

Analyse de la diversité phénotypique de quelques accessions autochtones de blé dur (*Triticum turgidum* ssp. *durum* Desf.) du sud tunisien

H. BELHADJ^{1,2}, M. MEDINI², I. BOUHAOUËL^{1,2*}, H. AMARA¹

¹ Laboratoire d'amélioration des plantes, département d'Agronomie et Biotechnologies végétales, Institut National Agronomique de Tunisie, Tunis, Tunisie.

² Banque Nationale de Gènes. Boulevard du leader Yasser Arafat. Charguia 1. 1080 Tunis. Tunisie.

*Auteur correspondant: imenbouhaouel@gmail.com

Abstract - The phenotypic characterization of nine-hundred thirty (930) durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum* L.) accessions collected from the south of Tunisia (Gabès and Médenine) was investigated according to international standards of IPGRI and UPOV through twenty two (22) qualitative and three (3) quantitative traits related to the different parts of the spike. The Shannon-Weaver index (H') showed a high diversity among landraces ($H'_{\text{mean}}=0.53$). The most polymorphic characters were seed shape ($H'=0.98$), width of the truncation ($H'=0.97$) and spike color ($H'=0.92$). In this study, some morphological specificity of the Tunisian wheat accessions was detected according to the prospecting governorates, localities and sites, and to topographic data. Particularly, the locality of Menzel Habib, from Gabès governorate possessed the highest mean diversity index ($H'_{\text{mean}}=0.56$), which makes this site an exceptionally suitable place for the *in situ* conservation. The factorial correspondence analysis showed that spike color, awn length and color, glume color, glume hairiness and length of brush hair were the most discriminator traits for wheat landraces.

Keywords: Indigenous accessions, durum wheat, morphological markers, relative phenotypic diversity index.

Résumé - La caractérisation morphologique de neuf cent trente (930) accessions autochtones de blé dur (*Triticum turgidum* ssp. *durum* L.) collectées dans les régions du sud tunisien (Gabès et Médenine) a été faite selon les normes internationales de l'IPGRI et de l'UPOV, moyennant 22 caractères qualitatifs et 3 caractères quantitatifs se rapportant aux différentes parties de l'épi. L'indice de Shannon et Weaver (H') a dévoilé une grande diversité de l'ensemble des accessions étudiées ($H'_{\text{moyen}}=0,53$). Les caractères les plus polymorphes étaient la forme du grain ($H'=0,98$), la largeur de la troncature ($H'=0,97$) et la couleur de l'épi ($H'=0,92$). Durant cette étude, une certaine spécificité morphologique des accessions du blé tunisien a été détectée selon les gouvernorats, les localités et les sites de prospection, et les données topographiques. En particulier, la localité de Menzel Habib, du gouvernorat de Gabès a présenté l'indice de diversité moyen le plus élevée ($H'_{\text{moyen}}=0,56$), ce qui rend ce site un lieu exceptionnellement adapté pour la conservation *in situ*. L'analyse factorielle par correspondance a montré que la couleur de l'épi, la couleur et la longueur des barbes, la couleur de la glume, la pilosité des glumes et la longueur des poils de la brosse des grains sont les caractères les plus discriminants chez les populations autochtones du blé.

Mots clés: Accessions autochtones, blé dur, marqueurs morphologiques, indice relatif de diversité.

1. Introduction

L'intensification de l'agriculture, les profondes modifications des structures agraires, les méthodes de sélection végétale et les transformations écologiques liées à l'urbanisation croissante, ont entraîné des pertes considérables de la diversité génétique aussi bien des espèces domestiques, que sauvages (Cauderon 1986). Dans le cas de la Tunisie, considérée comme l'un des plus grands consommateurs de céréales dans le monde, et face à la croissance démographique, les sélectionneurs se sont retrouvés dans l'obligation de développer et d'introduire des variétés améliorées à haut rendement et adaptées à un système céréalier intensif, tels que Karim et Razzek qui représentent 90%



des emblavures du blé dur (*Triticum turgidum* ssp. *durum* Desf.) (DGPA 2013; Dghaïs et al. 2007). Toutefois, malgré leur haut potentiel génétique, ces variétés présentent dans la majorité des cas une sensibilité accrue aux maladies et à la sécheresse ainsi qu'une mauvaise adaptation à des microclimats très diversifiés contrairement aux populations autochtones de blé dur. Par conséquent, le travail de collecte, de caractérisation, d'évaluation et de conservation des ressources génétiques des céréales est d'une grande priorité pour la préservation de notre patrimoine génétique. Le travail de caractérisation repose premièrement sur la description morphologique du matériel végétal. Les marqueurs morphologiques sont déjà connus comme des outils efficaces pour l'estimation de la diversité génétique du blé (Al Khanjari et al. 2008) et comme une bonne alternative aux marqueurs moléculaires (Hailu et al. 2010). Dans cette optique s'intègre l'objectif de cette étude qui s'intéressera à la caractérisation morphologique de quelques accessions de blé dur collectées au sud tunisien essentiellement des régions de Gabès et de Médenine. Cette caractérisation a été faite en regroupant les normes internationales de l'IPGRI avec celle de l'UPOV pour avoir le plus grand nombre de caractères liés à l'épi et au grain. Cette étude vise également à l'analyse de la diversité phénotypique des accessions de blé dur selon les différents gouvernorats, localités et sites de collecte dans l'objectif de déterminer des lieux appropriés pour la conservation *in situ* du patrimoine génétique de blé dur.

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal caractérisé est issue d'une prospection effectuée par le groupe Céréales et Légumineuses Alimentaires de la Banque Nationale de Gènes, dans des régions du sud tunisien. Au total neuf cent trente (930) épis du blé dur (*Triticum turgidum* ssp. *durum* L.) ont fait l'objet de cette étude et qui ont été collectés de onze (11) sites appartenant à différentes localités des gouvernorats de Gabès et de Médenine (Tableau 1).

Tableau 1. Nombre et origine des accessions étudiées.

Gouvernorats	Localités	Sites	Topographies	Longitudes	Latitudes	Altitudes	Nombre d'accessions
Gabès		7	Plaine	9°41'58,4''E	34°11'51,2''N	112,2	111
	Menzel Habib	8	Plaine	9°42'32,7''E	34°11'55,9''N	102	127
		9	Plaine	9°42'32,7''E	34°11'55,9''N	102	42
		11	Plaine	9°42'32,7''E	34°11'55,9''N	102	11
		15	Plaine	9°42'00,4''E	34°11'36,7''N	105,1	32
	Hamma	19	Plaine	9°39'58,1''E	34°00'38,4''N	73	108
Médenine	Toujène	50	Accidenté	10°03'06,3''E	33°37'49,9''N	177,3	161
	Sidi	23	Tabia	10°27'45,0''E	33°34'13,8''N	44,8	72
	Makhlouf	27	Accidenté	11°04'44,4''E	33°24'03,2''N	17,5	113
	Hnichette	41	Plaine	11°09'04,6''E	33°20'06,2''N	39,9	141
	Salb	44	Plaine	10°13'08,7''E	33°29'54,5''N	184,9	12

2.2. Description morphologique

La caractérisation morphologique des accessions a été effectuée selon des normes internationales, particulièrement celles de l'Institut International des Ressources Phytogénétiques (IPGRI 1985) nommé actuellement 'International Bioversity' et de l'Union de Protection des Obtentions Végétales (UPOV 1988), moyennant 22 caractères qualitatifs et 3 caractères quantitatifs (Tableau 2). Les caractères étudiés se rapportent essentiellement à l'épi et au grain dont chacun présente différents états.

2.3. Analyse statistique

2.3.1. Indice relatif de diversité phénotypique

L'indice relatif de diversité de Shannon et Weaver (Shannon et Weaver, 1949), comme décrit par Jain et al. (1975) a été calculé dans l'objectif de déterminer la diversité phénotypique de la collection de blé dur étudiée, de dévoiler le degré de polymorphisme des 25 caractères analysés et de déceler la distribution de la diversité selon les sites, les localités et les gouvernorats de prospection. Il est opportun de signaler que chaque état de caractère est défini en tant qu'une classe phénotypique distincte. De ce faite, les caractères quantitatifs (le nombre d'épillets par épi, la longueur de l'épi à l'exclusion des barbes et le nombre de grains par épillets) ont été convertit en trois classes

phénotypiques distinctes à savoir: faible, moyenne et élevé. L'indice de Shannon et Weaver a été calculé selon la formule suivante:

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i$$

Avec:

H = Indice de diversité de Shannon et Weaver

P_i = Fréquence de chaque classe phénotypique *i* d'un caractère donné

n = Nombre de classes phénotypiques de chaque caractère

L'indice (H) est converti vers l'indice relatif de diversité phénotypique (H') en le divisant par sa valeur maximale H_{max} (Ln (n)) afin d'obtenir des valeurs comprises entre 0 et 1.

$$H' = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i / \ln(n)$$

L'indice relatif de diversité (H') atteint sa valeur minimale qui est égale à zéro pour les caractères monomorphes. Par ailleurs, la valeur de cet indice augmente avec le degré de polymorphisme et atteint une valeur maximale (1) lorsque toutes les classes phénotypiques présentes des fréquences égales.

Tableau 2. Classes phénotypiques et nature des caractères étudiés

Caractères	Etats	Nature
Couleur de l'épi	Blanc, faiblement coloré, fortement coloré	Qualitatif
Forme de l'épi	Pyramidal, à bord parallèle, en demie massue, en massue, fusiforme	Qualitatif
Compacité de l'épi	très lâche, lâche, intermédiaire, compact, très compact	Qualitatif
Longueur barbes par rapport à l'épi	plus courtes, de même longueur, plus longues	Qualitatif
Pilosité du premier article	nulle ou très faible, faible, moyenne, fortement colorée, très forte	Qualitatif
Glaucescence du col de l'épi	nulle ou très faible, faible, moyenne, fortement colorée, très forte	Qualitatif
Glaucescence de l'épi	nulle ou très faible, faible, moyenne, fortement colorée, très forte	Qualitatif
Longueur de l'épi sans barbes	court (< 6cm), moyenne (6 - 9 cm), long (>9 cm)	Quantitatif
Longueur des barbes	très courts, courts, intermédiaires, longs, très longs	Qualitatif
Couleur des barbes	Blanchâtre, brun pâle, brune, noire	Qualitatif
Pigmentation des barbes	nulle ou très faible, faible, moyenne, forte, très forte	Qualitatif
Distribution des barbes	sans barbes, à l'extrémité, sur la moitié supérieure, sur toute la longueur	Qualitatif
Nombre d'épillets par épi	faible (<15), moyen (16 -22), élevé (>23)	Quantitatif
Couleur des glumes	blanc jaunâtre, brun / rouge, gris, noir, autres	Qualitatif
Pilosité des glumes	Nulle, dispersé, intermédiaire, forte	Qualitatif
Forme de la glume inférieure	Ovoïde, allongée, fortement allongée	Qualitatif
Forme du bec	Droit, légèrement coudé, demi coudé, fortement coudé	Qualitatif
Longueur du bec	très court, court, moyen, long, très long	Qualitatif
Forme de troncature	Inclinée, arrondie, droite, échancrée, échancrée avec 2 becs	Qualitatif
Largeur de la troncature	Étroite, moyenne, large	Qualitatif
Couleur du grain	jaune blanchâtre, jaune orangé, légèrement brun, marron/rouge, marron, sombre, pourpre, autres	Qualitatif
Forme du grain	Ovoïde, demi allongé, allongé	Qualitatif
Taille du grain	Petit, intermédiaire, grand, très grand	Qualitatif
Longueur des poils de la brosse	Court, moyen, faible	Qualitatif
Nombre de grain par épillets	Faible (<2), moyen (2-3), élevé (>3)	Quantitatif

2.3.2. Analyse factorielle par correspondance (AFC)

L'analyse factorielle par correspondance est une analyse multidimensionnelle qui permet l'analyse des liens entre les variables qualitatives et permet d'avoir une vision synthétique sur la structuration entre les différentes accessions de blé dur. Cette analyse statistique a été effectuée par le logiciel SAS (Statistical Analysis System) version 9.

3. Résultats et discussion

3.1. Indice relatif de diversité des différents caractères

L'indice relatif de diversité (H'_{moyen}) de l'ensemble des accessions étudiées est de l'ordre de 0,53 (Tableau 3) reflétant la grande diversité morphologique des épis de cette collection. Cette diversité est proche de celle obtenue par Al Khanjari et al. (2008) au sein d'une population autochtone de blé dur d'Oman avec un indice de 0,52. La diversité élevée de la collection étudiée est due principalement à la présence de plusieurs caractères polymorphes. Particulièrement, la forme du grain (H' = 0,98), la

largeur de la troncature ($H' = 0,97$) et la couleur de l'épi ($H' = 0,92$) ont été les caractères les plus diversifiés. Ces résultats sont en partie corroborés avec ceux de Bechere et al. (1996) qui ont conclu que la forme du grain est le caractère le plus polymorphe ($H' = 0,96$) chez les blés durs d'Ethiopie. Cependant, Al Khanjari et al. (2008) ont rapporté que la forme de l'épi et la couleur des barbes sont les caractères qualitatifs les plus polymorphes. Par ailleurs, certains caractères ont été représentés majoritairement par une classe phénotypique donnée telle que la compacité intermédiaire de l'épi. Ce résultat est comparable à celui observé chez des populations autochtones de blé dur d'Oman (Al Khanjari et al. 2008) et d'Ethiopie (Bechere et al. 1996). En outre, les épis à bords parallèles et les barbes très longues de couleur noire sont les classes phénotypiques les plus rencontrées dans cette collection. Ces résultats ne sont pas en concordance avec ceux obtenus par Othmani et al. (2015) et Zarkti et al. (2012) qui ont rapporté que la forme pyramidale des épis est la plus abondante respectivement dans une collection de blé dur tunisienne et marocaine. En ce qui concerne les caractères liés aux glumes, la collection étudiée a montré une dominance pour la forme allongée des glumes et une légère dominance pour les glumes de pilosité nulle (glumes glabres). En étudiant la diversité des populations du blé dur d'Ethiopie, Tesemma et al. (1991) ont observé un monomorphisme des glumes de pilosité nulle, tandis que Al Khanjari et al. (2008) ont remarqué une fréquence plus élevée des glumes poilues dans la collection de blé dur d'Oman. Sachant que la pilosité des glumes est un caractère mono-génique dominant (McIntoch 1988), la dominance des glumes glabres suggère ainsi la présence d'une sélection désavantageuse liée à ce gène. Le rôle de la pilosité des glumes dans l'adaptation du blé n'est pas bien élucidé, mais certains auteurs ont rapporté son association à la résistance contre les insectes et les ravageurs (Warham 1988; Negassa 1986). Outre ces caractères, les accessions de blé dur étudiées ont montré une dominance de la couleur jaune orangé des grains. Dans ce sens, Al Khanjari et al. (2008) ont trouvé que les grains rouge brun sont les plus répandus dans la collection d'Oman, tandis que Bechere et al. (1996) ont noté la présence de toutes les classes phénotypiques dans une collection de blé dur d'Ethiopie, de la coloration jaune jusqu'à la coloration pourpre. La prédominance de ces couleurs pourrait dépendre de l'utilisation ultérieure de ces blés. Ceci a été également expliqué par Demissie et Bjornstad (1996) et Whan et al. (2014) qui ont remarqué l'existence d'une étroite association entre la couleur des grains de blé et d'orge, et la consommation humaine. Durant cette étude, il s'est avéré également que les caractères quantitatifs ($H' = 0,74$) sont plus diversifiés que les caractères qualitatifs ($H' = 0,50$) comme il a été aussi rapporté par Al Khanjari et al. (2008).

Tableau 3. Indice relatif de diversité des différents caractères étudiés

Caractère	(H')
Couleur de l'épi	0,92
Forme de l'épi	0,59
Compacité de l'épi	0,33
Longueur des barbes par rapport à l'épi	0,07
Pilosité du premier article du rachis	0,19
Glaucescence du col de l'épi	0,13
Glaucescence de l'épi	0,59
Longueur de l'épi sans barbes	0,74
Longueur des barbes	0,07
Couleur des barbes	0,65
Pigmentation des barbes	0,68
Distribution des barbes	0,00
Nombre d'épillets par épi	0,65
Couleur des glumes	0,75
Pilosité des glumes	0,53
Forme de la glume inférieure	0,02
Forme du bec	0,53
Longueur du bec	0,75
Forme de la troncature	0,58
Largeur de la troncature	0,97
Couleur du grain	0,74
Forme du grain	0,98
Taille du grain	0,44
Longueur des poils de la brosse	0,80
Nombre de grains par épillet	0,85
H' _{moyen}	0,53

3.2. Indice relatif de diversité des différents caractères selon les gouvernorats de Gabès et de Médenine

L'indice de Shannon et Weaver a été calculé pour les différents caractères dans les deux gouvernorats prospectés à savoir: Gabès et Médenine (Tableau 4). La région de Gabès a présenté un indice de diversité moyen de l'ordre de 0,55; une valeur légèrement plus élevée à celle observée dans la région de Médenine ($H'_{\text{moyen}} = 0,40$). A l'opposé, Al Khanjari et al. (2008) ont montré une diversité phénotypique différentielle des populations autochtones de blé dur d'Oman selon les régions en se basant sur quinze caractères qualitatifs et dix-sept caractères quantitatifs. Un résultat similaire a également obtenu par Rawashdeh et al. (2007) en étudiant la diversité phénotypique des accessions de blé dur de la Jordanie en se basant sur quatorze caractères agro-morphologiques.

Il est également opportun de noter que le degré de polymorphisme de certains caractères diffère nettement d'une région à une autre, notamment la couleur de l'épi, la forme de la troncature et la forme du grain. En effet, l'indice de diversité pour la couleur de l'épi est passé de 0,99 pour la région de Gabès à 0,27 pour la région de Médenine où une dominance des épis fortement colorés a été notée. A l'opposé, la forme de la troncature a présenté un polymorphisme plus élevé dans la région de Médenine ($H' = 0,98$) alors qu'il est de l'ordre de $H' = 0,55$ pour la région de Gabès suite à la dominance de la forme arrondie de la troncature. Ces résultats pourraient ainsi révéler une spécificité morphologique des populations autochtones de blé dur à l'échelle du gouvernorat suite à la présence d'une étroite liaison entre certaines classes phénotypiques et des régions bien déterminées.

Tableau 4. Variation de l'indice relatif de la diversité des différents caractères selon les régions

Caractères	Indice relatif de diversité (H')	
	Gabès	Médenine
Couleur de l'épi	0,99	0,28
Forme de l'épi	0,69	0,28
Compacité de l'épi	0,37	0,28
Longueur des barbes par rapport à l'épi	0,09	0,00
Pilosité du premier article du rachis	0,24	0,00
Glaucescence du col de l'épi	0,16	0,00
Glaucescence de l'épi	0,70	0,00
Longueur de l'épi à l'exclusion des barbes	0,75	0,94
Longueur des barbes	0,09	0,00
Couleur des barbes	0,53	0,67
Pigmentation des barbes	0,50	0,62
Distribution des barbes	0,00	0,00
Nombre d'épillets par épi	0,54	0,68
Couleur des glumes	0,64	0,81
Pilosité des glumes	0,64	0,00
Forme de la glume inférieure	0,03	0,00
Forme du bec	0,71	0,75
Longueur du bec	0,78	0,72
Forme de la troncature	0,56	0,98
Largeur de la troncature	0,96	0,98
Couleur du grain	0,78	0,99
Forme du grain	0,99	0,28
Taille du grain	0,53	0,00
Longueur des poils de la brosse	0,92	0,00
Nombre de grains par épillet	0,63	0,97
H'_{moyen}	0,55	0,40

3.3. Indice relatif de diversité des différents caractères selon les différentes localités

L'indice de diversité a été déterminé pour les différentes localités prospectées, notamment Menzel Habib, El Hamma et Toujène de la région de Gabès et Sidi Makhlouf, Hnicherette et Salb de la région de Médenine (Tableau 5). Durant cette étude, la localité Menzel Habib a présenté la plus grande diversité ($H'_{\text{moyen}} = 0,56$) suivie par Toujène ($H'_{\text{moyen}} = 0,31$) et Sidi Makhlouf ($H' = 0,22$) qui ont présenté une diversité moyenne, puis par les localités Hnicherette ($H'_{\text{moyen}} = 0,16$), El Hamma ($H'_{\text{moyen}} = 0,09$) et Salb ($H'_{\text{moyen}} = 0,06$) qui ont été caractérisées par une faible diversité. Ces résultats ont montré ainsi que les localités du même gouvernorat, notamment celle de Gabès sont assez variables.

La diversité élevée obtenu à Menzel Habib est régie par un polymorphisme élevé de plusieurs caractères. A titre d'exemple, la couleur des épis de blé dur collectés à Menzel Habib ont présenté toute la panoplie de coloration, alors que les épis des autres localités ont été caractérisés par une classe phénotypique bien déterminée. En effet, les populations des deux localités El Hamma et Salb ont présenté des épis de couleur blanchâtre, alors que Toujène a surtout montré des épis faiblement colorés. Les accessions appartenant à la localité Hnicherette ont été caractérisées par des épis fortement colorés. Plusieurs facteurs pourraient expliquer la différence des fréquences des trois classes phénotypiques de la couleur de l'épi selon les localités, notamment, les facteurs naturels tel que l'adaptation aux conditions locales et les facteurs humains essentiellement la préférence des agriculteurs.

Vu l'importance de la conservation *in situ* dans le maintien de l'intégrité génétique des populations locales et dans la conservation de leur potentiel évolutif, il serait également intéressant d'identifier des zones appropriées à ce type de conservation. Ainsi, la grande diversité observée au niveau de Menzel Habib fait de ce site un lieu exceptionnellement adéquat pour cette conservation dynamique.

Tableau 5. Indice relatif de diversité des différents caractères selon les différentes localités.

Caractères	Indice relatif de diversité (H')					
	Menzel Habib	El Hamma	Toujane	Sidi Makhlouf	El Hnicherette	Salb
Couleur de l'épi	0,91	0,23	0,20	0,00	0,00	0,00
Forme de l'épi	0,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Compacité de l'épi	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Longueur des barbes par rapport à l'épi	0,03	0,00	0,26	0,00	0,00	0,00
Pilosité du premier article du rachis	0,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Glaucescence du col de l'épi	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Glaucescence de l'épi	0,70	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00
Longueur de l'épi sans barbes	0,47	nd	0,97	0,97	nd	0,00
Longueur des barbes	0,03	0,00	0,26	0,00	0,00	0,87
Couleur des barbes	0,67	0,00	0,49	0,87	0,51	0,87
Pigmentation des barbes	0,52	0,00	0,49	0,87	0,51	0,00
Distribution des barbes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nombre d'épillets par épi	0,47	0,67	0,69	0,98	0,51	0,00
Couleur des glumes	0,72	0,00	0,05	0,78	0,42	0,00
Pilosité des glumes	0,61	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
Forme de la glume inférieure	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Forme du bec	0,49	0,00	0,94	0,00	0,00	0,00
Longueur du bec	0,78	0,23	0,97	0,98	0,84	0,00
Forme de la troncature	0,72	0,08	0,78	0,00	0,37	0,00
Largeur de la troncature	0,99	0,23	0,98	0,00	0,40	0,00
Couleur du grain	0,72	0,19	0,63	0,00	0,44	0,00
Forme du grain	0,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Taille du grain	0,99	0,08	0,05	0,00	0,00	0,00
Longueur des poils de la brosse	0,97	0,23	0,05	0,00	0,00	0,00
Nombre de grains par épillet	0,07	0,23	0,00	0,00	0,15	0,00
H² moyen	0,56	0,09	0,31	0,22	0,16	0,06

nd: non déterminé

3.4. Variation de l'indice de diversité selon les différents sites de collecte

L'indice relatif de diversité a été calculé pour les 11 sites de collecte qui représente chacune une population (Tableau 6). Avec la présence de 24 caractères polymorphes parmi les 25 caractères étudiés, les accessions provenant du site 7 ont présenté la plus grande diversité phénotypique avec un indice de diversité de 0,55, suivie par les sites 8 ($H' = 0,41$) et 9 ($H' = 0,41$). Par contre, l'ensemble des accessions relatives aux sites 19 et 44 ont été caractérisées par un grand nombre de caractères monomorphes (23 caractères), ce qui s'est traduit par des faibles indices de diversité (0,09 et 0,06 respectivement).

Il est également opportun de signaler que certains caractères ont présentés un polymorphisme élevé dans une population bien déterminée. En effet, l'ensemble des accessions provenant du site 7 s'est distinguée par un indice de diversité très élevé pour les deux caractères: forme de l'épi (0,96) et taille

du grain (0,91). Les accessions collectées du site 8 se sont caractérisées par un polymorphisme élevé au niveau de la compacité de l'épi ($H' = 0,99$). La population relative au site de collecte 9 a présenté un indice relatif de diversité très élevé au niveau de la couleur des glumes ($H' = 0,99$) et de la couleur du grain ($H' = 0,96$).

Cette étude a permis de mettre en évidence, pour des accessions appartenant au site 8, une panoplie de coloration pour les glumes et les barbes (Figure 1). Les champs de blé dans le sud tunisien sont très divers, en effet, la culture de mélange variétal par les petits agriculteurs depuis des temps immémoriaux a permis de constater qu'il est rare de trouver un champ suffisamment homogène pour pouvoir le considérer comme représentant d'une variété. Cette variabilité morphologique pourrait être expliquée par une fécondation croisée spontanée entre les génotypes indigènes. En effet, bien que le blé dur soit essentiellement une espèce autogame, il présente un taux d'allogamie moyen inférieur à 1% (Lawrie et al. 2006) et qui peut varier selon les populations, les génotypes et les différentes conditions du milieu et de culture. Brink et Belay (2006) ont pu même enregistrer des taux de fécondation croisée de blé dur éthiopien allant jusqu'à 4,3%. En outre, les conditions de sécheresse du sud Tunisien peuvent favoriser d'avantage le croisement spontané entre les génotypes comme rapporté par Bozzini (1988), tandis que l'humidité favorise l'autofécondation.

Tableau 6. Indice de diversité H' des différentes populations relatives aux sites de collecte.

Caractère	Indice relatif de diversité (H')											
	Site 7	Site 8	Site 9	Site 11	Site 15	Site 19	Site 23	Site 27	Site 41	Site 44	Site 50	
Couleur de l'épi	0,92	0,28	0,00	0,68	0,34	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	
Forme de l'épi	0,96	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Compacité de l'épi	0,62	0,99	0,00	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Longueur des barbes par rapport à l'épi	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	
Pilosité du premier article du rachis	0,48	0,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Glaucescence du col de l'épi	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Glaucescence de l'épi	0,61	0,81	0,00	0,00	0,34	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Longueur de l'épi sans barbes	0,60	0,31	nd	0,68	0,25	nd	0,84	0,97	nd	0,00	0,96	
Longueur des barbes	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	
Couleur des barbes	0,65	0,35	0,00	0,68	0,34	0,00	0,00	0,00	0,51	0,87	0,49	
Pigmentation des barbes	0,58	0,16	0,99	0,68	0,34	0,00	0,00	0,00	0,51	0,87	0,50	
Distribution des barbes	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Nombre d'épillets par épi	0,94	0,33	0,29	0,72	nd	0,67	0,92	0,92	0,51	0,00	0,69	
Couleur des glumes	0,34	0,29	0,99	0,68	0,00	0,00	0,00	0,78	0,42	0,00	0,05	
Pilosité des glumes	0,67	0,77	0,86	0,00	0,34	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Forme de la glume inférieure	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Forme du bec	0,72	0,40	0,97	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,94	
Longueur du bec	0,76	0,74	0,99	0,85	0,34	0,23	0,00	0,98	0,84	0,00	0,97	
Forme de la troncature	0,71	0,46	0,70	0,83	0,00	0,08	0,00	0,00	0,37	0,00	0,78	
Largeur de la troncature	0,97	0,99	0,88	0,68	0,00	0,23	0,97	0,00	0,40	0,00	0,98	
Couleur du grain	0,16	0,21	0,96	0,68	0,34	0,19	0,00	0,00	0,44	0,00	0,63	
Forme du grain	0,44	0,96	0,99	0,00	0,34	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	
Taille du grain	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	
Longueur des poils de la brosse	0,95	0,60	0,99	0,68	0,34	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	
Nombre de grains par épillet	0,07	0,11	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	
H' moyen	0,55	0,41	0,41	0,34	0,14	0,09	0,13	0,14	0,16	0,06	0,31	

nd: non déterminé

3.5. Indice relatif de diversité des différents caractères selon les topographies

Le calcul de l'indice de Shannon et Weaver a présenté une nette différence du niveau de la diversité selon les topographies des zones prospectées (Tableau 7). En effet, les accessions collectées dans des plaines ont présenté l'indice relatif de diversité le plus élevé ($H'_{moyen} = 0,55$), suivie par les sols accidentés ($H'_{moyen} = 0,36$) et la tabia ($H'_{moyen} = 0,13$). Il s'est avéré également que le polymorphisme de certains caractères a été lié à une topographie bien déterminée. En effet, les plaines se sont distinguées par une diversité relativement élevée pour les caractères se rapportant à l'épi et au grain tel que la forme de l'épi ($H' = 0,7$), la compacité de l'épi ($H' = 0,43$), la taille du grain ($H' = 0,86$), le nombre de grains par épillet ($H' = 0,98$) et la longueur des poils de la brosse ($H' = 0,87$). Par ailleurs, les indices de diversité des caractères liés à la glume, notamment la forme du bec ($H' = 0,97$) et de la

troncature ($H' = 0,99$), et la longueur du bec ($H' = 0,99$) ont été nettement plus élevés au niveau des terrains accidentés.

L'analyse de la diversité phénotypique d'un germoplasme de blé en relation avec les données topographiques n'a jamais été décrite, mais elle est fréquemment étudiée selon les altitudes des terrains cultivés. A titre d'exemple, Kebebew et al. (2001) et Mengistu et al. (2015) ont montré que le degré de polymorphisme des populations de blé dur d'Ethiopie est variable selon les altitudes. L'ensemble de ces données suggère ainsi que les conditions pédo-géographiques du milieu peuvent être impliquées dans la diversification du patrimoine génétique de blé dur.

Tableau 7. Indice relatif de diversité des caractères étudiés selon les différentes topographies

Caractères	Indice relatif de diversité (H')		
	Accidenté	Plaine	Tabia
Couleur de l'épi	0,71	0,86	0,00
Forme de l'épi	0,00	0,76	0,00
Compacité de l'épi	0,00	0,43	0,00
Lg barbes par rapport à l'épi	0,18	0,02	0,00
Pilosité du premier article	0,00	0,26	0,00
Glaucescence du col de l'épi	0,00	0,18	0,00
Glaucescence de l'épi	0,00	0,75	0,00
Longueur de l'épi sans barbes	0,97	0,46	0,84
Longueur des barbes	0,18	0,02	0,00
Couleur des barbes	0,35	0,76	0,00
Pigmentation des barbes	0,72	0,54	0,00
Distribution des barbes	0,00	0,00	0,00
Nombre d'épillets par épi	0,87	0,52	0,92
Couleur des glumes	0,80	0,66	0,00
Pilosité des glumes	0,00	0,68	0,00
Forme de la glume inférieure	0,00	0,03	0,00
Forme du bec	0,97	0,52	0,00
Longueur du bec	0,99	0,83	0,00
Forme de la troncature	0,99	0,54	0,00
Largeur de la troncature	0,95	0,84	0,97
Couleur du grain	0,46	0,45	0,00
Forme du grain	0,00	0,99	0,70
Taille du grain	0,04	0,86	0,00
Longueur des poils de la brosse	0,04	0,87	0,00
Nombre de grains par épillet	0,00	0,98	0,00
H'^2_{moyen}	0,36	0,55	0,13

3.6. Analyse factorielle par correspondance

L'analyse factorielle par correspondance a été effectuée afin de déterminer les ressemblances et les dissemblances entre les accessions étudiées en discernant les différents groupes des accessions de blé dur (Figure 2). La présente étude (Tableau 8) s'est intéressée aux deux premiers facteurs principaux qui absorbent à eux seuls 33,8% de la variabilité totale. Le premier axe, expliquant 20,4% de la variation totale, est corrélé positivement avec la longueur de l'épi à l'exclusion des barbes, le nombre d'épillets par épi et la pilosité des glumes, et négativement avec la pigmentation anthocyanique des barbes, la couleur des barbes, la couleur des glumes et la couleur des grains. Le deuxième axe, dégageant 13,4% de la variabilité totale, est corrélé positivement avec la couleur et la forme de l'épi, la couleur des glumes, la taille du grain, et la longueur des poils de la brosse. D'après la figure 2, cinq groupes d'accessions peuvent être discernés:

Groupe 1: Ce groupe est scindé en trois sous-groupes à savoir:

Le sous-groupe 1.1: représenté par les accessions 227, 228, 229 et 231. Ces accessions se caractérisent par des barbes et des glumes de couleur noire, une faible pilosité des glumes et du premier article du rachis, une compacité intermédiaire, une troncature droite et un bec très court.

Le sous-groupe 1.2: formé par les accessions 261, 262 et 263. Ces accessions se distinguent par des glumes brunes, des troncatures arrondies et des barbes brunes.

Le sous-groupe 1.3: renfermant les accessions 192 et 194, et les accessions allant de 232 jusqu'à 280. Ces différentes accessions ont présenté des épis fortement colorés, une pilosité nulle des glumes, des barbes de couleur brunes et des grains ayant une brosse à poils longs.

Groupe 2: formé par les accessions 117, 118, 119, 121, 124, 125, 147 et 148. Ce groupe se caractérise particulièrement par une pilosité forte des glumes, des épis fusiformes, une pigmentation forte des barbes et des grains jaunes orangés.

Groupe 3: clausure les accessions 1159, 1160, 1161, 1162, 1163, 1164 et 1165. Ces accessions ont présenté des épis à bords parallèles, des glumes à pilosité nulle, des barbes de couleur brun pâle et de même longueur que l'épi et des grains légèrement bruns.

Groupe 4: formé de l'accession 114 qui a présenté des caractéristiques communes avec les accessions appartenant aux groupes 2 et 3 essentiellement pour la longueur des barbes (groupe 2) et la pilosité des glumes (groupe 3). Cette accession a présenté aussi des barbes de couleur blanche et des grains jaunes orangés.

Groupe 5: représente le reste des accessions qui forment une agglomération au centre du graphique.

Cette analyse a montré que la ségrégation des différentes accessions étudiées ne dépend pas des sites de collecte, mais uniquement des caractères discriminatoires. Dans notre cas, la couleur de l'épi, la couleur et la pilosité des glumes, la couleur et la longueur des barbes, et la longueur des poils de la brosse du grain ont été les caractères les plus discriminants permettant la distinction des différentes accessions. Dans ce contexte, Kebebew et al. (2001) ont rapporté que la distinction des variétés autochtones éthiopiennes du blé dur ne s'est pas basée sur la localisation de la collecte. Les groupes majeurs identifiés à partir d'une classification hiérarchique rassemblent à la fois des variétés des deux régions, Balé et le nord de Shewa.

Tableau 8: Corrélation des caractères avec les deux premiers facteurs.

Caractères	Facteur1	Facteur2
Couleur de l'épi	-0.47710	0.66930
Forme de l'épi	0.46650	0.54004
Pilosité du premier article	0.32628	0.36671
Compacité de l'épi	0.34546	0.17158
Pigmentation des barbes	-0.73542	0.43861
Glaucescence du col de l'épi	0.17550	0.06148
Longueur des barbes	-0.22287	0.46325
Glaucescence de l'épi	0.57682	0.39902
Longueur des barbes par rapport à l'épi	-0.22287	0.46325
Couleur des barbes	-0.63143	0.01310
Longueur de l'épi sans barbes	0.65147	0.11099
Nombre d'épillets par épi	0.66271	-0.03439
Couleur des glumes	-0.64516	0.49703
Pilosité des glumes	0.54235	0.23961
Forme de la glume inférieure	0.06344	0.01407
Largeur de la troncature	-0.30952	0.38648
Forme de troncature	-0.46008	0.17397
Longueur du bec	0.08458	-0.17228
Forme du bec	0.15027	0.31780
Couleur du grain	-0.61447	0.00411
Taille du grain	0.51895	0.48398
Forme du grain	0.46594	0.45428
Longueur des poils de la brosse	0.12636	0.62055
Nombre de grain par épillets	0.16863	-0.27926

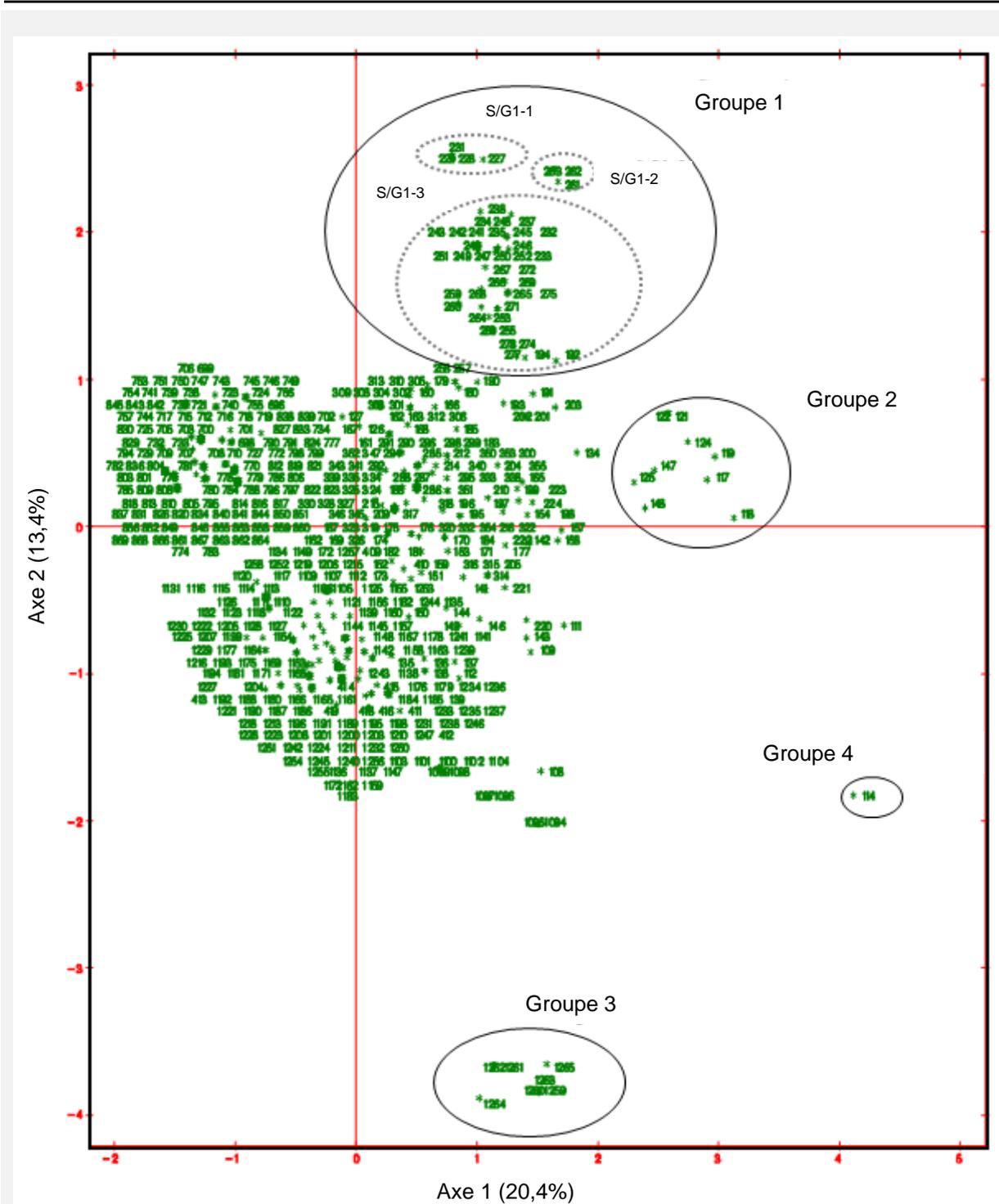


Figure 2. Dispersion des différentes accessions sur le plan engendré par les deux axes 1 et 2.

4. Conclusion

Les données de cette étude ont montré que la collection de blé dur étudiée présente une grande diversité, suite à la présence de caractères hautement polymorphes. Particulièrement, la couleur de l'épi, la couleur et la pilosité des glumes, la couleur et la longueur des barbes, et la longueur des poils de la brosse du grain ont été les caractères les plus discriminants. Cette étude a permis aussi de déterminer des lieux de conservation *in situ*. Une 'core collection' regroupant le maximum de la diversité pourrait être aussi déterminé à partir de cette collection et faire l'objet des programmes d'amélioration génétique.

Remerciements

Cette étude a été financée par la Banque Nationale des Gènes de Tunisie. Nous tenons à remercier Kawther Bousselmi pour sa précieuse aide dans les analyses statistiques.

5. Références

- Al Khanjari S, Filatenko A, Hammer K, Burekert A (2008)** Morphological Spike diversity of Omani wheat. *Genet Resour Crop* vol 55: 1185-1195.
- Bechere E, Belay G, Mitiku D, Merker A (1996)** Phenotypic diversity of tetraploid wheat landraces from northern and north – central regions of Ethiopia. *Hereditas* 124: 165-172.
- Bozzini A (1988)** Origin, distribution and production of durum wheat in the world. In “la Biologie du *Triticum turgidum* ssp. *durum*”. Document de biologie BIO2006. Agence canadienne d’inspection des aliments : p13.
- Brink M, Belay G (2006)** Céréales et légumes sèches. Ressources végétales de l’Afrique tropicale PROTA, France: 327p.
- Cauderon A (1986)** Ressources génétiques et botaniques. *Bull Bot France* 133: 7-13.
- Deghaïs M, Kouki M, Gharbi MS, El Faleh M (2007)** Les variétés des céréales cultivées en Tunisie (blé dur, blé tendre, orge et triticale) (Edition 2007), Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie, Tunis: 445p.
- Demissie A, Bjornstad A (1996)** Phenotypic diversity of Ethiopian barleys in relation to geographical regions, altitudinal range, and agro-ecological zones: as an aid to germplasm collection and conservation strategy. *Hereditas* 124: 17-29.
- Direction Générale de la Production Agricole (DGPA) (2013)** Ministère de l’Agriculture et des ressources Hydrauliques.
- Donald L, Nigelsmith JH, Williams JT, Murthi N (1990)** Banques de gènes et alimentation mondiale, INRA, ISBN Paris: 228 p.
- Hailu F, Merker A, Johnsson E (2010)** Patterns of phenotypic diversity for phenologic and qualitative traits in Ethiopiadurum wheat germplasm. *Genet. Resour. Crop. Evol.* 53: 1089–1098.
- IPGRI (1985)** Descriptors for wheat. International Board for Plant Genetic Resources, Rome, Italy.
- Jain SK, Qualset CO, Bhatt GM, Wu KK (1975)** Geographical patterns of phenotypic diversity in a world collection of durum wheat. *Crop Sci* 15: 700-704.
- Kebebew F, Tsehaye Y, McNeilly T (2001)** Diversity of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) at *in situ* conservation sites in North Shewa and Bale, Ethiopia. *J. Agr. Sci.* 136: 383-392.
- Lawrie RG, Matus MA, Hucl P (2006)** Estimating out-crossing rates in spring wheat cultivars using the contact method. *Crop sci.* 46: 247-249.
- Mengistu DK, Kiros AY, Pè ME (2015)** Phenotypic diversity in Ethiopian durum wheat (*Triticum turgidum* var. *durum*) landraces. *Crop J.* 3: 190-199.
- McIntosh R (1988)** A catalogue of gene symbols for wheat. In: Miller TE, Koebner RMD (eds) Proc. Seventh Int. Wheat Generics Symposium, Cambridge, pp. 1225-1323.
- Negassa M (1986)** Estimates of phenotypic diversity and breeding potential of Ethiopian wheats - *Hereditas* 104: 41-48.
- Othmani A, Mosbahi M, Ayed S, Slim-Amara H, Boubaker M (2015)** Morphological characterization of some Tunisian bread wheat (*Triticum aestivum* L.) accessions. *J. New Sci.* 15(3): 503-510.
- Rawashdeh NK, Haddad NI, Al-Ajlouni MM, Turk MA (2007)** Phenotypic diversity of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) from Jordan. *Genet. Resour. Crop Ev.* 54: 129-138.
- Shannon CE, Weaver W (1949)** The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana
- Tesemma T, Belay G, Worede M (1991)** Morphological diversity in wheat landrace populations from central highlands of Ethiopia. *Hereditas* 144: 172-176.
- Union Internationale pour la Protection des Obtentions Végétales (UPOV) (1988)** Principes directeurs pour la conduite de l’examen des caractères distinctifs, de l’homogénéité et de la stabilité, blé dur: 3-32.
- Whan AP, Smith AB, Cavanagh CR, Ral JPF, Shaw LM, Howitt CA, Bischof L (2014)** Grain Scan: a low cost, fast method for grain size and colour measurements. *Plant Methods* 10: 23.
- Warhame J (1988)** Screening for karnal bunt (*Tilletia indica*) resistance in wheat, Triticale, rye and barley. *Can. J. Plant. Pathol.* 10: 57-60.
- Zarkti H, Ouabbou H, Udupa MS, Gaboun F, Hilali A (2012)** Agro-morphological variability in durum wheat landraces of Morocco. *Aust. J. Crop Sci.* 6(7): 1172-1178.