UFAS – SETIF 1

Revue semestrielle – Université Ferhat Abbas Sétif 1

REVUE AGRICULTURE

Etude de la variabilité des caractères phéno-morpho-physiologiques de la génération F_7 du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-arides

Oulmi A.[1*], Fellahi Z.[2], Mahdaoui W.[3], Semcheddine N.[3], Rabti, A.[3] et Benmahammed A.[1]

[1]Département de Biologie et d'Ecologie Végétale, Fac. Sci. Nat. Vie, Lab. VRBN, UFAS Sétif-1, Algérie.
[2]Département d'Agronomie, Fac. Sci. Nat. Vie Sci. Univers, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi BBA, Algérie.
[3]Département d'Agronomie, Fac. Sci. Nat. Vie, Lab. VRBN, Université Ferhat Abbas Sétif-1, Algérie.
** Email : oulmi@univ-setif.dz*

ARTICLE INFO

Reçu : 12-05-2017

Accepté : 30-10-2017

Keywords:
Triticum durum, variability, abiotic stress, tolerance, semi-arid.

Mots clés :
Triticum durum, variabilité, stress abiotique, tolérance, semi-aride.

ABSTRACT

This study was conducted at the experimental site of the agricultural Research station of the Field Crop Institute of Setif (Algeria), during the 2012/2013 cropping season. The objective was to assess the pheno-morpho-physiological variability of three F_7 populations of durum wheat. The results indicate a significant highly and significant genotypic variability for all the variables measured and subjected to analysis. Low variability is marked within the crosses under study for the relative water content, drought susceptibility index and canopy temperature since less than four lines were selected based on these traits. These results suggest that the parents used for crosses were mostly selected on their morphological divergence than the other physiological characteristics.

RESUME

La présente étude a été conduite au cours de la saison agricole 2012/2013, sur le site expérimental de la station de recherche agronomique ITGC de Sétif. Elle avait pour objectif la caractérisation phéno-morpho-physiologique de trois populations F_7 de blé dur. Les résultats de la présente contribution indiquent un effet génotype significatif à hautement significatif pour l'ensemble des variables mesurées et soumises à l'analyse. Peu de variabilité est notée à l'intérieur des croisements étudiés pour la teneur relative en eau, l'indice de tolérance au déficit hydrique et la température du couvert végétal vu que moins de quatre lignées ont été retenues sur la base de ces caractères. Ces résultats suggèrent que les parents croisés ont été sélectionnés beaucoup plus sur leur divergence morphologique que sur les autres caractères physiologiques.

Introduction

La culture des céréales est très ancienne en Afrique du Nord celle de blé l'est particulièrement en Algérie. La presque totalité de la nutrition de la population mondiale est fournis par les aliments en grain dont 95% sont produits par les cultures céréalières. Ces cultures céréalières sont la base des programmes de recherches agricoles et d'amélioration génétique. Le blé dur (*Triticum durum* Desf.*)* compte parmi les espèces les plus anciennes et constitue une grande partie de l'alimentation de l'humanité, d'où son importance économique.
Il prend mondialement, la cinquième place après le blé tendre, le riz, le maïs et l'orge avec une production de plus de 30 millions de tonnes (Oulmi, 2015). En Algérie, cette culture est conduite en pluviale. Le manque d'eau, souvent associé à des stress abiotiques (gels, hautes températures, salinité, ...) et la variabilité des facteurs climatiques sont responsables des pertes de rendements très importantes. L'utilisation des variétés locales bien adaptées aux conditions les plus difficiles, mais possédant un faible potentiel de rendement reste dominante, alors que l'adoption des nouvelles obtentions reste conditionnée par la stabilité de la production d'une année à l'autre (Benmahammed *et al.*, 2010 ; Adjabi *et al.*, 2014).

Les contraintes abiotiques souvent mises en cause dans notre pays sont la sécheresse, les hautes températures terminales et le gel printaniers. Bouzerzour *et al*. (2000)expliquent cette faible production par les grandes variations intra et interannuelles de la pluviométrie et des températures, qui affectent sérieusement les rendements**.** Cependant, des études récentes révèlent que ce sont plutôt les basses températures hivernales et printanières qui handicapent le plus cette spéculation (Annichiarico *et al*., 2005). Le stress hydrique peut intervenir à n'importe quel stade du cycle de la culture (Benmahammed *et al.*, 2010). L'esquive est l'une des stratégies d'amélioration variétale qui consiste à raccourcir le cycle d'une variété afin de lui permettre de parvenir jusqu'à la maturité durant une période humide. La variation des rendements est engendrée par la sensibilité des nouveaux génotypes aux divers stress qui caractérisent le milieu de production (Chennafi *et al.*, 2006 ; Fellahi *et al.*, 2017).

La sélection variétale, utilise une approche empirique prenant le rendement grain comme critère de sélection. Cette approche a montré ses limites, surtout en ce qui concerne l'amélioration de la tolérance aux stress (Fellahi *et al*., 2015 ; Oulmi *et al.*, 2016). Les résultats de plusieurs études montrent que le rendement grain est un caractère très variable, polygénique et le plus souvent soumis à des fortes interactions génotype x environnement (Bouzerzour et Dekhili, 1995 ; Benmahammed *et al.*, 2010 ; Semcheddine *et al.*, 2017). A cet effet, l'approche basée sur la compréhension du milieu à travers les études fréquentielles des principaux paramètres climatiques, complétée par des analyses phéno-morpho-physiologiques de la plante donnent une certaine régularité à la production en milieux variables. La présente étude se fixe pour objectif l'analyse de la variabilité phénotypique de la génération F_7 de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en condition semi- arides.

Matériel et Méthodes

Site, dispositif expérimental et matériel végétal utilisé

L'expérimentation a été conduite sur les terres de la station expérimentale appartenant à l'institut technique des grandes cultures (ITGC) de Sétif au cours de la compagne agricole 2012/2013. Le site expérimental est situé aux coordonnées géographiques 36° 08' N, 5° 20' E, à une altitude de 1081 m au-dessus du niveau de la mer.

Le dispositif expérimental adopté est sous forme de lignes de 3 m de long avec inter-rang de 20 cm. Mais tous les deux rangs présentent un croisement. Elle porte sur le suivi de la génération F_7 de trois croisements réalisés entre les lignées parentales Ofanto et MBB, Ofanto et Waha et Ofanto et Oum $Rabie_5$. Les lignées parentales montrent une adaptation toute relative à la région de Sétif vues qu'elles ont été sélectionnées sur le même site expérimental (Oulmi, 2015). La génération F_7 a été mise en place sur le site expérimental de la station ITGC de Sétif le 13 Décembre 2012. Cette génération a été semée sur des rangs de 3 m de long par 20 cm d'écartement entre rangs successifs, à raison de 2 rangs par lignée. 20 lignées de génération F_6, issues d'une sélection pedigree faite en F_2.

Les lignées parentales Ofanto (OFA), Waha (WA), Mohammed Ben Bachir (MBB) et Oum $Rabie_5$ (Mrb_5), ainsi qu'une variété témoin à savoir Bousselam (Bous) (caractérisée par ses performances et son adaptation au climat semi-aride des hautes plaines Sétifiennes) ont été semées sur des rangs de mêmes dimensions et répétées à raison de 1 témoin séparant tous les trois lignées F_6. La densité de semis adoptée est de 200 grains m^{-2}. Les techniques culturales adoptées sont celles préconisées par la station ITGC de Sétif.

Variables mesurées

Les notations et mesures ont portés sur :

- ✓ La durée de la phase végétative (PREC, jours) : elle est déterminée en nombre de jours calendaires comptés à partir du 1^{ier} janvier à la date de réalisation de 50% de l'épiaison. Elle est indicatrice du degré de précocité. Le cultivar MBB est pris comme témoin.
- ✓ La teneur relative en eau (TRE, %) : elle est déterminée selon la méthode décrite par Mullan et Pietragalla (2012). La teneur relative en eau est un indicateur du statut hydrique de la plante.
- ✓ La teneur en chlorophylle (CHL, CCI) : elle est faite sur champ avec un chlorophylle-mètre portable modèle CCM-200.
- ✓ La température de la canopée (T, °C) :elle est mesurée après le stade épiaison à deux dates différentes, les 13ème et 27ème jour. Les mesures sont faites entre 11h00 et 14h00h à l'aide d'un thermomètre portable à infrarouge de marque Teletemp (Modèle AG-42, Teletemp Corp., Fullerton, CA).
- ✓ La surface de la feuille étendard (SF, cm²) **:** elle est estimée sur la dernière feuille entièrement développée selon la méthode décrite par Spagnoletti-Zeuli et Qualset (1990). La surface foliaire est un indice nécessaire pour la détermination de la croissance.
- ✓ La hauteur du chaume en cm, est prise à maturité, du niveau du sol au sommet de la strate moyenne des épis, barbes non incluses.

Analyse des données

Les variables mesurées sur les différentes répétitions ont été soumises à l'analyse de la variance à un facteur étudié et un facteur contrôlé, selon la méthode décrite par Steel et Torrie (1982). Le logiciel CropStat (2009) a été utilisé à cet effet. Les différences significatives entre les différentes lignées de la génération F_7, ont été déduites par comparaison avec la valeur de la plus petite différence significative calculée au seuil de 5% ($Ppds_{5\%}$). Les écarts des moyennes des variables mesurées des différentes lignées F_7 sont déduits relativement à la valeur moyenne MBB. Ces écarts sont comparés à la valeur de la $Ppds_{5\%}$. Tout écart qui dépasse la valeur de la $Ppds_{5\%}$ est déclaré significatif. Les coefficients de corrélation phénotypiques ont été calculés entre les différentes variables mesurées en utilisant le logiciel Past (Hammer *et al.*, 2001). Les lignées F_7 dont l'écart pour une variable d'intérêt est significatif, font l'objet de la sélection.

Résultats et discussion

Etude de la variabilité phénotypique

L'analyse de la variance indique un effet génotype significatif à hautement significatif pour l'ensemble des variables mesurées et soumises à l'analyse (Tableau 1). Il y a donc une importante variabilité d'origine génétique au sein du matériel végétal étudié. Ces résultats suggèrent la présence de la variabilité phénotypique à l'intérieur de la population des lignées F_7 étudiées, pour les variables mesurées et analysées. Cette variabilité phénotypique sera analysée, dans ce qui suit, par groupe de caractères liés à la physiologie, à la morphologie et à la productivité de la plante.

Tableau 1. Carrés moyens de l'analyse de la variance des variables mesurées.

Caractères	Répétition	Lignées	Erreur	
Ddl	2	50		100
Indice de tolérance au stress hydrique (DSI, %)	36.43^{**}	12.01^{**}		3.68
Température de la canopée (TCV, °C)	22.6^{**}	10.1^{**}		3.2
Contenu en chlorophylle (CHL, CCI)	382.8^{**}	202.7^{*}		26.7
Teneur relative en eau (TRE, %)	277.4^{**}	17.2^{**}		4.9
Précocité (PREC, jours)	6.3^{**}	13.7^{**}		1.1
Hauteur (HT, cm)	9.0^{ns}	721.4^{**}		55.3
Surface foliaire (SF, cm²)	36.5^{**}	12.1^{**}		3.68

*et ** = effets significatifs au seuil 5 et 1%, respectivement.

Comparaison des moyennes

Les valeurs de l'indice de la tolérance au stress hydrique (DSI) varient de 76.5 à 86.0% au tour d'une moyenne de 82.1% et une plus petite différence significative de 3.1% (Tableau 2). L'étude de la fréquence de distribution des valeurs prises par cet indice montre la présence de 4 classes de valeurs différentes dont les deux classes intermédiaires comportent plus de 86.3% des lignées F_7 étudiées et dont les valeurs de ces deux classes sont situées dans la tranche des 82 à 85% (Figure 1). Seulement 2 lignées, Ofanto/Waha-8 (N°23), Ofanto/Mrb_5-10 (N°41) et les témoins Mrb_5 et Waha ont des valeurs légèrement supérieures à 85%, c'est-à-dire dans le sens désiré de la sélection (Tableau 3, Figure 1).

Tableau 2. Valeurs moyennes prises par les variables mesurées chez les populations F_7.

Variables	Moyenne générale	Moy. minimale	Moy. maximale	$Ppds_{5\%}$
DSI	82.1	76.5	86.0	3.1
TRE	76.7	71.2	81.4	3.6
TCV	24.9	21.6	27.8	3.0
CHL	40.2	30.2	57.2	8.0
HT	91.5	67.5	115.0	12.1
SF	17.9	14.0	23.5	3.1
PREC	128.6	125.0	133.5	1.6

DSI = Indice de tolérance au stress hydrique (%); TRE = teneur relative en eau (%); TCV = Température de la canopée (°C); CHL = chlorophylle totale (CCI); HT = hauteur des plantes (cm); SF = surface de la feuille étendard (cm²); PREC = précocité à l'épiaison (jours).

L'analyse des écarts des valeurs des différentes lignées par rapport à cette valeur de référence et en comparaison avec la valeur de la plus petite différence significative montre qu'il n'y pas de lignées dont l'indice est significativement supérieur à celui de MBB et qui méritent d'être sélectionnées pour améliorer la tolérance au stress hydrique chez le blé dur (Figure 2).

Les valeurs de la teneur relative en eau (TRE) varient de 71.2 à 81.4% autour d'une valeur moyenne de 76.7% et une plus petite différence significative de 3.6% (Tableau 2). L'étude de la fréquence de distribution des valeurs prises par cette variable montre la présence de 4 classes dont les valeurs moyennes sont 74, 77, 80 et 83% et comportant 17.6, 31.4, 47.1 et 3.9% des lignées (Figure 1). Seulement 2 lignées : Ofanto/Mrb_5-12 (N°43), Ofanto/Mrb_5-13 (N°44) ont des valeurs voisines de 83% (Figure 1). L'analyse des écarts des valeurs des différentes lignées par rapport à la valeur moyenne de la teneur relative en eau de MBB et en comparaison avec la valeur de la plus petite différence significative, montre qu'il n'y pas de lignées dont la teneur relative en eau est significativement supérieure à celle du témoin MBB et qui méritent d'être sélectionnées pour améliorer la tolérance au stress hydrique chez le blé dur (Figure 3).

Ces résultats suggèrent que le peu variabilité pour ces deux caractéristiques est probablement due au fait que les parents croisés ne diffèrent pas significativement pour ces deux caractères. Ils suggèrent aussi que le protocole utilisé pour effectuer les mesures de ces deux variables n'est pas précis, engendrant des valeurs élevées de la plus petite différence, ce qui réduit les chances d'identifier des lignées intéressantes pour la sélection.

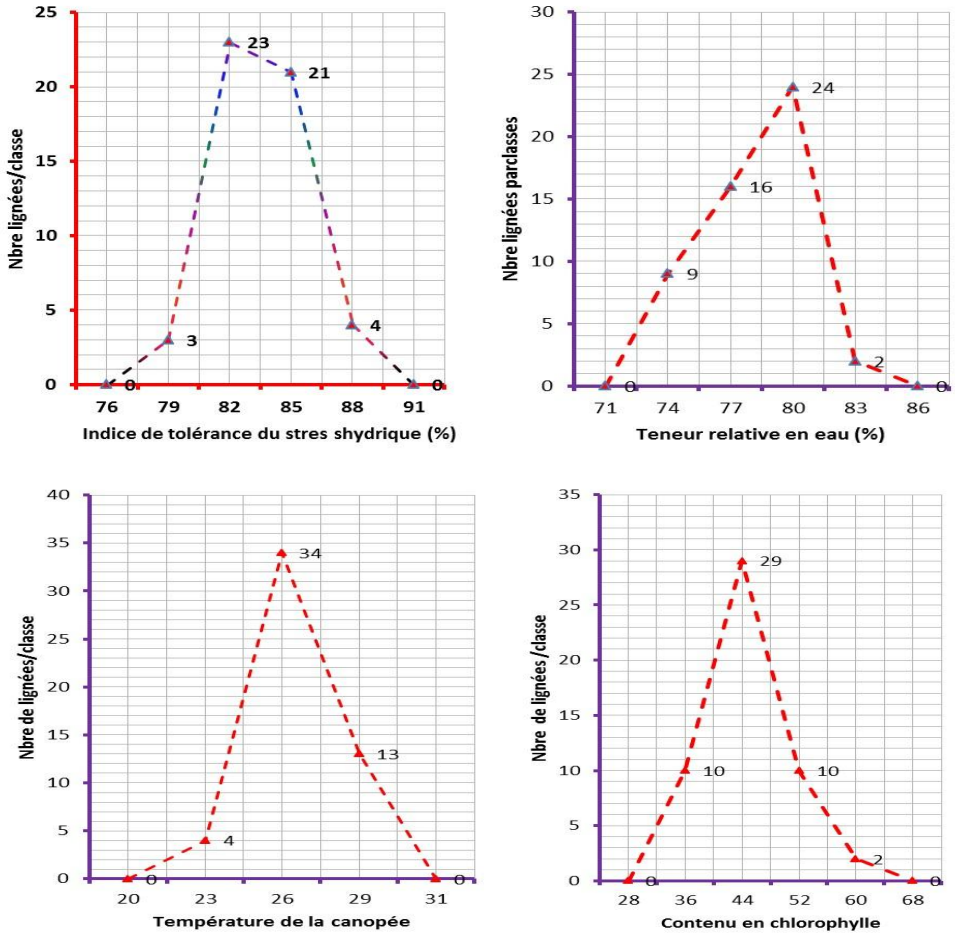

Figure 1. Distribution fréquentielle des valeurs des variables physiologiques.

Les valeurs de la température de la canopée (TCV) varient de 21.6 à 27.8°C autour d'une moyenne de 24.9°C et une plus petite différence significative de 3.0°C (Tableau 2). L'étude de la fréquence de distribution des valeurs prises par cette variable montre la présence de 3 classes dont les valeurs moyennes sont 23, 26 et 29°C. Seulement 4 lignées, Ofanto/Waha-2 (N°17), Ofanto/Waha-8 (N°23), Ofanto/Waha-11 (N°26) et Ofanto/Mrb_5-6 (N°37) ont des valeurssupérieures à 23°C (Tableau 3, Figure 1).

Tableau 3. Valeurs moyennes prises par les variables mesurées des lignées F_7.

Lignées	Code	DSI	TRE	TCV	CHL	HT	SF	PREC
OFA/MBB-1	1	84.5	78.5	**22.4**	36.6	**113.0**	15.5	133.5
OFA/MBB-2	2	84.4	71.5	24.3	41.6	**112.0**	15.6	132.0
OFA/MBB-3	3	82.7	79.5	26.2	**48.7**	67.5	17.3	131.5
OFA/MBB-4	4	80.4	75.4	25.8	34.2	**106.0**	19.6	129.5
OFA/MBB-5	5	84.0	75.8	26.4	32.0	**107.5**	16.0	128.0
OFA/MBB-6	6	84.9	71.2	25.2	43.7	**110.5**	15.1	127.0
OFA/MBB-7	7	83.1	72.9	24.9	39.8	**106.0**	16.9	129.5
OFA/MBB-8	8	81.3	76.4	25.8	33.4	**109.0**	18.7	130.0
OFA/MBB-9	9	80.8	72.1	25.4	37.4	90.5	19.2	131.5
OFA/MBB-10	10	82.6	76.7	25.1	38.4	**110.0**	17.4	130.5
OFA/MBB-11	11	82.7	77.2	23.0	37.7	**107.5**	17.3	129.5
OFA/MBB-12	12	80.7	76.5	**22.6**	33.9	**105.0**	19.3	129.5
OFA/MBB-13	13	83.3	77.8	25.2	36.5	**112.0**	16.7	131.5
OFA/MBB-14	14	81.1	77.3	23.3	36.7	95.5	18.9	131.0
OFA/MBB-15	15	83.9	76.9	23.5	32.5	90.5	16.1	131.5
OFA/WA-1	16	81.0	78.1	23.9	44.4	75.0	19.0	127.5
OFA/WA-2	17	82.7	75.8	27.8	39.7	72.5	17.3	127.0
OFA/WA-3	18	81.6	79.9	23.8	43.4	75.0	18.4	128.5
OFA/WA-4	19	78.8	76.0	25.4	38.7	71.0	**21.2**	128.5
OFA/WA-5	20	81.1	79.0	26.9	43.3	74.0	18.9	128.5
OFA/WA-6	21	81.6	75.7	26.9	47.2	79.5	18.4	129.5
OFA/WA-7	22	77.1	73.6	26.3	**49.5**	71.5	**22.9**	126.0
OFA/WA-8	23	**85.1**	76.2	27.6	**53.8**	76.0	14.9	127.0
OFA/WA-9	24	81.3	77.0	25.8	41.0	72.5	18.7	127.0
OFA/WA-10	25	80.9	77.8	24.8	33.0	73.5	19.1	131.5
OFA/WA-11	26	82.0	77.9	27.0	30.5	77.0	18.0	128.0
OFA/WA-12	27	83.4	78.4	26.9	45.6	76.0	16.6	129.0
OFA/WA-13	28	80.6	78.5	23.9	44.7	77.5	**19.4**	128.5
OFA/WA-14	29	82.5	73.2	23.8	**47.3**	77.0	17.5	128.0
OFA/WA-15	30	79.4	73.0	24.7	39.9	82.5	**20.6**	128.5
OFA/WA-16	31	83.6	77.1	26.6	38.1	85.0	16.4	127.0
OFA/Mrb_5-1	32	81.5	77.6	24.3	**57.2**	77.5	18.5	126.0
OFA/Mrb_5-2	33	76.5	78.1	24.7	44.6	**102.5**	**23.5**	**125.5**
OFA/Mrb_5-3	34	81.8	79.0	23.9	45.5	95.5	18.2	**125.0**
OFA/Mrb_5-4	35	82.7	73.6	25.0	39.5	**110.5**	17.3	131.5
OFA/Mrb_5-5	36	81.4	77.8	23.7	36.9	**102.5**	18.6	126.0
OFA/Mrb_5-6	37	80.5	75.9	27.2	**47.6**	**107.5**	**19.5**	126.0
OFA/Mrb_5-7	38	81.1	77.6	24.9	41.6	88.5	18.9	**125.5**
OFA/Mrb_5-8	39	83.1	77.5	24.2	40.8	76.5	16.9	129.0
OFA/Mrb_5-9	40	82.9	78.4	23.5	37.3	112.5	17.1	129.5
OFA/Mrb_5-10	41	**85.4**	78.2	24.1	41.4	70.0	14.6	126.5
OFA/Mrb_5-11	42	81.5	72.9	23.2	36.4	**106.0**	18.5	126.5
OFA/Mrb_5-12	43	79.8	**81.4**	25.7	43.6	96.5	**20.2**	126.0
OFA/Mrb_5-13	44	80.9	**81.2**	24.4	32.7	**104.5**	19.1	126.5
OFA/Mrb_5-14	45	83.5	74.2	24.0	37.2	**106.0**	16.5	129.5
OFA/Mrb_5-15	46	80.1	79.6	**21.6**	42.8	**101.5**	**19.9**	127.0
Waha	W	**86.0**	77.4	26.2	40.7	79.0	14.0	127.5
Bous	B	84.0	75.0	24.2	33.9	80.5	16.0	130.5
Mrb_5	Mr	**85.9**	75.7	25.1	36.8	79.0	14.1	130.5
MBB	**Mb**	**83.8**	**79.9**	**23.8**	**30.2**	**115.0**	**16.2**	**133.0**
OFA	O	81.8	75.9	26.4	39.3	95.0	18.2	127.5
MBB+1ppds		**86.9**	**83.5**	26.8	**38.1**	**127.1**	**19.3**	134.6
MBB-1ppds		78.7	72.3	**23.4**	31.3	82.9	15.0	**125.9**

DSI = Indice de tolérance au stress hydrique (%); TRE = teneur relative en eau (%); TCV = Température de la canopée (°C); CHL = chlorophylle totale (CCI); HT = hauteur des plantes (cm); SF = surface de la feuille étendard (cm²); PREC = précocité à l'épiaison (jours).

Les valeurs de l'indice du contenu en chlorophylle (CHL) varient de 30.2 à 57.2 unités CCI autour d'une moyenne de 40.2 unités CCI et une plus petite différence significative de 8.0unités CCI (Tableau 2). L'étude de la fréquence de distribution des valeurs prises par cette variable montre la présence de 4 classes dont les valeurs moyennes sont 36, 44, 52 et 60 unités CCI (Figure 5). Deux lignées seulement, Ofanto/Waha-8 (N°23) et Ofanto/Mrb_5-1 (N°32) ont des valeurs significativement supérieures à 50 unités CCI (Tableau 3, Figure 1).

L'analyse des écarts des valeurs des différentes lignées par rapport à la valeur moyenne du contenu en chlorophylle de MBB et en comparaison avec la valeur de la plus petite différence significative, montre que plus de 30 lignées présentent des valeurs significativement plus élevées que celle de MBB.Les 6 lignées Ofanto/Mrb_5-1 (N°32), Ofanto/Waha-8 (N°23), Ofanto/Waha7 (N°22), Ofanto/MBB-3 (N° 3), Ofanto/Mrb_5-6 (N°37) et Ofanto/Waha-14 (N°29) présentent les meilleures valeurs moyennes et méritent d'être sélectionnées pour améliorer la capacité photosynthétique du blé dur (Tableau 3, Figure 5).

Les valeurs de hauteur de la végétation varient de 67.5 à 115.0cm autour d'une moyenne de 91.5 cm et une plus petite différence significative de 12.1 cm (Tableau 2). Une hauteur de paille importante est une caractéristique désirable en zone semi-aride, suite à ses effets bénéfiques lors des années sèches. Il reste cependant vrai que la sélection de la hauteur doit être appréciée en fonction de ce qu'elle apporte en matière de tolérance aux stress hydrique et thermique et en termes de rendements économique et grain (Annichiarico *etal*., 2005 ; Bahlouli *et al*., 2005).

Comparativement à la hauteur des parents croisés celles des lignées F_7 présentent une grande variabilité. Ainsi on note la présence de plusieurs lignées dont la hauteur est plus élevée que celle des cultivars Waha, Bousselam et Ofanto. Ces lignées F_7 sont les codes 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 13 et 14 qui ont pour parent commun MBB et les numéros 2, 3, 4, 5, 6, 11, 13, 14 et 15 qui ont pour parent commun Mrb_5. Toutes ces lignées apportent un gain comparativement à la hauteur de Bousselam et de Waha, mais pas de gain par rapport à la hauteur atteinte par MBB. La hauteur moyenne de ces lignées avoisine les 100 cm (Tableau 3, Figure 6).

Les valeurs de la surface de la feuille étendard varient de 14.0 à 23.5cm² autour d'une moyenne de 17.9 cm² et une plus petite différence significative de 3.1 cm² (Tableau 2). Plusieurs lignées F_7 présentent une surface de la feuille étendard significativement plus élevée que celle développée par le témoin MBB (+ de 19.5 cm²). Ces lignées ont pour parent commun Mrb_5 pour les lignées Ofanto/Mrb_5-2, Ofanto/Mrb_5-12, Ofanto/Mrb_5-15 et Ofanto/Mrb_5-6 ; d'autres, Ofanto/Waha-7, Ofanto/Waha-4, Ofanto/Waha-15 et Ofanto/Waha13, ont pour parent commun Waha, qui présente la surface foliaire la plus réduite (Tableau 3, Figure 7). L'effet du stress hydrique peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque variété par des modifications morphologiques. Ces modifications affectent la partie aérienne et/ou souterraine : réduction de la surface foliaire,du nombre de talles, enroulement des feuilles développement du système racinaire (Slama, 2005). Granier *et al*. (2000) ont rapporté que les feuilles des plantes soumises au déficit hydrique atteignent habituellement des tailles finales apparentes plus réduites.

La surface de la feuille étendard varie aussi en fonction des conditions d'humidité du sol durant la phase précédent l'épiaison. Il convient de remarquer que selon Bidinger et Witcombe (1989), le taux de régression de la surface sous l'effet de stress hydrique est une forme d'adaptation à la sécheresse. La réduction de la surface foliaire tend à minimiser les pertes d'eau par transpiration, mais aussi provoquer une diminution du rendement à cause de la réduction de la capacité photosynthétique.

Les valeurs de la précocité varient de 125.0 à 133.5 jours autour d'une moyenne de 128.6jours et une plus petite différence significative de 1.6 jours (Tableau 2). Les trois lignées F_7, les plus précoces sont issues du croisement Ofanto/Mrb_5 et sont les lignées Ofanto/Mrb_5-3, Ofanto/Mrb_5-7 et Ofanto/Mrb_5-2, dont la durée de la phase allant de la levée à l'épiaison est inférieure à 125.5 jours (Tableau 3, Figure 8).

Un génotype précoce a tendance à épier plus tôt ou plus tard selon que l'hiver est plus doux ou plus rigoureux. Les génotypes tardifs ont tendance, par contre, à épier à une date plus ou moins fixe (Bahlouli *et al.*, 2001). Ceci est expliqué par cet auteur probablement par le fait que les génotypes précoces répondent plus aux sommes des degrés-jours accumulés, alors que les génotypes tardifs répondent plus aux températures vernales et à la photopériode. Worland *etal.* (1994) rapportent qu'il existe des génotypes très stables concernant ce caractère pour le blé.

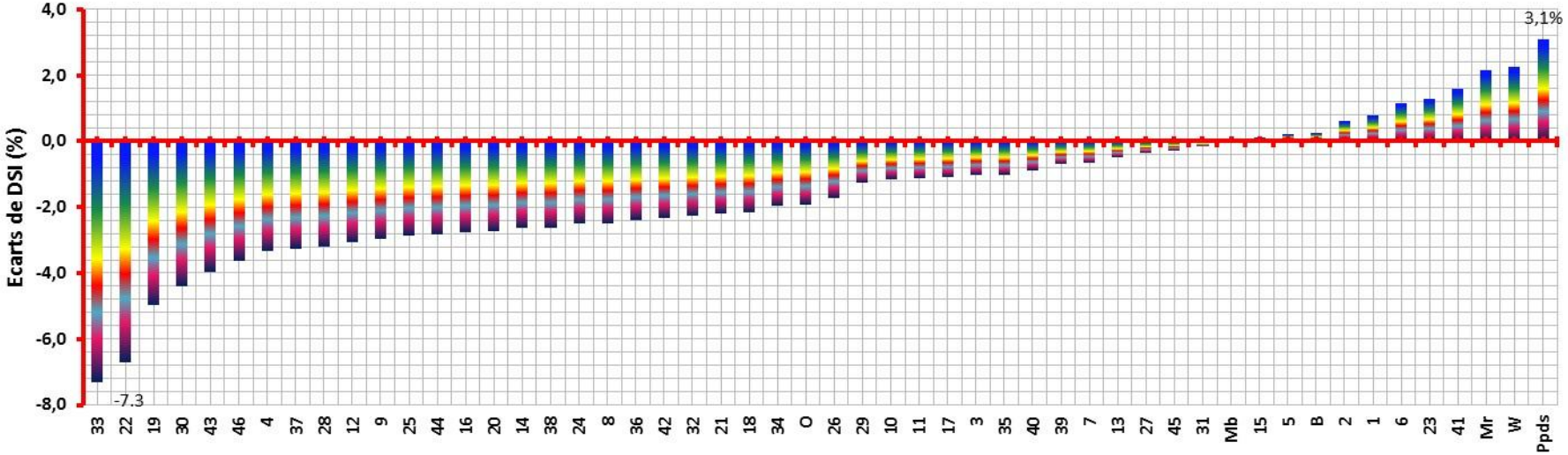

Figure 2. Ecarts des valeurs moyennes de l'indice de tolérance au déficit hydrique (DSI) par rapport à la moyenne du témoin MBB.

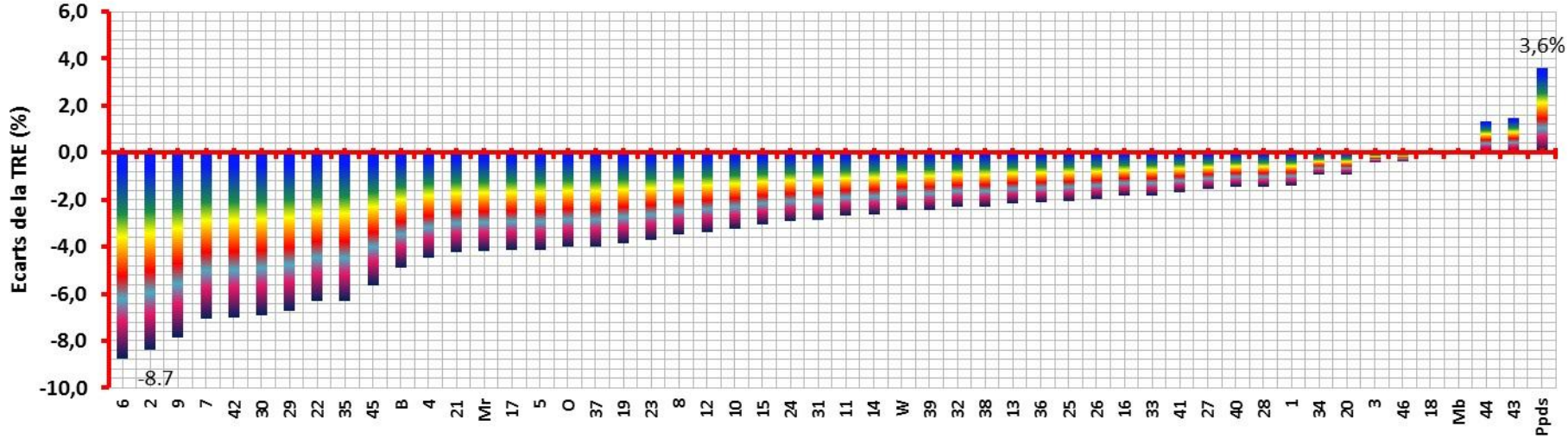

Figure 3. Ecarts des valeurs moyennes de la teneur relative en eau (TRE) par rapport à la moyenne du témoin MBB.

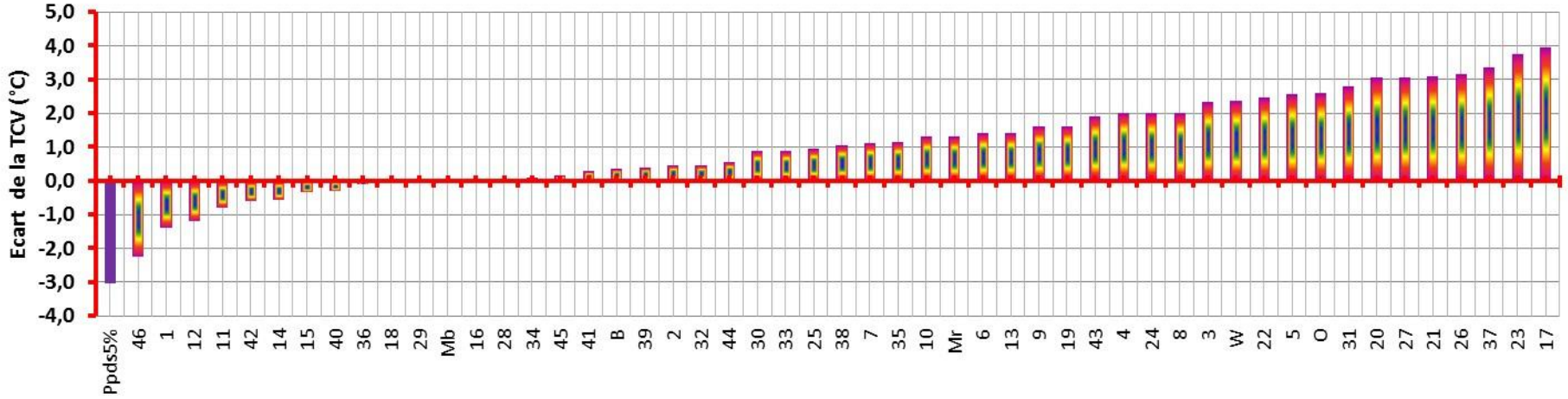

Figure 4. Ecarts des valeurs moyennes de la température de la canopée (TCV) par rapport à la moyenne du témoin MBB.

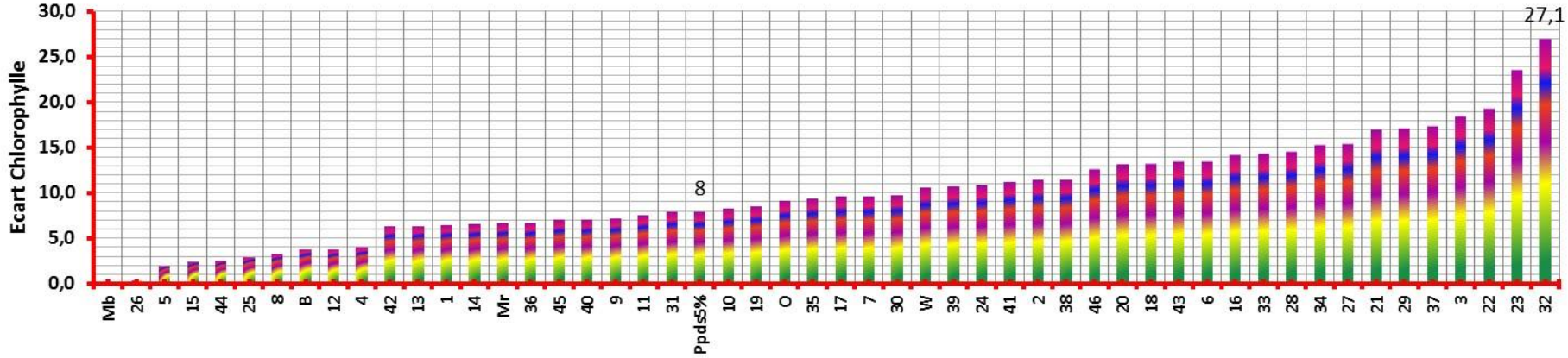

Figure 5. Ecarts des valeurs moyennes du contenu en chlorophylle (CHL) par rapport à la moyenne du témoin MBB.

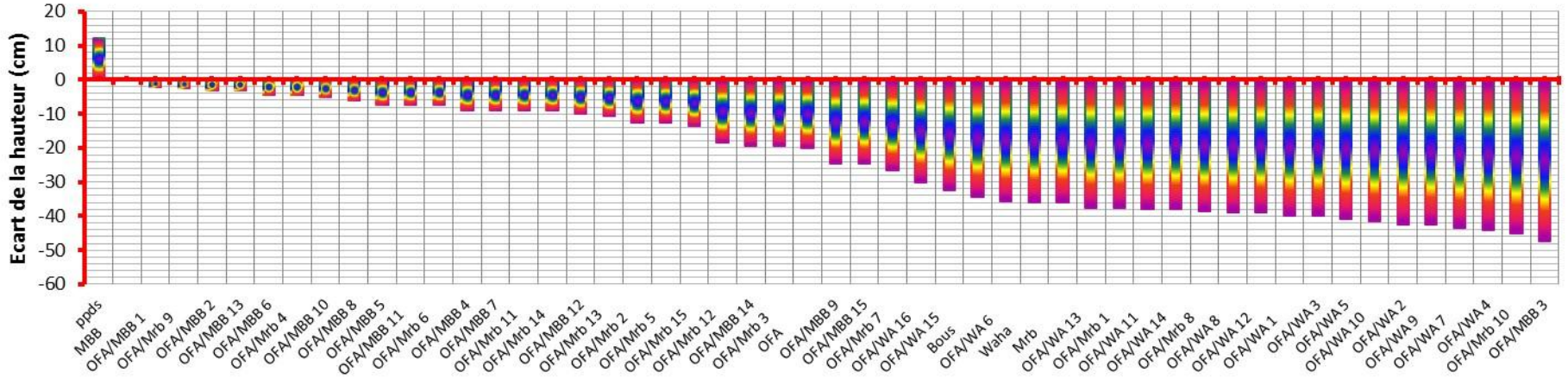

Figure 6. Ecarts de la hauteur de la végétation (HT) par rapport à la moyenne du témoin MBB.

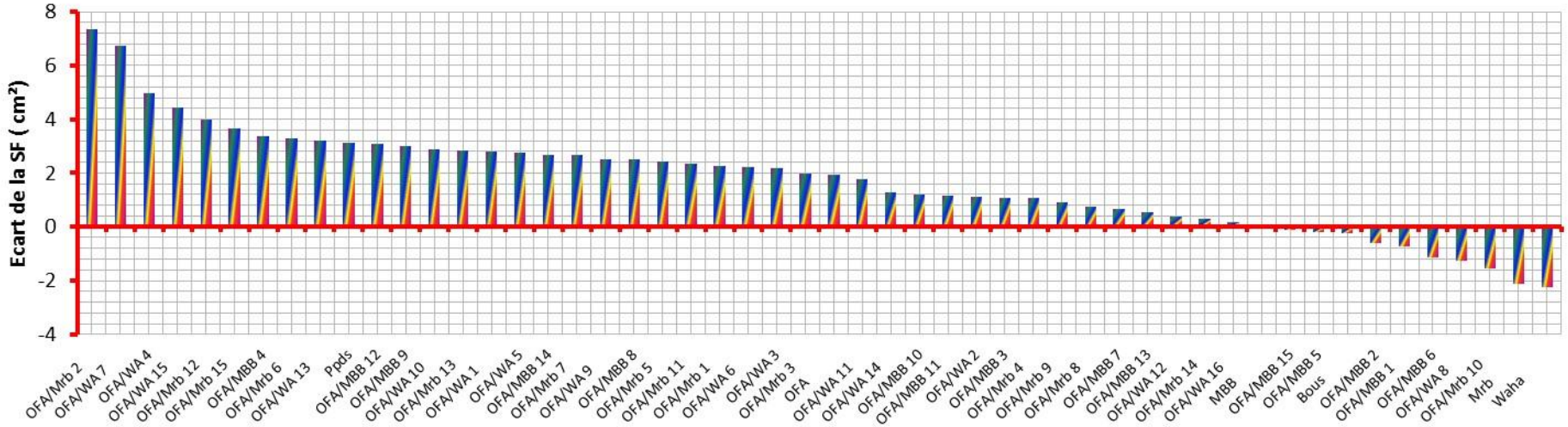

Figure 7. Ecarts de la surface foliaire de la feuille étendard (SF) par rapport à la moyenne du témoin MBB.

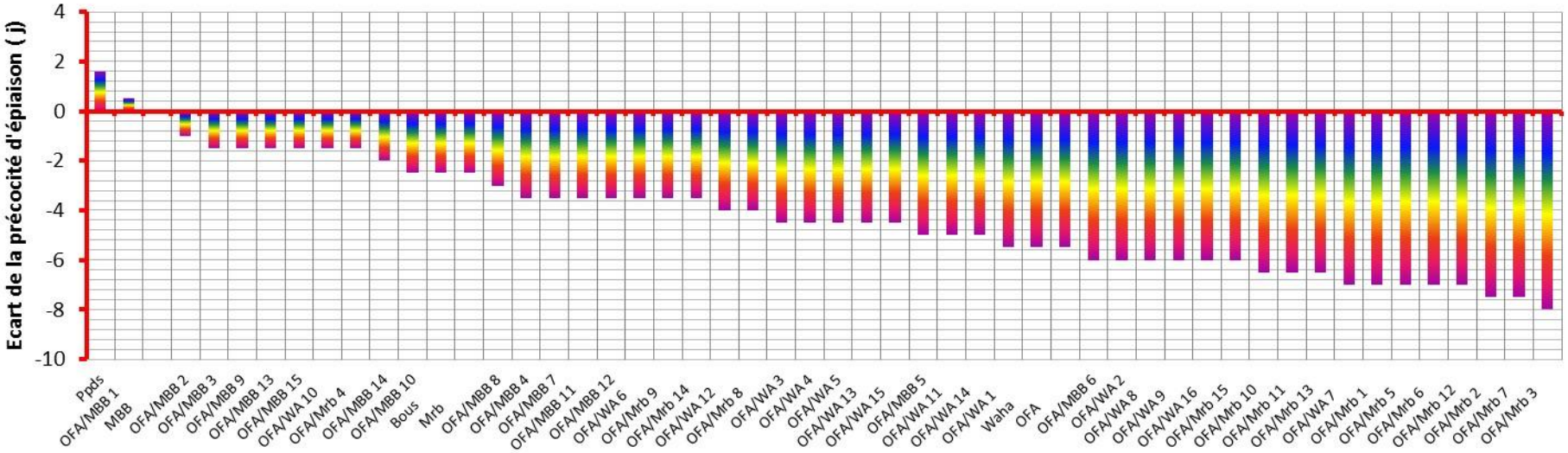

Figure 8. Ecarts de la précocité d'épiaison (PREC) par rapport à la moyenne du témoin MBB.

Analyse des coefficients de corrélations phénotypiques

L'analyse des liaisons inter-caractères est le plus souvent utilisée pour mesurer l'influence d'un caractère particulier sur le rendement en grain. Cependant, une corrélation n'implique pas nécessairement une relation de cause à effet, à cause notamment de l'effet indirect des autres caractères liés au caractère en question (Benmahammed *et al*., 2004).

L'étude des coefficients de corrélations phénotypiques entre les différentes variables mesurées chez les lignées F_7 (Tableau 4), montre que la teneur relative en eau ne présente pas de liaisons significatives avec les autres variables mesurées, suggérant que ce caractère est sous contrôle génétique indépendant de celui des autres caractères analysés. L'indice de tolérance au stress hydrique montre des liaisons significatives et négatives avec la surface de la feuille étendard et une liaison significative et positive avec la durée de la phase végétative. Ces résultats indiquent que les lignées F_7 de blé dur tolérant les stress abiotiques présentent une surface réduite de la feuille étendard. Ces résultats suggèrent que la sélection pour la tolérance des stress induit une réduction de la surface de la feuille étendard, du moins sous les conditions de la présente étude.

Tableau 4. Valeurs des coefficients de corrélation phénotypiques entre les différentes variables mesurées des lignées F_7.

Variable	DSI	TRE	TCV	CHL	HT	SF	PREC
DSI	1.00				$r_{5\%}$ = 0.27		n = 51
TRE	-0.10	1.00			$r_{1\%}$ = 0.35		
TCV	0.02	-0.12	1.00				
CHL	-0.16	-0.02	0.22	1.00			
HT	0.07	-0.14	**-0.35**	**-0.41**	1.00		
SF	**-0.97**	0.10	-0.02	0.16	-0.07	1.00	
PREC	**0.35**	-0.13	-0.21	**-0.45**	0.24	**-0.35**	1.00

DSI = Indice de tolérance au stress hydrique (%); TRE = teneur relative en eau (%); TCV = Température de la canopée (°C); CHL =chlorophylle totale (CCI); HT = hauteur des plantes (cm); SF = surface de la feuille étendard (cm^2); PREC = précocité à l'épiaison (jours).

La température de la canopée montre des liaisons significatives et négatives avec la hauteur de la végétation. Ces résultats indiquent que le stress des hautes températures induit une réduction de de la hauteur et chez les lignées F_7 étudiées. Si on considère que les conditions climatiques prévalant au cours de la présente campagne sont représentatives d'un environnement stressant, la sélection des meilleures lignées pour la hauteur identifie des lignées tolérantes des hautes températures. A ce stade de développement la température de l'air et le stress hydrique sont tous deux à des niveaux très élevés. Des températures basses du couvert végétal sont indicatives d'un potentiel hydrique foliaire élevé (Blum *et al.*, 1981)

Le contenu en chlorophylle montre des liaisons significatives et négatives avec la hauteur de la végétation et la durée de la phase semis épiaison (précocité). Ces résultats indiquent que les lignées F_7 dont les potentialités photosynthétiques sont élevées, se distinguent par une hauteur de la végétation et une durée de la phase semis–épiaison relativement courtes. Ces résultats suggèrent que la sélection, à l'intérieur des lignées F_7 de la présente étude, pour un contenu élevé en chlorophylle, induit une réduction de la hauteur, associée à une réduction du cycle végétatif. La surface de la feuille étendard montre de liaisonsignificative et négative avec la durée de la phase semis épiaison (précocité). Ces résultats indiquent que les lignées F_7 dont la surface de la feuille étendard est élevée, la durée de la phase semis-épiaison est relativement courte. Chez les céréales à petits grains, la biomasse où la surface foliaire aux stades précoces du développement sont généralement positivement corrélée au rendement grain sous des environnements de type Méditerranéen, en raison de la réduction des pertes d'eau du sol par évaporation d'une part et l'accroissement de l'efficacité d'utilisation de l'eau, d'autre part, quand la croissance se déroule dans la saison froide (Hafid *et al.*, 1998).

Il semble donc, que les génotypes modernes qui sont plus précoces esquivent le stress de fin de cycle. La précocité au stade épiaison est une composante importante d'évitement des stress de fin de cycle chez le blé dur. L'adoption de variétés à cycle relativement court est nécessaire dans les régions arides à semi arides compte tenu de la distribution aléatoire des précipitations (Mekhlouf *et al.*, 2006). Fisher and Maurer (1978) notent que chaque jour gagné en précocité génère un gain en rendement de 30 à 85 $kgha^{-1}$.

Conclusion

Les résultats de la présente contribution indiquent la présence de la variabilité phénotypique à l'intérieur de la population des lignées F_7 étudiées, pour les variables mesurées et analysées. Cependant, peu variabilité pour l'indice de la tolérance au stress hydrique et de la teneur relative en eau, probablement due au fait que les parents croisés ne diffèrent pas significativement pour ces deux caractères. L'analyse des écarts des valeurs prises par les variables mesurées par rapport à la valeur moyenne de MBB et en comparaison avec la valeur de la plus petite différence significative, montre l'absence de lignées dont la température de la canopée est significativement inférieure à celle de MBB et qui méritent d'être sélectionnées pour améliorer la tolérance au stress hydrique. Six lignées présentent des valeurs de la chlorophylle significativement plus élevées que celle de MBB, méritent d'être sélectionnées pour améliorer la capacité photosynthétique du blé dur. Toutes les lignées apportent un gain comparativement à la hauteur de Bousselam et de Waha, mais pas de gain par rapport à la hauteur atteinte par MBB. Plusieurs lignées F_7 présentent une surface de la feuille étendard significativement plus élevée que celle développée par le témoin MBB. Les trois lignées F_7, les plus précoces sont issues du croisement Ofanto/Mrb_5 dont la durée de la phase allant de la levée à l'épiaison est inférieure au parent le plus précoce Waha. Ces résultats suggèrent ladifficulté rencontrée sous conditions à fortes contraintes pour identifier des lignées qui apportent un gain pour l'ensemble des caractères à la fois.

Références

Adjabi, A., Bouzerzour, H. and Benmahammed, A. 2014. Stability analysis of durum wheat (*Triticum Durum* Desf.) grain yield. *Journal of Agronomy*, 13, 131-139.

Annicchiarico, P. and Piano, E. 2005. Use of artificial environments to reproduce and exploit genotype × location interaction for lucerne in northern Italy. *Theoretical and Applied Genetics*, 110(2), 219-227.

Bahlouli, F., Bouzerzour, H. et Benmahammed, A. 2001. Étude de la réponse à la sélection de la précocité chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi aride d'altitude. *Annales de l'Institut national agronomique*, 22(1-2), 1-25.

Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmahammed, A. and Hassous K. L. 2005. Selection of high yielding and risk efficient durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars under semi-arid conditions. *Pakistan Journal of Agronomy*, 4(4), 360-365.

Benmahammed, A., Djekoun, A., Bouzerzour, H. et Hassous, K. L. 2004. Efficacité de la sélection précoce de la biomasse chez l'orge (*Hordium Vulgare* L.) en zone semi-aride. *Revue Sciences et Technologie*, 22, 80-85.

Benmahammed, A., Nouar, H., Haddad, L., Laala, Z., Abdelmalek, O. and Bouzerzour, H. 2010. Analyse de la stabilité des performances de rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 14(1), 177-186.

Bidinger, F. R. and Witcombe, J. R. 1989. Evaluation of specific drought avoidance traits as selection criteria for improvement of drought resistance. *In:* Baker, F. W. G. Eds. *Drought resistance in cereals*. Wallingford, UK: CAB International, p. 151-164.

Blum, A. and Ebercon, A. 1981. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. *Crop Science*, 21(1), 43-47.

Bouzerzour, H. and Dekhili, M. 1995. Heritabilities, gains from selection and genetic correlations for grain yield of barley grown in two contrasting environments. *Field Crops Research*, 41(3), 173-178.

Bouzerzour, H., Bahlouli, F., Benmahammed, A. et Djekoun, A. 2000. Cinétique d'accumulation et de répartition de la biomasse chez des génotypes contrastés d'orge (*Hordeum vulgare* L.). *Sciences et Technologie*, 13, 59-64.

Chennafi, H., Aïdaoui, A., Bouzerzour, H. and Saci, A. 2006. Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi arid growth conditions. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5, 854-860.

CropStat 7.3., 2009. Software package for windows. International Rice Research Institute, IRRI, Manila.

El Hafid, R., Smith, D. H., Karrou, M. and Samir, K. 1998. Physiological responses of spring durum wheat cultivars to early-season drought in a Mediterranean environment. *Annals of Botany*, 81(2), 363370.

Fellahi, Z., Hannachi, A., Bouzerzour, H. and Benbelkacem, A. 2015. Inheritance Pattern of Metric Characters Affecting Grain Yield in two Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Crosses under Rainfed Conditions. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 8(3), 175 - 181.

Fellahi, Z., Hannachi, A., Ferras, K., Oulmi, A., Boutalbi, W., Bouzerzour, H. and Benmahammed, A. 2017. Analysis of the phenotypic variability of twenty F_3 biparental populations of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) evaluated under semi-arid. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(1), 102-118.

Fischer, R. A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Crop and Pasture Science*, 29(5), 897-912.

Granier, C., Inzé, D. and Tradieu, F. 2000. Spatial distribution cell division rate can be deduced from that of P34cdc2 Kinase activity in maize leaves grown in contrasting conditions of temperature and water status. *Plant physiology*, 124, 1393-1402.

Hammer, Ø., Harper, D. A. T. and Ryan, P. D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 9p.

Mullan, D. and Pietragalla, J. 2012. Leaf relative water content. In: Pask, A. J. D., Pietragalla, J., Mullan, D. and Reynolds, M. (Eds.), *Physiological breeding II: A field guide to wheat phenotyping*. CIMMYT, Mexico, pp: 25-27.

Mekhlouf, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A. et Hadj Sahraoui, A. 2006. Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Sécheresse*, 17, 507-513.

Oulmi, A. 2015. Analyse de la tolérance du blé dur (*Triticum turgidum var. durum L*.) aux stress abiotiques de fin de cycle. Thèse doctorat des sciences, Faculté des Sciences de la Nature et de la vie, Dept. Biologie végétale. Université Ferhat ABBAS, Sétif-1, 159 p.

Oulmi, A., Salmi, M., Laala, Z., Fellahi, Z., Adjabi, A., Rabti, A. and Benmahammed, A. 2016. Morpho-Physiological Variability Studies in F_6 Populations of Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) evaluated under Semi-arid Mediterranean Conditions. *Advances in Environmental Biology*, 10(3), 161-170.

Semcheddine, N., Oulmi, A., Rouabhi, A. and Hafsi, M. 2017. Relationship between Grain Yield, Agronomic Traits and Carbon Isotope Discrimination in Durum Wheat Cultivated under Semi-arid climate. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 20, 1068-1077.

Slama, A., Ben Salem, M., Ben Naceur, M. et Zid, E. 2005. Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Inrat*, 16(3), 225-229.

Spagnoletti-Zeuli, P. L. and Qualset, C. O. 1990. Flag leaf variation and the analysis of diversity in durum wheat. *Plant Breeding*, 105(3), 189-202.

Steel, R. D. G. and Torrie, J. H. 1982. *Principales and Procedures of Statistics*. 2nd ed. McGrawHill. New York, 481 p.

Worland, A. J., Appendino, M. L. and Sayers, E. J. 1994. The distribution, in European winter wheats,of genes that influence ecoclimatic adaptability whilst determining photoperiodic insensitivity and plantheight. *Euphytica*, 80(3): 219-228.