

Tableau 3 : Valeurs moyennes, maximales et minimales génotypiques, plus petite différence significative, composantes de la variation, coefficient de variation résiduel, génotypique, et phénotypique, héritabilité au sens large et ratio des coefficients de variation génotypique et résiduel des variables mesurées.

	HT	RDT	BIO	NE	NGE	PMG	PLL	RDTeco	CHL	TCV	IC	SF
Moy	72,44	149,60	520,23	220,96	23,13	41,93	370,64	260,79	39,72	25,27	66,56	16,51
Max	76,25	178,78	615,40	232,75	30,42	46,11	457,99	294,81	46,16	28,20	74,15	17,73
Min	69,79	118,15	447,68	200,25	20,14	39,04	329,52	217,01	32,30	23,58	57,52	14,53
Ppds5%	3,89	27,55	78,56	19,62	4,60	3,64	72,06	35,95	4,35	2,49	12,00	2,57
σ^2_e	14,98	750,99	6107,66	381,10	20,91	13,14	5138,78	1278,85	18,71	6,13	142,46	6,51
σ^2_{gxe}	14,39	272,92	2989,19	540,20	0,00	1,78	2221,41	621,30	0,00	0,00	46,74	2,35
σ^2_g	0,00	153,87	277,66	0,00	11,82	4,66	0,00	269,08	14,46	1,96	0,00	0,00
σ^2_p	7,13	478,07	3299,17	170,49	16,20	8,83	2023,61	899,44	17,54	3,04	48,31	2,24
CVe	5,34	18,32	15,02	8,84	19,77	8,64	19,34	13,71	10,89	9,80	17,93	15,46
CVg	0,00	8,29	3,20	0,00	14,86	5,15	0,00	6,29	9,57	5,53	0,00	0,00
CVp	3,69	14,62	11,04	5,91	17,40	7,09	12,14	11,50	10,55	6,90	10,44	9,07
H ² sl	0,00	32,18	8,42	0,00	72,97	52,75	0,00	29,92	82,41	64,40	0,00	0,00

La variété Canelo 9.1 /Snitan/10/Plata10/6/Mque/4/Usda537 (V2) présente le meilleur rendement (178,78 g/m²) associé au nombre d'épis (232,75 épis/m²) et de grains par épi (30,42 grains/épi), les plus élevés.

La variété Brak //Ajaia8/3/Canelo8//Sora// (V4) présente le plus faible rendement grain (118,1 g/m²) associé aux plus faibles valeurs moyennes de la biomasse (447,68 g/m²), du poids de 1000 grains (39,04 g), des rendements en paille (329,52 g/m²) et économique (217,01 g/m²) et de la surface de la feuille étandard (14,53 cm²). Cette association de caractère chez cette variété suggère que le rendement est conditionné par la biomasse. La variété Icasyl/3/Bcr/Sb15// *Triticum urartu*/4/13376/Bcrchl/Ossl/Stj5 (V7) est la plus courte (69,79 cm) et se distingue par les valeurs moyennes les plus élevées de la biomasse (615,40 g/m²), du poids de 1000 grains (46,11 g), des rendements paille (457,99 g/m²) et économique (294,81 g/m²), de la température de la canopée (28,20°C) et de l'intégrité cellulaire (71,15%). Ces résultats suggèrent que cette variété est performante mais sensible au stress thermique. Les autres variétés prennent des valeurs intermédiaires entre les valeurs des variétés extrêmes mentionnées ci-dessus (Tableau 3).

Les caractéristiques physiologiques désirables en sélection sont dispersées chez les variétés évaluées, ainsi le contenu en chlorophylle le plus élevé (46,16 spad) et la plus faible valeur de l'IC (57,52%) sont observés chez la variété *Triticum Polonicum*/Zenati Bouteille//Inrat69 (V5), alors que la température de la canopée la plus faible (23,28°C) est mesurée chez Terbol 97-5/Geruftel2 (V9). Du point association des caractères désirables dans un même fond génétique, les deux variétés les plus intéressantes sont Canelo 9.1/ Snitan/10/Plata10/6/ Mque/4/ Usda 537 (V2) et Icasyl/3/Bcr/Sb15//*Triticum urartu*/4/13376/Bcrchl /Ossl/Stj5 (V7). Relativement aux performances du témoin Waha (Fig. 2), la variété V2 se distingue par des gains de rendement grain (16,8%), de fertilité de l'épi (20,1%), de nombre d'épis/m² (10,5%) et du rendement économique (9,1%). Ces gains sont contrebalancés par une plus grande sensibilité vis-à-vis des stress (+10,9% de l'IC, +3,3% de TCV et -4,5% CHL). La V7 apporte des gains du nombre d'épis/m² (8,4%), des rendements en paille (22,1%), et économique (11,0%), du poids de 1000 grains (14,3%), et de la biomasse (16,5%). Ces gains sont également associés à la sensibilité au stress (+18,5% de l'IC, 9,7% de la TCV, et -13,2% de la CHL).

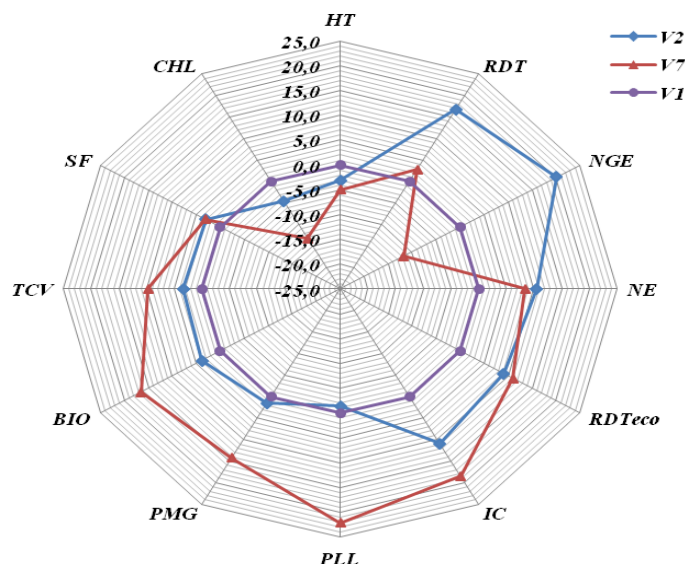


Figure 2 : Ecart relatif $[100 * (\bar{Y}_i - \bar{Y}_{waha}) / \bar{Y}_{waha}]$ des performances des variétés Canelo9.1/ Snitan10/Plata10/6/Mque/4/Usda537 (V2) et Icasyl/3/Bcr/Sb15//*Triticum urartu* /4/13376/Bcrchl /Ossl/Stj5 (V7) comparativement aux performances du témoin Waha (V1).

3. Liaisons entre caractères et typologie variétal

L'étude des coefficients de corrélations montre que le rendement est lié significativement à la biomasse, au nombre d'épis, au nombre de grains par épi, au rendement économique et à

la surface de la feuille étandard (Tableau 4). La biomasse est lié significativement au nombre d'épis, au poids de 1000 grains aux rendements en paille et économique et à la surface de la feuille étandard.

Le nombre d'épis, en plus de ses liaisons significatives avec la hauteur de la végétation, le rendement grain, et la biomasse, il est significativement lié au rendement économique et à la surface foliaire. Ces résultats montrent que globalement chez les 9 variétés évaluées, les caractères agro-morphologiques montrent des liaisons significatives entre eux. Par contre,

les caractères physiologiques ne présentent pas de telles associations ni entre eux ni avec les caractères agro-morphologiques mesurés, suggérant l'absence de liaisons géniques entre les différents gènes qui contrôlent ces caractères chez l'échantillon de variétés évaluées (Tableau 4).

Tableau 4. Coefficients de corrélation de Pearson entre les moyennes des deux campagnes des différentes paires de caractères mesurés chez les 9 variétés évaluées.

	HT	RDT	BIO	NE	NGE	PMG	PLL	RDTeco	CHL	TCV	IC
RDT	-0,203	1,000						r5%	r1%		
BIO	-0,454	0,779	1,000					0,666	0,798		
NE	-0,674	0,727	0,680	1,000							
NGE	0,146	0,751	0,401	0,298	1,000						
PMG	-0,525	0,402	0,686	0,553	-0,244	1,000					
PLL	-0,508	0,529	0,944	0,538	0,147	0,718	1,000				
RDTeco	-0,354	0,937	0,949	0,745	0,602	0,584	0,791	1,000			
CHL	0,124	0,251	0,021	0,222	0,473	-0,507	-0,104	0,138	1,000		
TCV	-0,273	0,326	0,614	0,207	0,497	0,043	0,660	0,505	0,168	1,000	
IC	-0,558	-0,259	0,078	-0,023	-0,251	0,242	0,243	-0,087	-0,612	0,363	1,000
SF	-0,317	0,930	0,877	0,691	0,552	0,599	0,697	0,956	0,126	0,326	-0,132

En gras coefficients de corrélation significatifs

Parmi les variétés évaluées la sélection de celles qui sont tolérantes et à haut potentiel de rendement devra donc se faire au cas par cas et non sur la base d'un caractère physiologique spécifique, marqueur de la tolérance, qui est hautement corrélé au rendement grain. La figure 3 montre la classification des 9 variétés sur la base des valeurs moyennes des caractères mesurés. L'analyse de cette figure montre que les variétés évaluées se départagent, selon leur ressemblance, en trois groupes ou clusters différents. Le cluster C1 est constitué des variétés V3, V4 et V6 ; le cluster C2 est formé par les variétés V7, V8 et

V9. Par contre le témoin Waha (V1) et les variétés V2 et V5 forment le cluster C3 (Fig. 3). Les valeurs moyennes caractéristiques des trois clusters sont données au Tableau 5.

L'étude des moyennes des clusters indiquent que la hauteur, le nombre d'épis, la température de la canopée et l'intégrité cellulaire ne discriminent pas entre clusters. Le cluster C1 regroupe, par contre, les variétés les moins performantes pour les rendements grain, paille et économique, la biomasse, la fertilité épi, le poids de 1000 grains, le contenu en chlorophylle et la surface de la feuille étendard (Tableau 5).

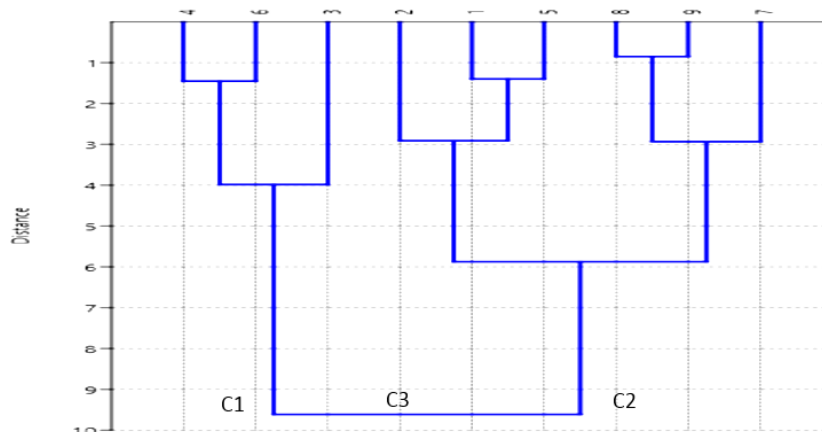


Figure 3 : Classification hiérarchique des 9 variétés évaluées sur la base des moyennes de 11 caractères mesurés

Les clusters C2 et C3 regroupent les variétés plus performantes que celles du cluster C1. Ces deux clusters diffèrent surtout pour la biomasse, le poids de 1000 grains, et le

rendement paille pour lesquels les variétés du cluster C2 sont les plus performantes ; et la fertilité de l'épi pour laquelle les variétés du cluster C3 sont les meilleures (Tableau 5).

Tableau 5. Coefficients de corrélation de Pearson entre les moyennes des deux campagnes des différentes paires de caractères mesurés chez les 9 variétés évaluées

Clusters	C1	C2	C3
Variétés	V3, V4, V6	V7, V8, V9	V1, V2, V5
HT	73,01	70,69	73,63
RDT	125,71	158,76	164,31
BIO	465,53	561,57	533,60
NE	211,83	229,92	221,13
NGE	20,17	21,58	27,64
PMG	40,13	45,35	40,29
PLL	339,81	402,81	369,29
RDTeco	227,66	279,60	275,10
CHL	38,35	37,94	42,85
TCV	24,61	25,19	26,00
IC	68,75	67,77	63,17
SF	14,99	17,41	17,13

Prenant les valeurs moyennes du cluster C1 comme indice 100, les écarts des clusters C2 et C3, par rapport à ces valeurs sont indiqués en figure 4. La sélection des variétés des clusters C2 et C3 génèrent des gains appréciables allant de 14,6 à 30,71%. Pour les rendements grain et économique et la biomasse. Les variétés du C2 apportent un gain plus conséquent pour la

paille (+18,54%) et le poids de 1000 grains (13,02%) ; alors que les variétés du cluster C3 apportent un gain plus élevé de la fertilité de l'épi (37,02%), une nette amélioration du contenu en chlorophylle (11,73%) et une réduction appréciable des dommages causés à la membrane cellulaire par le stress thermique (8,12%).

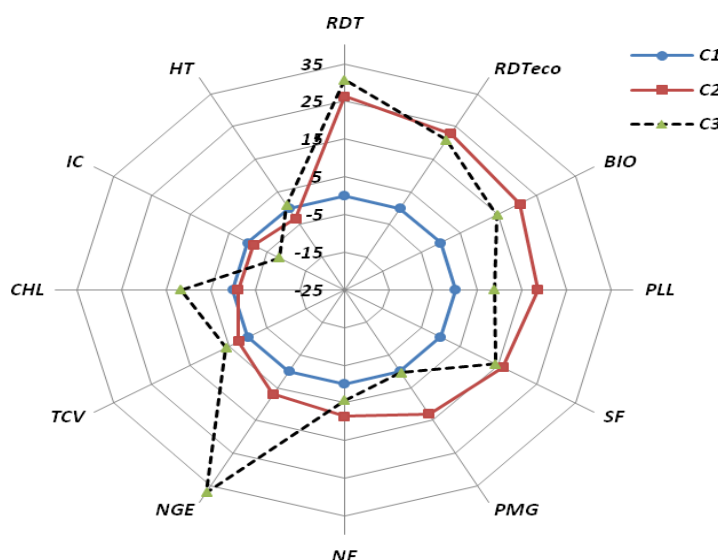


Figure 4 : Ecart des valeurs moyennes des clusters C2 et C3 par rapport aux valeurs moyennes du cluster C1 pour les différentes variables mesurées.

DISCUSSION

Cultivé dans un environnement sec, les variétés de blé dur doivent posséder la capacité de tolérer les stress hydrique et thermique pour pouvoir faire un rendement régulier caractérisé

par un niveau acceptable [23]. En effet, le déficit hydrique et les températures élevées de fin de cycle de la culture réduisent le rendement grain.

Cette réduction est induite par l'avortement des épillets, la stérilité du pollen qui affecte la fertilité de l'épi et le dessèchement du feuillage qui annule le transfert des assimilés vers le grain, affectant le poids de 1000 grains [9 ; 24]. Le développement et la sélection de variétés adaptées à un tel environnement variable, quoique difficile, est nécessaire. Pour ce faire, il est essentiel tout d'abord d'identifier les caractères agro-morpho-physiologiques associés à la tolérance des stress [7 ; 8]. La tolérance ciblée, définie comme étant la capacité génotypique de faire un rendement acceptable sous stress, doit, selon Dolferus *et al.* [25], assurer la réduction des dommages oxydatifs (dommages cellulaires) et la protection de l'activité photosynthétique (durée de vie du feuillage et translocation des assimilés stockés dans le col de l'épi). Les caractères comme la hauteur de la plante, le nombre d'épis, la fertilité de l'épi, le poids de 1000 grains, la durée de vie et la surface de la feuille étendard sont autant de traits dont la variation informe au sujet de l'adaptation de la plante au stress [9; 10; 26; 8]. Le contenu en chlorophylle, la teneur relative en eau, ainsi que la stabilité membranaire sont parmi tant d'autres caractères physiologiques suggérés comme marqueurs de réponse de la plante aux stress [27]; Hamli *et al.* [8]. Le maintien d'un contenu relatif en eau élevé réduit l'inhibition de l'activité photosynthétique sous conditions de stress. De même, un contenu en chlorophylle élevé est un indicateur de la capacité d'accumulation de la matière sèche sous stress oxydatifs causés par les stress hydrique et thermique [27]. Dans ce contexte, les résultats de la présente étude montrent des effets campagne, génotype et interaction significatifs pour la plus part des variables mesurées, hormis la teneur relative en eau. La campagne 2017/18 a favorisé l'expression de la hauteur, de la fertilité épi, du poids de 1000 grains et de la surface de la feuille étendard. Les différences entre campagnes du rendement grain, du contenu en chlorophylle et de la température de la canopée ne sont pas significatives. La campagne 2016/17 a été plus favorable à l'expression de la biomasse, du nombre d'épis/m², des rendements paille et économique, de la teneur relative en eau et de l'intégrité cellulaire. Une variabilité phénotypique appréciable est notée pour le rendement grain, la biomasse, la fertilité épi,

les rendements paille et économique, le contenu en chlorophylle et l'intégrité cellulaire, comme le suggère le coefficient de variation phénotypique dont la valeur est supérieure à 10%. La variabilité est essentiellement d'origine génétique pour le rendement grain, la fertilité épi et le contenu en chlorophylle. La variance d'interaction contribue significativement à la variabilité de la biomasse, des rendements en paille et économique et de l'intégrité cellulaire. La hauteur, le nombre d'épis, le poids de 1000 grains, la température de la canopée et la surface de la feuille étendard montrent une faible variabilité avec un coefficient de variation inférieure à 10%. La composante génétique de ces variables est nulle, ainsi que l'héritabilité. L'héritabilité de la fertilité épi et du contenu en chlorophylle est élevée ; celle du poids de 1000 grains est moyenne et celle du rendement grain, de la biomasse et du rendement économique est faible. Une héritabilité de valeur élevée est indicatrice d'un effet génique de nature additive, suggérant la faisabilité d'une sélection précoce efficace, selon Acquah [21]. Le meilleur rendement associé au nombre d'épis et de grains par épi, les plus élevés est observée chez la variété V2 ; alors que le plus faible rendement grain associé aux plus faibles valeurs de la biomasse, du poids de 1000 grains, des rendements en paille et économique et de la surface de la feuille étendard est notée chez la V4. Ces associations de variables chez ces variétés extrêmes suggèrent que le rendement grain, chez l'échantillon de variétés évaluées dans la présente étude, est conditionné par l'amélioration de la biomasse. Les valeurs les plus élevées de la biomasse, du poids de 1000 grains, des rendements paille et économique, de la température de la canopée et de l'intégrité cellulaire sont notées chez la variété V7. Les variétés V2 et V7 se distinguent par une association de caractères agro-morphologiques désirables. Ces résultats corroborent ceux de Fischer *et al.* [11] et Brancourt-Hulmel *et al.* [12], qui mentionnent que l'amélioration du rendement grain est associée à l'augmentation de la biomasse. Hamli *et al.* [28], mentionnent l'intérêt d'une feuille étendard aux larges dimensions dans la capture de la lumière et la fixation de plus d'hydrates de carbone qui sont favorables à un haut rendement. Selon Aissawi *et al.* [14],

l'amélioration du rendement, des variétés modernes est associée à l'augmentation de la biomasse et de la hauteur. Comparativement au témoin, ces deux variétés apportent des gains appréciables pour plusieurs caractères agromorphologiques, associés à une réduction de la tolérance des stress estimée par les tests de l'intégrité cellulaire, la température de la canopée et le contenu en chlorophylle. L'analyse des corrélations permet de quantifier le degré d'expression du génotype par le phénotype mesuré et de déterminer si la sélection d'un caractère donné affecte indirectement d'autres caractères non pris en compte dans le processus de sélection [28]. Une corrélation de valeur élevée suggère la présence de linkage ou de gènes à effet pléiotropique [29]. L'étude des corrélations de la présente étude indique que les caractères agromorphologiques montrent des liaisons significatives entre eux, par contre les caractères physiologiques ne sont pas corrélés entre eux ni avec les caractères agromorphologiques ce qui suggère l'absence de liaisons géniques entre les gènes contrôlant ces caractères chez l'échantillon de variétés évaluées. Ceci suggère aussi que parmi les variétés évaluées, la sélection de celles qui sont tolérantes et à haut potentiel de rendement devra donc se faire au cas par cas et non sur la base d'un caractère physiologique spécifique, marqueur de la tolérance, qui est hautement corrélé au rendement grain. Ces résultats vont à l'encontre de ce qui est rapporté par Lopes *et al.* [13], qui trouvent des corrélations significatives du rendement avec le contenu en chlorophylle de la feuille étendard et avec la température de la canopée. La divergence des résultats s'explique souvent par les différences entre sites expérimentaux, le matériel végétal évalué et la taille de l'échantillon du matériel végétal testé. En effet, l'expression des corrélations phénotypiques est environnement dépendante selon Lopes *et al.* [13]. Belagrouz *et al.* [15], rapportent que le rendement est associé au contenu en chlorophylle, à la réduction du contenu relative en eau et de la hauteur de la plante. Ainsi, Salmi *et al.* [30], rapportent une corrélation significative entre le pourcentage de dégâts cellulaires causés par le choc thermique et la réduction du rendement sous stress. Ces auteurs suggèrent la sélection sur la base d'un faible dommage cellulaire pour améliorer significativement le rendement grain et la tolérance des stress.

L'étude des moyennes des clusters formés indique que le cluster C1 regroupe les variétés les moins performantes entre autres pour le rendement grain, à l'inverse les clusters C2 et C3 regroupent les variétés performantes et diffèrent pour la biomasse, le poids de 1000 grains, et le rendement paille pour lesquels les variétés du cluster C2 sont les plus performantes; et pour la fertilité de l'épi pour laquelle les variétés du cluster C3 sont les meilleures. Comparativement aux valeurs moyennes du cluster C1, les clusters C2 et C3 génèrent des gains appréciables allant de 14,6 à 30,71% pour les rendements grain et économique et la biomasse. Les variétés du C2 apportent un gain plus conséquent de la paille et le poids de 1000 grains ; alors que le cluster C3 apporte un gain plus élevé pour la fertilité de l'épi, une nette amélioration du contenu en chlorophylle et une réduction appréciable des dommages causés à la membrane cellulaire par le stress thermique. Ce groupe de variétés est intéressant pour sa capacité à maintenir une teneur en chlorophylle élevée. Il est suggéré de l'utiliser comme source de génétique pour cette caractéristique en croisements. Les croisements entre des variétés du cluster C1 avec celles du cluster C2 et/ou les variétés de C1 avec celles du C3, à cause de leur diversité génèrent des transgressions dans le sens désirable de la sélection et ainsi contribuer à l'accumulation des caractères agronomiques, morphologiques et physiologiques dans un même fond génétique comme le proposent Fellahi *et al.* [31]. La descendante sélectionnée de ces populations ou croisements, sera reprise en croisements retour (backcross) avec les parents donneurs des gènes contrôlant les caractéristiques désirables pour favoriser les liaisons favorables entre potentiel de rendement et tolérance des stress. En effet, selon Anjum *et al.* [27], la réduction de la chlorophylle est révélatrice des génotypes sensibles aux stress, alors que les génotypes tolérants minimisent la réduction de la chlorophylle et par conséquent l'inactivation de la photosynthèse sous conditions stressantes. A ce sujet, Abdipur *et al.* [32], rapportent que le contenu en chlorophylle est un indicateur viable de l'évaluation de l'intégrité de l'appareil photosynthétique et le proposent comme critère de sélection pour identifier les génotypes tolérants et à haut potentiel de rendement grain, destinés aux environnements à pluviométrie limitée.

CONCLUSION

La présente étude révèle la présence d'une variabilité appréciable pour plusieurs caractéristiques agro-morpho-physiologiques qui peuvent être mises à profit dans un programme d'amélioration génétique. Les résultats montrent que, chez les 9 variétés évaluées, les caractères agro-morphologiques présentent des liaisons significatives entre eux à l'inverse des caractères physiologiques qui ne sont pas significativement liés entre eux ni avec les caractères agro-morphologiques. Les 9 géotypes testés se classent en trois clusters très divergents, dont l'un regroupe les variétés les moins perforantes pour le rendement et les caractères qui lui sont liés. Les deux autres clusters apportent comparativement au témoin le cultivar Waha des gains appréciables pour plusieurs caractéristiques désirables dont la tolérance des stress estimée par l'intégrité cellulaire, la température de la canopée et le contenu en chlorophylle. Des croisements entre clusters divergents sont suggérés pour améliorer et concilier la tolérance des stress et le potentiel de rendement grain dans un même fond génétique. Deux variétés, Canelo9.1/Snitan/10/Plata10/6/Mque/4/Usda537 et Icasyl/3/Bcr/Sb15//*Triticum urartu*/4/13376/ Bcrchl/Ossll/Stj5, associant plusieurs caractéristiques recherchées dont la performance de rendement grain ont été identifiées et proposées pour une utilisation immédiate comme variétés par la grande culture.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. Benbelkacem A. (2013). Rapport des résultats du projet "Enhancing Food Security in Arab Countries" Icarda-INRAA. 35 pages.
- [2]. Nouri A., Etmnan A., Jaime A., da Silva, T. & Mohammadi R. (2011). Assessment of yield, yield-related traits and drought tolerance of durum wheat genotypes (*Triticum turgidum* var. *durum* Desf.). *Australian Journal of Crop Science* 5(1): 8–16.
- [3]. Menad A., Meziani N., Bouzerzour H. & Benmahammed. A. (2010). Analyse de l'interaction génotype x milieux du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.): application des modèles AMMI et la régression conjointe. *Revue Nature & Technologie* 05 : 99-106.
- [4]. Haddad L., Bouzerzour H., Benmahammed A., Zerargui H., Hannachi A., Bachir A., Salmi M., Oulmi A., Fellahi Z.E.A., Nouar H. & Laala. Z. (2016). Analysis of genotype × environment interaction for grain yield in early and late sowing dates on durum wheat (*Triticum durum* Desf.) Genotypes. *Jordan Journal of Biological Sciences*. 9:139-146.
- [5]. Sayre K.D., Rajaram S. & Fisher R.A. (1998). Yield potential progress in short bread wheat in northern Mexico. *Crop Sci.* 37, 42 – 46.
- [6]. Fellahi Z.E.A., Hannachi A. & Bouzerzour H. (2018). Analysis of direct and indirect selection and indices in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) segregating progeny. *International Journal of Agronomy*. pp: 1-11, <https://doi.org/10.1155/2018/8312857>
- [7]. Maazouz L. & Bouzerzour H. (2017). Etude de la contribution des paramètres phéno-morphologiques à la sélection du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat semi-aride. *Rev. Sci. Technol., Synthèse* 35: 45-58.
- [8]. Fellahi Z.E.A., Hannachi A. & Bouzerzour H. (2020). Expected genetic gains from mono trait and index based selection in advanced bread wheat (*Triticum aestivum* L.) populations. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* 73: 9131-9141.
- [9]. Bahlouli F., Bouzerzour H. & Benmahammed A. (2008). Effets de la vitesse et de la durée du remplissage du grain ainsi que de l'accumulation des assimilats de la tige dans l'élaboration du rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans les conditions de culture des hautes plaines orientales d'Algérie. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 12 (1) :31-39.
- [10]. Belkharouch H., Fellah S., Bouzerzour H., Benmahammed A. & Chellal. N. (2009). Viguer de croissance, translocation et rendement grain du blé dur (*Triticum durum* Desf.) Sous conditions semi arides. *Courrier du Savoie*, 09:17-24.
- [11]. Fischer R.A., Rees D., Sayre K.D., Lu Z.M., Condon A.G. & Saavedra A.L. (1998). Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate and cooler canopies. *Crop Sci.* 38:1467–1475.
- [12]. Brancourt-Hulmel M., Doussinault G., Lecomte C., Berard P., Le Buanec B. & Trotter. M. (2003). Genetic improvement of agronomic traits of winter wheat cultivars released in France from 1946 to 1992. *Crop Sci.* 43:37–45.
- [13]. Lopes M.S., Reynolds M.P., Jalal-Kamali M.R., Moussa M., Feltaous Y., Tahir I.S.A., Barma N., Vargas M., Mannes Y. & Baum M. (2012). The yield correlations of selectable physiological traits in a population of advanced spring wheat lines grown in warm and drought environments. *Field Crops Research* 128:129–136.
- [14]. Aisawi K.A.B., Reynolds M.P., Singh R.P. & Foulkes M.J. (2015). The physiological basis of the genetic Progress in yield potential of Cimmyt spring wheat cultivars from 1966 to 2009. *Crop Sci.* 55:1749–1764.
- [15]. Belagrouz A., Chenafi H., Bouzerzour H., Hakimi M., Razim R. & Hadj Sahraoui A. (2018). Relationships among water use efficiency and the physio-agronomic traits in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars assessed under rainfed conditions of the eastern high plateaus of Algeria. *Agriculture & Forestry*, 64: 159-172.
- [16]. Blum A. (2011). Drought resistance, is-it really a complex trait? *Funct Plant Biol* 38:753–757.
- [17]. Clarke J.M. & McCaig, T.N. (1982). Excised leaf water relation capability as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. *Can. J. Plant Sci.* 62: 571-577.

- [18]. Saadalla M.M., Quick J.S. & Shanahan J.F. (1990b). Heat tolerance in winter Wheat: II. Membranethermo stability and field performance. *Crop Sci.* 30:1248-1251.
- [19]. Costat (2008). CoHort Software Graphics and Statistics Software for Scientists and Engineers.
- [20]. McIntosh M. S. (1983). Analysis of combined experiments. *Agronomy Journal*, 75 (1): 153-155
- [21]. Acquaah G. (2012). *Principles of plant genetics and breeding*. 2nd. Ed. Wiley Blackwell. Oxford
- [22]. Hammer O., Harper D.A.T. & Ryan P.D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia electronica* 4:1-9,
- [23]. Abbassenne F., Bouzerzour H. & Hachemi L. (1997). Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride. *Ann. Agron. INA*, El Harrach, 18 :24-36
- [24]. Fakhri M.E., Mahboub S., Benchekroun M. & Nsarellah N. (2011). Grain filling and stem accumulation effects on durum wheat (*Triticum durum* Desf.) yield under drought. *Nature & Technology* 7:67–73.
- [25]. Dolferus R., Ji X. & Richards R.A. (2011). Abiotic stress and control of grain number in cereals. *Plant Science* 181, 331–341.
- [26]. Chen X., Min D., Yasir T.A. & Hu Y-G. (2012). Evaluation of 14 morphological, yield-related and physiological traits as indicators of drought tolerance in Chinese winter bread wheat revealed by analysis of the membership function value of drought tolerance (MFVD). *Field Crops Research* 137:195–201.
- [27]. Anjum S.A., Xie X-Y., Wang L-C., Saleem M.F., Man C. & Lei W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6:2026–2032.
- [28]. Hamli S., Bouzerzour H., Benmahammed A., Oulmi A., Kadi Z. & Addad D. (2015). Déterminisme génétique des caractères morpho-physiologiques liés au rendement chez le blé dur en zone semi-aride des Hauts plateaux Sétifiens, Algérie. *European Scientific Journal*.11: 146-160.
- [29]. Farshadfar E., Romena H. & Shabani A. (2016). Evaluation of Genetic Parameters in Agro-physiological Traits of Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Irrigated Condition. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 4 (4): 319-326.
- [30]. Salmi M., Hadad L., Oulmi A., Benmahammed A. & Benbelkacem A. (2015). Variabilité phénotypique et sélection des caractères agronomiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.), sous conditions semi-arides. *European Scientific Journal*, 11 (21): 99-111
- [31]. Fellahi Z., Hannachi A., Bouzerzour H. & Boutekrabi A. (2013). Study of interrelationships among yield and yield related attributes by using various statistical methods in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Agronomy and Plant Production* 4 (6): 1256-1266.
- [32]. Abdipur M., Ramezani H.R., Bavei, V. & Talaei S. (2013). Effectiveness of canopy temperature and chlorophyll content measurements at different plant growth stages for screening of drought tolerant wheat genotypes. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences* 13: 1325–1338.