

Study of the Genetic Diversity of Quality Parameters of Fourteen Varieties of Durum Wheat (*Triticum durum*) grown in Tunisia

Etude de la Diversité Génétique des Paramètres de la Qualité technologique de Quatorze Variétés de Blé Dur (*Triticum durum*) cultivées en Tunisie

R. HAMMAMI^{1*}, B. AYADI², B. BARGAOU¹, M. MNAJJA¹, M. S. GHARBI¹

¹ National Institute of Agronomy Researches -Tunis (INRAT)

² La Société Meunière Tunisienne-RANDA

*Corresponding author : rifkahammami82@gmail.com

Abstract – This study aimed to assess the technological quality of fourteen varieties of Tunisian durum wheat including five landraces, seven improved varieties and two varieties recently developed by the national program. The characterization of the studied varieties was based on the results of the sedimentation test (SDS), the total protein content, the yellow pigments, the test weight, the thousand kernels, yellow berry rate, the water content and the grain yield. The results of the grains yield, test weight and thousand kernels weight demonstrated the performance of the improved varieties compared to the landraces. Local varieties have shown superiority for protein content, while the higher gluten strength values have been observed in improved varieties. The yellowness as a biochemical indicator of durum wheat quality showed the potential of the varieties being recorded compared to the rest of the material studied. The inter-varietal genetic diversity estimated by the calculation of the Euclidean distance allowed classifying the varieties into three different clusters with distances ranging from 1.99 to 27.45. The study of the correlations between the different analyzed parameters showed that the grain yield is negatively correlated with the protein content ($r^2 = -0.65$). Similarly, a negative and highly significant correlation was observed between the gluten strength and the yellow berry rate ($r^2 = -0.56$). Some positive correlations were recorded between the test weight and the thousand-kernel weight ($r^2 = 0.35$) and between the protein content and the sedimentation volume ($r^2 = 0.21$). These results could represent a starting point for a new investigation that aims the identification and the exploitation of some genes responsible for certain quality criteria and the use of this collection in the choice of best parents to include them in our durum wheat breeding program.

Keywords : Quality, Durum wheat, SDS, Proteins, yellowness, Yield

Résumé – La présente étude a visé l'évaluation de la qualité technologique de quatorze variétés du blé dur Tunisien y compris cinq variétés traditionnelles, sept variétés améliorées et deux variétés récemment développées par le programme national et déposées à l'inscription au catalogue officielle des variétés végétales. La caractérisation des variétés étudiées a été basée sur les résultats du test de sédimentation (SDS), la teneur en protéines totales, la richesse en pigments caroténoïdes, le poids spécifique, le poids de mille grains, le taux de mitadinage, la teneur en eau et le rendement en grains. Les résultats du rendement, du poids spécifique et du poids de mille grains ont mis en évidence les performances des variétés améliorées par rapport aux variétés anciennes. Les variétés traditionnelles ont montré une supériorité pour la teneur en protéines, par contre les forces du gluten les plus élevées ont été observées chez les variétés améliorées. L'indice de Jaune comme indicateur biochimique de la qualité du blé dur a montré le potentiel des variétés en cours d'inscription par rapport au reste du matériel étudié. La diversité génétique inter-variétale estimée par le calcul de la distance Euclidienne a permis de distinguer trois clusters différents avec des distances allant de 1.99 à 27.45. L'étude des corrélations entre les différents paramètres analysés a montré que le rendement en grains est négativement corrélé avec la teneur en protéines ($r^2 = -0.65$). De même, Une corrélation négative et hautement significative a été



observée entre la force du gluten et le taux de mitadinage ($r^2=-0.56$). Quelques corrélations positives ont été enregistrées entre le poids spécifique et le poids de mille grains ($r^2=0.35$) et entre le teneur en protéines et le volume de sédimentation ($r^2=0.21$). Ces résultats pourraient représenter un point de départ pour une nouvelle investigation portant sur l'identification et l'exploitation des gènes responsables de certains critères et l'utilisation de cette collection dans le choix des meilleurs parents dans le programme national d'amélioration du blé dur.

Mots clés : Qualité, Blé dur, SDS, Protéines, Indice de Jaune, Rendement

1. Introduction

A l'échelle mondiale, les céréales représentent une denrée alimentaire stratégique. Elles forment de nos jours la principale source de la nutrition humaine et animale (Slama et al. 2005). En Tunisie, la culture des céréales, essentiellement pluviale, reste encore soumise au défi d'un climat aléatoire, à une gouvernance des ressources naturelles erratique et à une lenteur au niveau du transfert de technologies (El Felah et al. 2015). Les céréales constituent la base de la ration alimentaire des Tunisiens. Elles leur procurent environ 54% et 64% en calories et en protéines respectivement. La consommation des céréales par tête d'habitant et par an avoisine 181 Kg, dont 51% de blé dur et 41% de blé tendre (Bachta, 2011). Le blé dur est la principale espèce céréalière cultivée en Tunisie. Il occupe près de 850.000 hectares et est consommé principalement sous forme de pâtes.

Les travaux d'amélioration génétique du blé dur remontent à la fin de XIX^{ème} siècle (Gharbi et El Felah, 2014) et se sont toujours focalisés sur l'amélioration du rendement de la résistance aux stress biotiques et abiotiques et sur l'amélioration des propriétés physico-chimiques pour répondre aux besoins des agriculteurs, des transformateurs et des consommateurs. Bien que les caractères conditionnant la productivité et la qualité du blé dur soient génétiquement contrôlés, plusieurs auteurs rapportent un effet prépondérant de l'environnement sur ces caractères (Williams et al. 2008 ; Tsenov et al. 2010b; Dencic et al. 2011). Le rendement en grains d'une variété de blé dur et la teneur en protéines de ses grains sont les produits de différentes composantes mises en place tout au long du cycle de la culture durant la phase végétative puis durant le remplissage des grains. Les protéines présentes dans le grain de blé ont été largement étudiées. Elles représentent 8 à 20% de la masse du grain et sont classées en différentes catégories selon leur solubilité dans les solvants organiques et leur mobilité électrophorétiques (Shewry, 2007). Ces protéines forment un réseau complexe appelé le gluten dont les propriétés viscoélastiques sont capitales pour la transformation agro-alimentaire.

La richesse en protéines est un facteur très dépendant de l'environnement. En effet, Van Lill et al. (1995b) ont montré que les conditions climatiques durant la phase de remplissage des grains affectent significativement la teneur en protéines. Cette interaction génotype x environnement réduit l'efficacité de la sélection pour la qualité des grains (Lebsock et al. 1964). De plus, Grzybowski and Donnelly (1979) affirment que la force du gluten affecte de façon pertinente la rhéologie et la cuisson de la pâte. Les techniques et les outils d'étude de la qualité des grains ont sans cesse été améliorés. Le test de sédimentation Sodium-Dodecyl-Sulfate (SDS) est l'un des premiers tests utilisés pour apprécier la force du gluten. Ce dernier est composé à plus de 80% de protéines, le reste est formé par des granules d'amidon piégés dans la matrice protéique (Shewry 2007). Les fractions protéiques comprennent des gliadines et des gluténines, stockées dans l'albumen au cours du remplissage du grain. Celles-ci forment environ 60 à 80% des protéines du grain. Les gluténines de haut poids moléculaire (HMW-GS) sont les plus déterminantes de la qualité de la pâte (Oury et Godin 2007)

Le test de sédimentation largement utilisé pour la sélection de la fermeté de la pâte, renseigne sur la qualité des protéines de réserve de l'endosperme et par conséquent sur celle du produit de sa mouture (Peña 1990). Le principe de ce test repose sur la lecture du volume du dépôt formé suite au gonflement des protéines après agitation, dans une solution à base de Sodium Sulfate Dodécyl (SDS) à 3% (Peña 1990). Plusieurs travaux ont montré l'efficacité et l'utilité de ce test pour prédire la qualité technologique des accessions du blé dur (Dick and Youngs 1933; Dick et Quick 1983). Généralement, un volume de sédimentation élevé est associé à une qualité supérieure des pâtes (Dexter et al. 1980; 1982 ; Dick et Quick 1983; O'Brien 1983; Ayoub et al. 1993).

Outre la richesse en protéines et leur nature, la richesse en pigments caroténoïdes représente un critère de sélection des germplasms de blé dur. Feillet et al., (2000) ont montré que la couleur des pâtes alimentaires est dû à la superposition de pigments caroténoïdes (fraction désirable) et d'une composante brune (fraction indésirable) stockés au niveau de l'amande du grain de blé. Souvent, les pâtes à

coloration dorée sont issues de la mouture des blés à haute teneur en pigments caroténoïdes. De ce fait, une bonne coloration de la semoule améliore la valeur nutritionnelle des pâtes alimentaires. Plusieurs travaux ont montré que la teneur en pigments caroténoïdes varie plus fortement avec les génotypes qu'avec les conditions environnementales de la culture. La coloration des semoules est déterminée par la mesure « tri-stimulus », à l'aide d'un chromamètre ou un spectromètre, des trois paramètres L^* (brillance), a^* (composante brune) et b^* (composante jaune).

Sur un autre plan, le rendement semoulier dépend de l'aspect physique du grain. Plus le grain de blé dur est vitreux, plus le rendement en semoule est élevé. Inversement, plus le grain possède une texture farineuse, plus le rendement semoulier est faible (Troccoli et al. 2000). Dans les transactions commerciales, le degré de remplissage des grains est mesuré par leur poids spécifiques qui est défini comme le poids de grains remplissant un volume donné, résultant de la densité du grain (Ghaderi et al. 1971). Le poids spécifique est utilisé dans les textes réglementaires et les décrets des campagnes céréalières, afin de chiffrer la valeur commerciale du grain, donnant lieu à des bonifications ou à des réfractions (Godon et Willm, 1991). Le poids spécifique est aussi dépendant des facteurs génétiques (Kleijer et al. 2007) et des conditions climatiques pendant le remplissage des grains. Généralement, le poids spécifique est positivement corrélé avec le rendement semoulier (Marshall et al. 1986). Les conditions de l'alimentation hydrique et minérale pendant le remplissage des grains ont un effet prépondérant sur la valeur finale du poids spécifique.

Parmi les paramètres physiques du grain, on trouve aussi le poids de mille grains (PMG) ou la masse de 1000 grains entiers qui nous renseigne sur l'état général de remplissage des grains. C'est un caractère important de sélection surtout dans les environnements secs. Le procédé de mouture est largement influencé par le PMG. Il existe souvent une association positive entre le poids de 1000 grains et le rendement semoulier. Plus les grains sont gros, plus l'endosperme est large et plus il y a production de semoule lors de la mouture (Sissons, 2004).

Outre le PS et le PMG, le mitadinage est un paramètre de qualité qui déprécie la qualité technologique des grains et entraîne une baisse du rendement semoulier. Il s'agit d'un accident physiologique très fréquent chez les grains de blé dur Tunisien provoquant une altération de la texture translucide et vitreuse de l'albumen qui devient opaque et farineuse. Plus les grains sont amyliacés, plus la teneur en protéines est faible (Scotti et Mont, 1997; Troccoli et al. 2000). Ceci se produit lorsque la culture reçoit une pluviométrie importante avant la récolte et surtout un manque de la fertilisation azotée. La texture de l'albumen détermine certains paramètres physico-chimiques du grain tels que l'endommagement de l'amidon, l'absorption d'eau et la rhéologie de la pâte (Cane et al. 2004; Branlard et al. 2001).

La teneur en eau des grains récoltés est le premier facteur influençant leur conservation au cours du stockage car ce facteur conditionne le maintien ou la dégradation de la qualité technologique des céréales. A la récolte, l'humidité des caryopses du blé dur peut varier de 8% à 14%.

Le rendement en grains est le principal débouché de la culture céréalière en Tunisie, toutefois, sa stabilité reste un impératif majeur. D'un point de vue agronomique, les performances génotypiques pour ces deux caractères dépendent potentiellement de nombreux facteurs tout au long du cycle de la plante : ces facteurs étant à la fois génétiques, environnementaux ou le produit de leur interaction.

La conjoncture des céréales élaborée par le ministère d'agriculture impose l'augmentation des rendements des variétés du blé dur utilisées en grandes cultures. Toutefois, l'amélioration de la qualité technologique est une priorité pour répondre aux exigences des industries agroalimentaires et du consommateur tunisien.

L'objectif principal de ce travail est de mettre en place un outil de classement et de valorisation de la qualité technologiques d'une collection de blé dur et de choisir les cultivars qui répondent mieux aux besoins de la filière agroalimentaire.

2. Matériels et Méthodes

2.1. Matériel végétal et conduite de l'essai

Les analyses de qualité ont été effectuées sur les récoltes des essais de rendement du programme national d'amélioration génétique de la campagne agricole 2014-2015 conduits à la station expérimentale de Béja. Les variétés concernées par cette étude comprennent :

- Deux anciennes variétés : Chili et Mahmoudi.
- Les variétés : INRAT 69, Maghrebi et Ben Béchir développées au cours des années 1970
- Sept variétés actuellement cultivées en grandes cultures : Karim, Razzak, Khiar, Nasr, Om Rabiaa, Maali et Salim.

- Deux nouvelles lignées, récemment développées par le programme et déposées à l'inscription au catalogue national des variétés végétales : INRAT100 et Dhahbi.

Dispositif expérimental

Les variétés testées ont été semées à l'aide d'un semoir expérimental dans des essais de rendement selon un dispositif en Bloc Aléatoires Complets à quatre répétitions. Les parcelles élémentaires comportaient six lignes de 5m de long, espacés de 20 cm. Les variétés étudiées ont été semées le 12 Novembre 2014 à une densité de 350 graines/m². Les parcelles ont reçu une fertilisation de 45 unités de P₂O₅ avant semis et 100 unités d'azote sous forme de nitrate d'ammonium en deux apports égaux à la levée et au stade fin tallage.

Les adventices ont été contrôlés chimiquement aux doses et stades recommandés.

La récolte des essais a été effectuée mécaniquement à maturité de récolte.

Tableau 1. Conditions pédoclimatiques de la station Oued-Béja

| Localité | Coordonnées GPS | Etage bioclimatique | Pluviométrie moyenne (mm) | Type sol | pH |
|-----------|---|---------------------|---------------------------|-----------------|-----|
| Oued Béja | Latitude 36°44'05"N Longitude 9° 13'35"E | Sub-humide | 500 mm | Argilo-limoneux | 7.2 |

2.2. Les paramètres mesurés

Les analyses de qualité ont été effectuées sur les grains après la récolte :

Taux en protéines (en %)

La teneur en protéines est déterminée au moyen d'un analyseur à réflectance dans le proche infrarouge « Infraneo Chopin ». Le taux de protéines totales est exprimé en % par rapport à la quantité de l'échantillon analysé.

Test de Sédimentation en milieu Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) : l'indice de Zeleny

La force du gluten a été estimée par le test de sédimentation SDS, avec modifications mineures du protocole décrit par Peña *et al* (1990). Cet indice est déterminé par une méthode basée sur celle de Axford *et al.*, (1979), à l'aide d'une solution SDS à 3%, tel que décrit par Dexter *et al.*, (1980). Le principe de la mesure repose sur l'aptitude des protéines formant le gluten à gonfler en milieu aqueux et à coaguler en milieu faiblement acide. L'indice de Zeleny correspond au volume du dépôt obtenu après agitation et sédimentation d'une préparation de semoule en suspension dans une solution SDS en présence de l'acide lactique.

Taux de mitadinage (en %)

Le taux de mitadinage a été déterminé selon la méthode NT.51.04, 1983. L'échantillon est débarrassé de ses impuretés par tamisage et triage manuel. Les graines qui présentent des plages farineuses sont séparées des grains vitreux et les deux catégories sont pesées. Le taux de mitadinage, exprimé en pourcentage de masse par rapport à l'échantillon propre est donné par la formule suivante :

$$\text{Taux de mitadinage (\%)} = M_1 / (M_1 + M_2) * 100$$

Avec : - M₁ = masse (g) des grains du blé mitadinés

- M₂ = masse (g) des grains de blé vitreux

Indice de jaune

Les indices de couleur sont mesurés à l'aide d'un colorimètre type Minolta sur un échantillon de 50 g.

Le Minolta donne trois paramètres : - b* Indice de Jaune

- a* Indice de Brun

- L* brillance

Le poids spécifiques (Kg. hl⁻¹)

La détermination du poids spécifique a été réalisée conformément à la norme NT 51.61 (1993). Cette méthode est basée sur l'écoulement d'un échantillon au moyen d'une trémie, dans un récipient d'un litre, au moyen d'un Niléalitre, suivi d'un pesage. La valeur finale du PS est exprimée en Kg/hl.

Le poids de 1000 grains (PMG) (g)

Le PMG est déterminé selon la norme N.T 51.29 (2012). C'est la masse de 1000 grains comptés à l'aide d'un compteur photoélectrique type Numigrat

Le taux d'humidité (en%)

La détermination de la teneur en eau a été réalisée en respectant la norme NT 50.21 (1989). Pour cela 2 g de semoule sont placés dans l'étuve à 130 °C pendant deux heures. La boîte contenant le blé séché est refroidie dans un dessiccateur et pesée. L'humidité est évaluée en utilisant la formule suivante :

$$\% \text{ humidité} = (\text{masse initiale} - \text{masse finale}) * 100 / \text{masse initiale}$$

Rendement en grain (en qx/ha)

La récolte s'est effectuée au mois de Juin. Chaque parcelle a été récoltée à l'aide d'une mini moissonneuse batteuse et le battage a été réalisé en utilisant une mini-batteuse. Le rendement en grains a été estimé à travers les quantités de grains récoltés pour chaque parcelle et exprimé en quintaux par hectare.

3. Résultats et Discussion

Les échantillons de grain des quatorze variétés de blé dur testés ont fait l'objet d'une caractérisation physico-chimique et technologique. Les tests effectués sur les variétés ont porté sur la détermination du poids spécifique, du poids de mille grains, de la teneur en protéines, du taux de mitadinage, de l'humidité, du volume de sédimentation (SDS), la teneur en pigment caroténoïdes et le rendement en grains.

3.1. Analyse de la variance et comparaison des moyennes

Les résultats ont montré une grande variabilité inter-variétale pour tous les paramètres étudiés.

Bien que le rendement en grains reste la cible principale du programme d'amélioration du blé dur, la teneur en protéines est également une cible d'intérêt technologique et alimentaire. Les protéines constituant essentiel du gluten ont une influence prépondérante, tant par leur quantité que par leur nature chimique sur la force du gluten et la qualité des pâtes. Elles sont le produit conjugué des facteurs génétiques et de l'environnement de la culture. Les analyses effectuées sur les grains des variétés testées ont montré que le taux de protéines a varié entre 12.9 % et 16.3% avec une moyenne de 14.05%. La variété Chili présente le taux de protéines le plus élevé (16.3%) suivie par les variétés Mahmoudi, Inrat69 et Maghrebi avec des valeurs respectives de 15.9%, 15% et 14.3%. Les variétés Khiair, Om Rabiaa et Dhahbi ont montré les pourcentages les moins élevés en protéines totales soit 12.9%, 13.11% et 13.3% respectivement (Figure 1).

Cette variabilité inter-variétale met en évidence une divergence génétique entre les variétés étudiées. En fait, la diversité génétique de la richesse en protéines de réserve de l'endosperme a été largement analysée par plusieurs auteurs qui ont attribué la synthèse des protéines à l'expression de plusieurs gènes, de manière que chaque génotype possède un large spectre de variante allélique (Feillet 2000 ; Carrillo et al. 2000) responsables de son profil qualitatif. Les valeurs obtenues sont à relier au rendement en grains. En effet, les rendements les plus faibles ont été obtenus avec les variétés qui ont les taux en protéines les plus élevés. Cette relation négative entre le rendement et le taux des protéines a été rapportée par plusieurs auteurs (Oury et Godin, 2007, LeGouis et al. 2010). L'analyse de la variance des taux de protéines totales fait apparaître des différences hautement significatives ($p < 0.001$) entre les différentes variétés testées. Ces différences seraient liées aux différentes capacités d'assimilation de l'azote minéral. De leur côté, Shewry et Halford (2002) ont avancé la multitude des facteurs environnementaux en plus de ceux liés au génotype. Les variétés anciennes Chili et Mahmoudi semblent avoir une meilleure absorption et remobilisation de l'azote surtout pendant la phase du remplissage des grains. Le rendement en protéines reflète mieux les performances des génotypes en termes d'absorption et d'allocation de l'azote vers les grains.

Selon Quaglia et al. (1998), une bonne qualité caulinnaire exige une teneur en protéines des grains supérieure à 13%. La figure 1 montre que le taux moyen des protéines totales (14,05%) observé est supérieur à cette norme ce qui révèle que la collection testée renferme des variétés qui donnent un produit fini de bonne qualité.

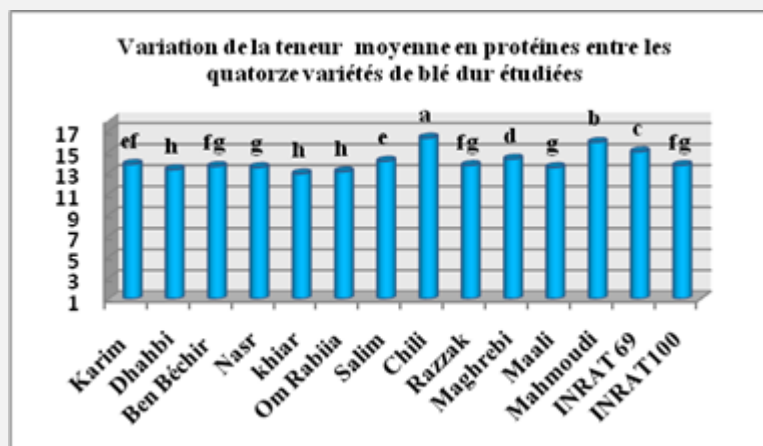


Figure 1. Variation de la teneur moyenne en protéines totales entre les quatorze variétés de blé dur

La qualité des protéines des génotypes étudiés telle qu'elle est indiquée par la force du gluten est déterminée par le test de sédimentation-SDS. Les tests SDS effectués sur la mouture des quatorze variétés étudiées ont montré une variation des volumes de sédimentation entre 8.3 ml et 14.8 ml (Figure 2) avec des différences hautement significatives ($p < 0.01$) comme révèle l'analyse de la variance. La variété Karim possède le volume de sédimentation le plus faible (8.33 ml) suivie par les variétés Dhabbi et Salim présentant des volumes moyens estimés à 9.3 ml et 10.5 ml respectivement. Le volume le plus élevé a été observé chez la variété Nasr (14.83 ml) suivie par la variété Khiar (14.67ml). Ces résultats confirment ceux obtenus par Babay *et al.* (2014) qui ont montré qu'à l'exception de la variété Karim qui possède une force de gluten relativement faible, les variétés améliorées ont des volumes de sédimentation supérieurs à ceux observés chez les variétés locales.

Le classement des variétés analysées par le test d'homogénéité Duncan a identifié six groupes différents en rapport avec leurs volumes de sédimentation (Figure 2). Dans ce contexte, Brites et Carrillo (2001) ont montré que la variabilité de la force de gluten est principalement dû à la variation allélique des loci *Glu-A1*, *Glu-B1*, *Glu-A3*, *Glu-B3*, *Glu-B2* et *Gli-B1*. De même, Dexter *et al.* (1980) ont montré que le test de sédimentation et la teneur en protéine contribuent ensemble à plus de 40% de la variabilité de la qualité de cuisson de la pâte alimentaire. Ces deux tests pourraient constituer ensemble des critères de sélection efficaces pour l'amélioration de la qualité du blé dur tunisien. Certains travaux ont montré que lorsque le taux de protéines est supérieur à 14%, la concentration de la solution SDS n'est pas suffisante pour dissoudre toute la quantité des protéines présentes dans l'échantillon, les protéines supplémentaires ne contribueront pas aux propriétés viscoélastiques de la semoule ce qui diminue le volume de la sédimentation (Lorenzo et Kronstad, 1987). Ceci semble être le cas de la variété améliorée Salim, malgré une teneur en protéine supérieure à 14%, le volume de sédimentation observé chez cette variété est relativement faible (10.5 ml).

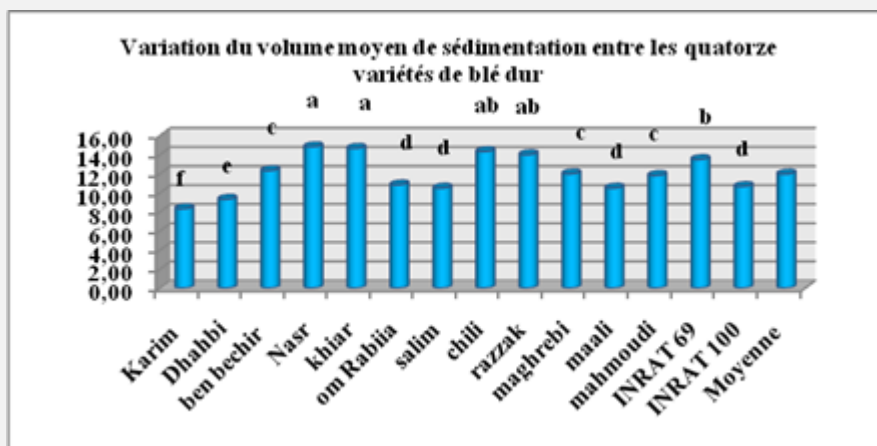


Figure 2. Variation du volume de sédimentation moyen (ml) entre les quatorze variétés testées de blé dur

Parmi les paramètres choisis pour l'évaluation de la qualité technologique de la collection de blé dur, le pourcentage des grains mitadinés. Le taux de mitadinage observé varie entre 1.34% et 23.3% avec une valeur moyenne égale à 7.71% (Figure3). Certaines variétés ont développé une tolérance au mitadinage telles que les variétés Salim, Chili et Inrat69 caractérisées par des proportions élevées des grains vitreux et des taux des grains amyloacés minimales (1.34% et 1.46% respectivement), alors que d'autres variétés comme Dhahbi et Mahmoudi ont présenté des taux de mitadinage élevés à 23.3% et 15.56% respectivement (Figures 3).

De même, l'analyse de la variance appliquée à ce paramètre a montré des différences hautement significatives ($p < 0.001$) entre les génotypes testés. En effet, Chez le blé dur, la relation entre grains mitadinés et performance à la mouture est complexe, mais on peut dire qu'en général, les grains amyloacés donnent moins de semoule grossière et plus de farine, ce qui réduit leur aptitude à la mouture (Dexter et Edwards, 1998). Ce problème majeur des cultures céréalières tunisiennes s'est due soit à une nutrition azotée déficitaire soit à une mauvaise assimilation de l'azote disponible dans le sol, il affecte le taux de protéines totales d'une variété et sa vitrosité (Blanco *et al.* 1993). Dans ce sens, Ben Belkacem *et al.* (1995) ont montré que la maîtrise de la fertilisation azotée et l'utilisation d'un paquet technologique approprié et adapté à la région de la culture des variétés contribuent à une qualité supérieure des blés.

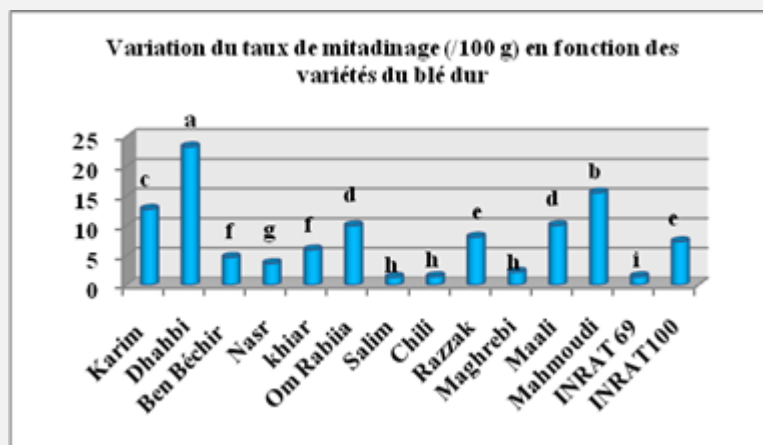


Figure 3. Variation du taux de mitadinage (/100g) en fonction des variétés du blé dur analysées

L'indice de jaune est l'un des critères de sélection les plus utilisés par les améliorateurs pour prédire la qualité du germplasm de blé dur. L'étude de la richesse en pigments caroténoïdes des quatorze variétés du blé dur testées (Figure 4) a montré que la variété INRAT100 récemment inscrite au catalogue officiel des variétés végétales a exprimé l'indice de jaune le plus élevé (25.7) suivie par les variétés Dhahbi et Om Rabiaa avec des valeurs moyennes égales à 22.74 et 21.55 respectivement. Tandis que les variétés Khiair et karim ont exprimé les valeurs les moins élevés (18.61 et 18.71, respectivement). L'analyse de la variance appliquée à ce paramètre a montré des différences hautement significatives entre les variétés analysées ($p < 0.001$).

Selon Borrelli (1999), une semoule est considérée de bonne coloration si elle a un indice de jaune supérieur à 19. Ce critère est respecté au niveau des travaux effectués au sein du programme national d'amélioration du blé dur qui aboutissent à deux lignées (Inrat100 et Dhahbi) avec des indices de jaune supérieurs à ceux observés chez les variétés largement utilisées en grandes cultures.

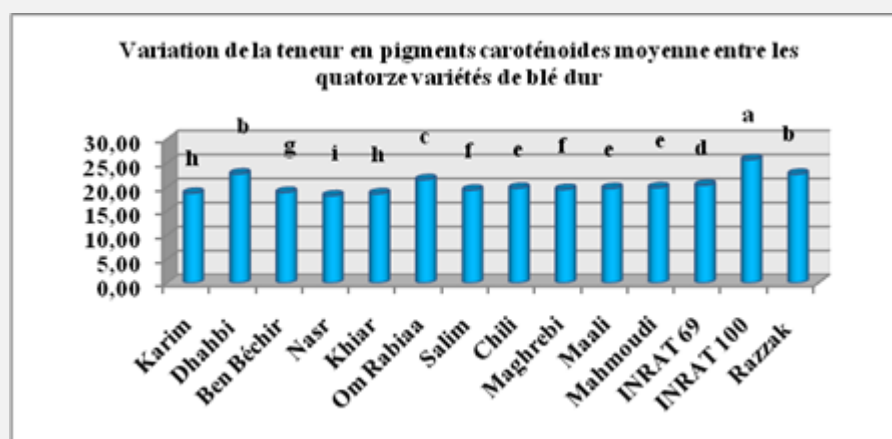


Figure 4. Variation de l'indice de Jaune entre les quatorze variétés du blé dur testées

Dans la plupart des pays, le blé est commercialisé en fonction de ses propriétés physiques, établies selon des systèmes de classement. Par ailleurs, les dimensions du grain du blé, ainsi que la taille du caryopse, constituent des facteurs très importants qui influent le rendement semoulier. En effet, les variétés de grande taille ont une bonne valeur semoulière à l'exception des grains mitadinés ou échaudés qui vont influencer négativement le rendement. Par ailleurs, le poids spécifique est un facteur primordial qui affecte le prix de base selon le barème d'agrèage. Il est affecté par le taux d'humidité, l'épaisseur des téguments, la présence des grains cassés et des impuretés. A l'échelle réglementaire, le blé dur est considéré non commercialisable s'il a un $PS < 76.5 \text{ kg hl}^{-1}$.

Les résultats correspondant à l'étude du poids spécifique ont montré que le PS varie entre 79.4 kg hl^{-1} et 83.86 kg hl^{-1} (Figure 5). Ils sont assez élevés et comparables à ceux rapportés par plusieurs auteurs (Matsuo et Dexter, 1980). Les variétés Salim, Om Rabiaa et Karim ont présenté les PS les plus élevés égaux à 83.86 kg hl^{-1} , 83.52 kg hl^{-1} et 83.03 kg hl^{-1} respectivement.

Au contraire, les variétés Ben Béchir, Inrat69 et Dhahbi ont montré les PS les moins élevés (79.4 kg hl^{-1} , 80.24 kg hl^{-1} et 80.58 kg hl^{-1} , respectivement). L'analyse de la variance 'ANOVA' montre des différences hautement significatives entre les variétés analysées ($p < 0.001$). Ceci explique que le poids spécifique est un paramètre sous control génotypique, mais il est également affecté par les conditions climatiques au moment de remplissage des grains.

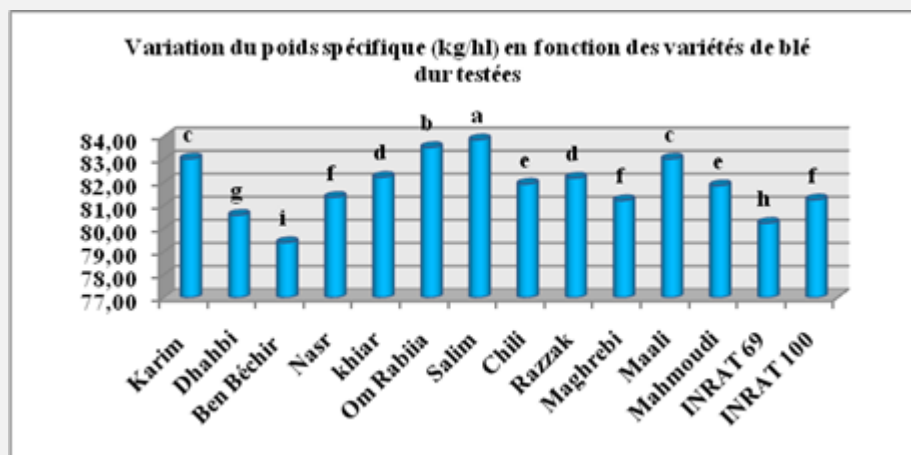


Figure 5. Variation du poids spécifique (kg/hl) en fonction des quatorze variétés du blé dur testées

Le PMG a montré des variations significatives entre les variétés testées, la Figure 6 montre que la valeur la plus élevée a été notée chez la variété Dhabhi (53.05g) suivie par les variétés Karim et Salim avec des PMG moyens égaux à 48.66 g et 47.73 g, respectivement. Les valeurs les plus faibles ont été observées chez les variétés Maghrebi (35.21g), INRAT100 (37.81g) et Ben Béchir (39.84g). Le classement des variétés en appliquant le test d'homogénéité révèle dix groupes différents ce qui traduit la grande divergence génétique entre les variétés analysées. Le PMG, en plus de l'effet variétal prépondérant, est fortement lié aux effets de l'environnement au moment de la formation et du remplissage du grain. Un manque d'eau après la floraison combiné aux températures élevées (conditions très fréquentes en Tunisie) entraîne une diminution du poids de 1000 grains par altération de la vitesse et/ou de la durée de remplissage, ce qui se traduit par l'échaudage des grains (Zouaoui, 1993; Chaker, 2003). Vue l'amplitude génétique de la collection testée, on pourra conclure que les variétés agissent différemment en condition du stress hydrique qui a caractérisé la campagne 2014/2015. Le poids de mille grains est aussi souvent utilisé comme indice du potentiel meunier, mais on ne s'entend pas sur sa valeur réelle comme prédicateur du rendement meunier réel (Hook *et al.* 1984).

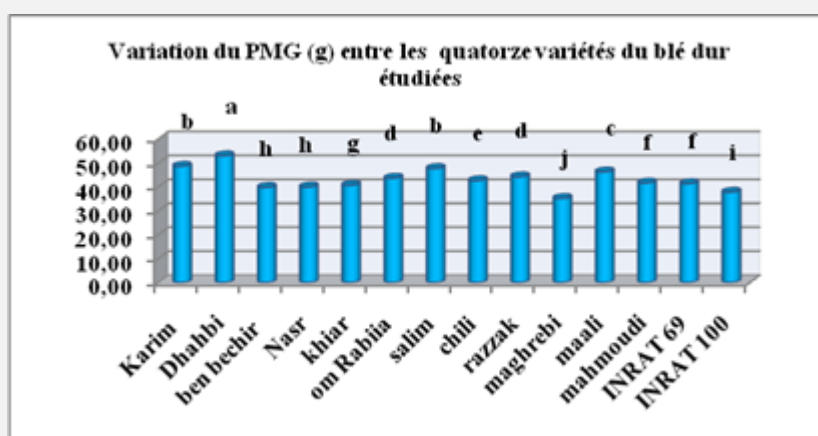


Figure 6. Variation du poids de mille grains (g) en fonction des quatorze variétés du blé dur testées

La teneur en eau des grains est un facteur très essentiel pour le stockage et la transformation. L'humidité des grains des variétés testées varie entre 11.17% et 12.9% avec une moyenne de 11.94% (Figure 7). Les variétés INRAT100 et Karim ont présenté les pourcentages en eau les plus élevés estimés à 12.9% et 12.48%, respectivement. Par contre, les teneurs eau les moins élevées sont observés chez les Chili et

Khiar (11.17 % et 11.30%, respectivement). L'analyse de variance 'ANOVA' a montré une variation inter-variétale hautement significative ($p < 0.001$).

L'humidité des grains est un paramètre non négligeable car les valeurs de la teneur en eau des échantillons analysés nous informent sur la stabilité de la qualité de la semoule. Plus une semoule est humide, plus on a une dégradation rapide de ces éléments constitutifs. A l'échelle industrielle, la semoule n'est commercialisée que pour une teneur en eau bien déterminée.

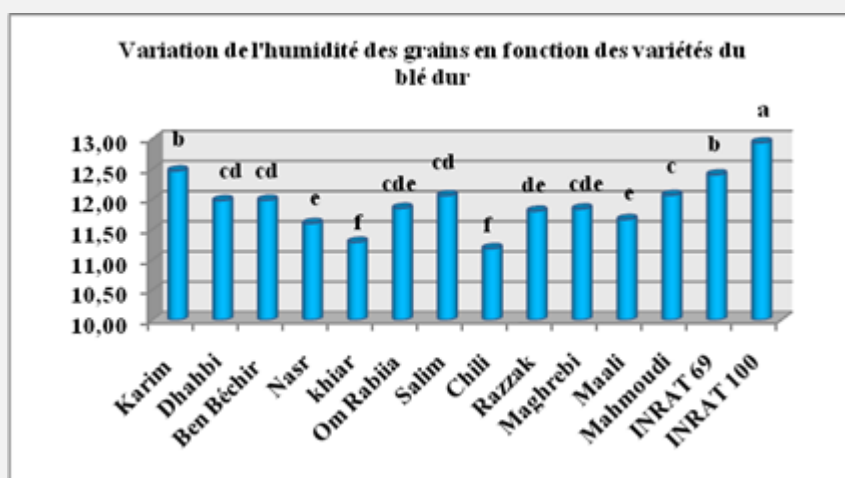


Figure 7. Variation de la teneur en eau (%) en fonction des quatorze variétés du blé dur testées

Les résultats de l'estimation des rendements en grains des variétés analysées confirment le potentiel des variétés améliorées par rapport aux variétés traditionnelles (Figure 8). L'analyse de la variance 'ANOVA' montre des différences inter-variétales hautement significatives entre les variétés testées ($p < 0.001$). La variété Om. Rabiaa a donné 39.36 qx/ha, suivie des variétés Inrat100 et Nasr avec des rendements moyens égaux à 37.36qx/ha et 36.41 qx/ha respectivement. Tandis que les variétés anciennes ont exprimé les rendements les plus faibles : la variété Maghrebi a présenté le rendement le moins élevé estimé à 17.08 qx/ha suivie des variétés Chili et Mahmoudi (22.18 et 23.68, respectivement).

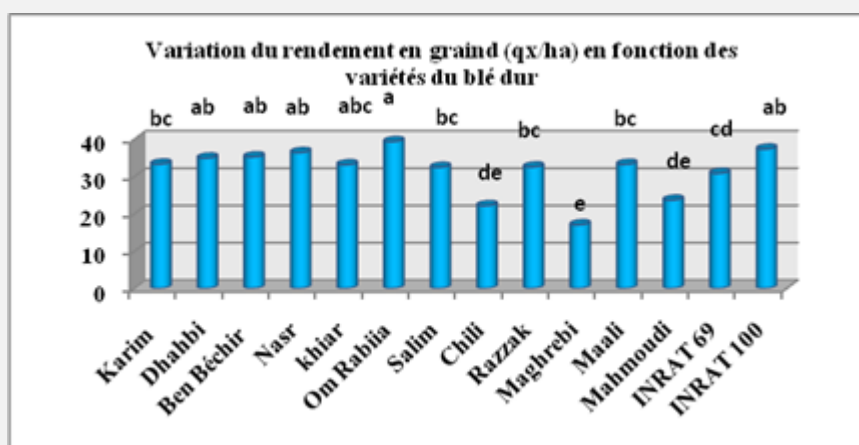


Figure 8. Variation du rendement en grains (qx/ha) en fonction des quatorze variétés du blé dur testées

3.2. Étude des corrélations entre les différents paramètres de qualité étudiés et estimation de la diversité génétique inter-variétale

L'association des paramètres de qualité physico-chimiques et technologiques chez le blé dur a fait l'objet de plusieurs travaux de recherche (Brites et Carrillo 2001; Clarke et al. 2004; Lerner et al. 2006; Flagella et al. 2010). Les corrélations entre le poids spécifique, le poids de mille grains, la teneur en protéines, l'humidité des grains, la force de gluten, l'indice de jaune, le taux de mitadinage et le rendement étaient dans la plupart des cas hautement significatifs. Cependant, parfois ces corrélations se sont avérées contradictoires, surtout du fait que certains facteurs pourraient être largement influencés par l'environnement.

Dans ce travail, nous avons étudié les interactions entre les paramètres de qualité analysés et le rendement en grains d'une collection de blé dur cultivée durant la campagne agricole 2014/2015 (tableau 2). Nous avons observé une corrélation négative et hautement significative ($r^2 = -0.65$) entre la teneur en protéines totales et le rendement en grains. En effet, plusieurs travaux ont montré que l'étude du déterminisme génétique et écophysiologique du rendement et du taux de protéines est limité par la complexité et la nature intégrative de ces deux caractères. En plus, il est admis, pour les céréales, que le taux de protéines est corrélé négativement avec le rendement (Oury et Godin 2007; Le Gouis et al. 2010), ce qui rend très difficile leur amélioration simultanée par la sélection. Dans le but d'expliquer le paradoxe de cette relation, certains auteurs (Pepe et Robert, 1975; McNeal et Berg, 1978 (cité par Bogard, 2011) ont montré que le facteur génétique est responsable de cette relation. Ils ont proposé que la nature de la relation soit due essentiellement aux facteurs génétiques par la présence des gènes à effet pléiotropes affectant les deux caractères ou bien par la présence des gènes à effet antagoniste fortement liés génétiquement.

Nous avons enregistré une corrélation positive et non significative entre la teneur en protéines et le volume de sédimentation ($r^2 = 0.21$). Cette faible corrélation a été signalée par plusieurs travaux (Vázquez et al. 1996; Brites and Carrillo 2001; Edwards et al. 2007). Généralement, plus le poids moléculaire des protéines est élevé (protéines de bonne qualité), plus le gonflement est important au bout d'un temps de repos. Ce résultat a été mis en évidence par Lerner et al. (2006) qui ont montré que le test SDS dépend de la quantité et de la qualité des protéines et la relation entre les deux dépend de l'environnement et de l'effet variétal. Dans ce sens, Babay et al. (2014) ont signalé que la teneur en protéines est un critère de sélection fortement contrôlé par l'environnement, par contre, la variabilité de la force du gluten est sous control génétique. Toutefois, les volumes de sédimentation observés chez les variétés testées sont négativement corrélés avec les taux de mitadinage ($r^2 = -0.56$). Les grains vitreux présentent une caractéristique fondamentale pour déterminer la qualité du blé de fait que la teneur en protéines des grains mitadinés est toujours inférieure à celui des grains vitreux ceci se réponde essentiellement sur le volume de sédimentation des échantillons. La variété Dhabi a mis en évidence cette relation en exprimant un taux de mitadinage élevé (23.3%) et un volume de sédimentation faible (9.3 ml). En plus, plusieurs travaux indiquent que la vitrosité est liée à la structure de l'albumen amylicé les vitreux présentant une structure très compacte alors que les farineux présentent de nombreuses vacuoles d'air (Dexter et al., 1989; Sadowska et al., 1999) ce qui affecte la qualité des protéines. Et sachant que le volume de sédimentation dépend forcément de l'aspect qualitatif de la semoule, un pourcentage de mitadinage élevé influe sans doute la force du gluten.

La couleur jaune-dorée des semoules, due à sa richesse en pigments caroténoïdes est un caractère très apprécié par l'industrie agroalimentaire. Nous avons constaté une corrélation positive et hautement significative entre l'indice de jaune et l'humidité des échantillons ($r^2 = 0.50$), contrairement à Dexter et Edwards (1998) qui ont montré qu'une teneur en eau élevée provoque une altération de la couleur superficielle du grain. Ceci décline les lots du blé, car il est essentiel que la semoule soit brillante et exempte de piqûres pour satisfaire aux critères esthétiques permettant la commercialisation de pâtes alimentaires de première qualité.

Une corrélation positive et significative ($r^2 = 0.35$) a été observé entre le PMG et le PS. Bien que le PMG et le PS soient des caractéristiques génétiquement contrôlées, les conditions environnementales affectent considérablement leurs expressions. A partir d'une étude basée sur 20 variétés de blé tendre et blé dur, cultivées sur sept localités différentes pendant les années 2005-2006, Shantha et al (2007) ont observé un effet significatif des conditions environnementales sur les deux paramètres. L'étude de Aucamp et al. (2006) a également montré l'effet environnemental sur le PMG et le PS. De même, Nous avons observé aussi une corrélation significative et positive entre le taux de mitadinage et le PMG ($r^2 = 0.61$). Ceci est en contradiction avec les travaux de Sharp et al., (1927) qui ont montré que les grains farineux

ont de faibles densités par rapport aux grains vitreux, et ont attribué les faibles densités à une forte porosité de l'albumen. Les grains vitreux nécessitent une force supérieure pour être cassés (Dobraszczyk 1994; Haddad et al. 1998; Haddad et al.2001) et présentent une structure plus dense donc moins poreuse que celle des blés farineux (Glenn and Saunders 1990).

La qualité des grains du blé dur est un caractère qui fait intervenir plusieurs composantes. En fait, pour les agriculteurs, la notion de qualité d'une variété se limite à sa productivité et sa stabilité au champ. Tandis que pour les transformateurs et les industries agroalimentaires, le concept de qualité est tributaire essentiellement à la richesse en protéines totales, au taux d'humidité et au taux de mitadinage, la qualité du gluten et la teneur en pigments caroténoïdes qui représentent les critères décisifs pour le classement des lots de blé.

Tableau 2. Coefficients des corrélations entre les différents paramètres physico-chimiques étudiés

| | H(%) | PS (kg/hl) | Protéines (%) | PMG (g) | Mitadinage (%) | Test SDS (ml) | IJ | RDT g (qx) |
|----------------|--------|------------|---------------|---------|----------------|---------------|--------|------------|
| H(%) | 1,00 | | | | | | | |
| PS (kg/hl) | -0,14 | 1,00 | | | | | | |
| Protéines (%) | -0,07 | -0,17 | 1,00 | | | | | |
| PMG (g) | 0,01 | 0,35* | -0,16 | 1,00 | | | | |
| Mitadinage (%) | 0,21* | 0,04 | -0,20 | 0,61** | 1,00 | | | |
| Test SDS (ml) | - | -0,28* | 0,21 | -0,53** | -0,56** | 1,00 | | |
| IJ | 0,54** | 0,50** | -0,10 | -0,14 | 0,05 | 0,33* | -0,25* | 1,00 |
| RDT g (qx) | 0,18 | 0,11 | -0,65** | 0,24* | 0,23* | -0,24* | 0,30* | 1,00 |

** La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

* La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

Avec : H= humidité, PS = poids spécifique, PMG= poids de mille grains, IJ= indice de Jaune, RDTg = rendement en grains

Le rassemblement des variétés étudiées montre que la distance euclidienne varie de 1.99 entre Nasr et Khiair à 27.45 entre Karim et Dhahbi respectivement (Figure 9). Le cluster obtenu indique que les distances euclidiennes entre les génotypes testés sont relativement importantes. Ce résultat révèle une grande variabilité génétique des paramètres physico-chimiques au sein de la collection du blé dur étudiée. Le dendrogramme résultant de l'analyse statistique pourrait être séparé en deux groupes distincts. Le premier groupe rassemble les variétés améliorées avec des distances euclidiennes relativement faibles entre Nasr et khiair (1.99), Om. Rabiaa et Mâali (3.98) et Om. Rabiaa et Salim (5.38). Tandis que le deuxième groupe est composé par les variétés traditionnelles avec des distances euclidiennes plus élevées allant de 10.07 entre Mahmoudi et Inrat69 à 12.20 entre Chili et Maghrebi. Il est à signaler que les variétés candidates à l'inscription Dhahbi et Inrat100 ont exprimé une divergence génétique par rapport au reste des génotypes testés Ceci indique le progrès génétique réalisé par le programme national d'amélioration du blé dur.

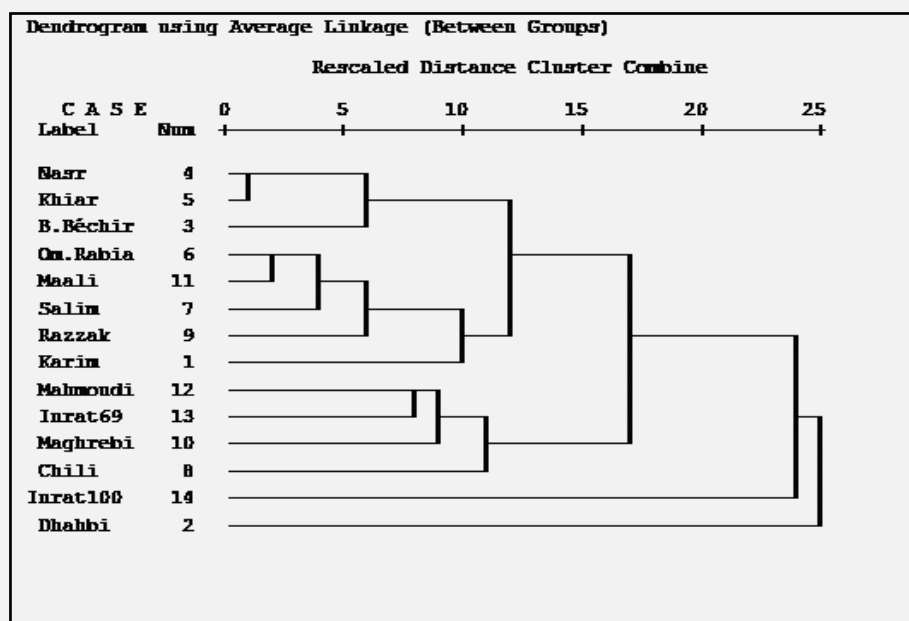


Figure 9. Cluster montrant le rassemblement des variétés de blé dur étudiées en fonction de la distance Euclidienne

4. Conclusion

La variabilité génétique constitue la base du programme national d'amélioration du blé dur. En fait, la collection cible est un témoin sur la diversité de nos ressources génétiques. Par contre, l'utilisation des variétés améliorées et introduites en Tunisie a contribué à la diminution significative de la diversité du blé dur Tunisien suite à la perte de plusieurs caractères désirables. Cette étude a visé l'évaluation de la diversité génétique de quelques paramètres associés à la qualité technologique du blé dur. Les résultats obtenus ont montré que la présente collection analysée est composée des parents éloignés et qui pourraient être utilisés dans des croisements futurs. En effet, les faibles rendements en grains observés chez les variétés locales ont été compensés par des teneurs en protéines élevées. Ce caractère primordial pour la prédiction de la qualité technologique d'une variété nous orientera vers l'initiation d'une nouvelle investigation basée sur l'identification et l'exploitation des gènes responsables qui pourraient être introduites dans des nouveaux cultivars à haut potentiel de rendement.

5. Références

- AuCamp U, Labaschange MT, Van Deventer CS (2006)** Stability analysis kernel and milling characteristics in winter and facultative wheat. *S.Afr.J. Plant Soil* 23 (3): 152-156
- Axford, D W E, McDermott E E, Redman, D G (1979)** Note on the sodium dodecyl sulphate test of bread-making quality: Comparison with Pelshenke and Zeleny tests. *Cereal Chem.* 56: 582-584: 21-126
- Ayoub M, Guertin S, Fregeau-Reid J, Smith DL (1993)** Nitrogen fertilizer effect on breadmaking quality of hard red spring wheat in eastern Canada *Crop. Sci* 34: 1346-1352
- Babay E, Hanana M, Mzid R, Ben Haj-Salah H, Rodriguez-Quijano M, Ghorbel A, Slim-Amara H (2014)** Diversité génétique et qualité technologique du blé dur (*Triticum turgidum* L.subsp. *durum* (Desf.) Husn.) cultivé en Tunisie. *J.N.S* 4(4): 33-43
- Bachta MS (2011)** La céréaliculture en Tunisie une politique de régulation à repenser. Les notes d'analyse du CIHEAM 64: 2-19
- Ben Belkacem A, Sadli F, Brinis L (1995)** La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie. Séminaires Méditerranéens. ICARDA / CIHEAM / CIMMYT. Zaragoza, 17-19 novembre.
- Blanco A, De Giovanni C (1993)** *Triticum dicoccoides* for qualitative improvement of durum wheat: associations of protein loci to grain quality traits in recombinant inbred lines. Proc. Seminar on Durum Wheat Quality in the Mediterranean Regions, Zaragoza 17-19 Nov 1993. *Options Med.* 22, 149-158

- Bogard M, Jourdan M, Allard V, Martre P, Perretant MR, Ravel C, Heumez E, Orford S, Snape J, Giffiths S, Oorbessy G, Foulkes J, Le Gouis J (2011)** Anthesis date mainly explained correlations between post-anthesis leaf senescence, grain yield and grain protein concentration in a winter wheat population segregating for flowering time QTLs. *J.Exp Bot* 62: 3621–3636
- Borrelli GM, Troccoli A, Di Fonzo N, Fares C (1999)** Durum wheat lipoxygenase activity and other quality parameters that affect pasta color. *Cereal Chem* 76: 335-340
- Branlard G, Dardevet M, Saccomano R, Lagoutte F, Gourdon J (2001)** Genetic diversity of wheat storage proteins and Bread wheat quality. In *Quality and quality improvement. Proceedings of the 6th International Wheat Conference: Wheat in a global environment, June 2000, 5-9, Budapest, Hungary.* 9: 157-169. Agricultural Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences. Martonvasar, Hungary. Kluwer Academic Publishers
- Brites C, Carrillo JM (2001)** Influence of high molecular weight (HMW) and low molecular weight (LMW) glutenin subunits controlled by *Glu-1* and *Glu-3* loci on durum wheat quality. *Cereal Chemistry* 78: 58-63
- Cane K, Spackman M, Eagles H (2004)** Puroindolines genes and their effects on grain quality traits in southern Australian wheat cultivars. *Australian Journal of Agricultural Research* 55: 89-95
- Carrillo J M, Martinez M C, Moita C, Brites M T, Nieto M T, Vazquez JF (2000)** Relationship between 328 endosperm proteins and quality durum wheat (*Triticum Turgidum L. var. durum*). *Options méditerranéennes* 40: 463-467
- Chaker A (2003)** Etude de l'effet des stress thermiques (chaleur et froid) sur quelques paramètres physiologiques et biochimiques du blé dur (*Triticum durum Desf.*). Mémoire. Magistère. Univ. Annaba
- Clarke FR, Clarke JM, Ames NA, Knox RE (2004)** Environmental effects on measurements of gluten index and SDS-sedimentation volume in durum wheat. The Royal Society of Chemistry. Cambridge, UK. 192-195
- Dencic S, Kobiljski B, Mladenovic G, Kovacevic N (2011)** Sadašnjost i budućnost NS sortimenta pšenice. 45. Savetovanje agronoma Srbije, 30.01-05.02.2011, Zlatibor. Zbornik referata, Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, 15-25
- Dexter J E, Matsuo R R, Kosmolak F G, Leisle D, Marchylo B A (1980)** The suitability of the SDS-sedimentation test for assessing gluten strength in durum wheat. *Can. J. Plant Sci.* 60: 25–29
- Dexter JE, Edwards NM (1998)** Commission canadienne des grains, Laboratoire de recherches sur les grains, Winnipeg (Manitoba) R3C 3G8
- Dexter JE, Marchylo BA, MacGregor AW, Tkachuk R (1989)** The structure and protein composition of vitreous, piebald and starchy durum wheat kernels. *J. Cereal Sci.* 10:19-32
- Dexter JE, Wood PJ, Matsuo RR (1980)** Relationship between durum wheat protein properties and pasta dough rheology and spaghetti cooking quality. *J.Agric. Food Chem*, 28: 899-902
- Dick JW, Quick JS (1983)** A modified screening test for rapid estimation of gluten strength in early-generation durum wheat breeding lines. *Cereal Chemistry* 60: 315-318
- Dick JW, Young VL (1933)** Durum wheat and Pasta Products. Wheat chemistry and technology. American Association of Cereal Chemists. Third ed. St. Paul, Minnesota USA, 507-547
- Diehl AL, Johnson VA, Mattern PJ (1978)** Inheritance of protein and lysine in three wheat crosses. *Crop Sci.* 17: 391-395
- Dobraszczyk BJ, Roberts CA (1994)** Strain-hardening and dough gas cell-wall failure in biaxial extension. *J. Cereal Sci.* 20 (3): 265-274
- Edwards NM, Gianibelli MC, Mc Caig TN, Clarke JM, Ames NP, Larroque OR, Dexter JE (2007)** Relationship between dough strength, polymeric protein quantity and composition for diverse durum wheat genotypes. *Journal of Cereal Science.* 45: 140-149
- El Felah M, Gharbi MS, Ben Ghanem H, Elloumi M (2015)** Les céréales en Tunisie entre mythe et réalité. *Annales de l'INRAT, 2ème Numéro Spécial Centenaire* 88: 1-17
- Feillet P (2000)** Le grain de blé, composition et utilisation. INRA, Paris: 308
- Feillet P, Autran J C, Icard-Vernière C (2000)** Pasta Brownness: An Assessment. *Journal of Cereal Science* 32: 215-233.
- Flagella Z, Giuliani MM, Giuzio L, Volpi C, Masci S (2010)** Influence of water deficit on durum wheat storage protein composition and technological quality. *European Journal of Agronomy* 33: 197-207.

- Ghaderi A, Everson EH (1971)** Genotype-environment studies of test weight and its components in soft winter wheat. *Crop Science* 11: 617-620
- Gharbi M, El Felah M (2014)** Les céréales en Tunisie: Historique, contraintes de développement et perspectives. Journée Nationale sur la valorisation des résultats de la Recherche dans le domaine des Grandes Cultures Tunis, le 17 avril 2014. 1-6
- Glenn GM, Saunders RM (1990)** Physical and structural properties of wheat endosperm associated with grain texture. *Cereal Chem.* 67:176-182
- Godon B, Willm C (1991)** Les industries de la première transformation des céréales. Techniques et documentation Edition Lavoisier : 315
- Grzybowski RA, Donnelly BJ (1979)** Cooking properties of spaghetti: Factors affecting cooking quality. *J. Agric. Food Chem.* 27: 380
- Haddad Y, Benet J C, Abecassis J (1998)** A rapid general method for appraising the rheological properties of the starchy endosperm of cereal grains. *Cereal Chem.* 75: 673-676
- Haddad Y, Benet JC, Delenne JY, Mermet A, Abecassis J (2001)** Rheological behavior of wheat endosperm. Proposal for classification based on the rheological characteristics of endosperm test samples. *J. Cereal Sci.* 34:105-113
- Hook S, Bong G, Fearn T (1984)** Influence of air temperature and relative humidity on milling performance and flour properties. *Journal of Science in Food and Agriculture.* 35: 597-600
- Kleijer G, Levy L, Schwaerzel R, Fossati D, Brabant C (2007)** Relation entre le poids à l'hectolitre et plusieurs paramètres de la qualité dans le blé. *Revue suisse Agric.* 39 (6): 305-309
- Le Gouis J, Béghin D, Heumez E, Pluchard P (2010)** Genetic differences for nitrogen uptake and nitrogen utilization efficiencies in winter wheat. *Eur. J. Agron.* 12: 163-173
- Lebsock KL, Fifield CC, Gurney G M, Greenaway WT (1964)** Variation and evaluation of mixing tolerance, protein content and sedimentation value in early generations of spring wheat, *Triticum aestivum* (L.) *Crop Science.* 4: 171-174
- Lerner SE, Seghezzo ML, Molfese ER, Ponzio NR, Cogliatti M, Rogers WJ (2006)** N- and S-fertilizer effects on grain composition, industrial quality and end-use in durum wheat. *Journal of Cereal Science* 44: 2-11
- Lorenzo A, Kronstad WE (1987)** Reliability of two laboratory techniques to predict bread wheat protein quality in non-traditional growing areas. *Crop Science.* 27: 247- 252
- Marshall DR, Mares DJ, Moss HJ, Elison FW (1986)** Effect of grain shape and size on milling yields in wheat II. Experimental studies. *Australian Journal of Agricultural Research* 37: 331-342
- Matsuo RR, Dexter JE (1988)** Relationship between some durum wheat physical characteristics and semolina milling properties. *Canadian Journal of Plant Science* 60: 49-53
- Mc-Neal FH, Berg MA (1978)** Recurrent selection for grain protein content in spring wheat. *Crop Science.* 18: 779-782
- NT 51.61, 1993. Norme Tunisienne. Céréales. Détermination de la masse à l'hectolitre**
- NT Norme Tunisienne. 51.01, 1983. Teneur en eau du blé dur et tendre et leurs dérivés**
- NT51.29 (2012). Norme Tunisienne. Céréales légumineuses- Détermination de la masse de 1000 grains**
- O'Brien TP, Smmut M, Lee W, Smart MG (1983)** The vascular system of the wheat spikelet. *Aust. J. Plant Physiol.* 12: 487-511
- Oury FX, Godin C (2007)** Yield and grain protein concentration in bread wheat: how to use the negative relationship between the two characters to identify favorable genotypes. *Euphytica* 157: 45-57
- Peña RJ, Amaya A, Rajaram S, Mujeeb-Kazi A (1990)** Variation in quality Characteristics associated with some spring 1B/1R translocation wheats. *Journal of Cereal Science* 12: 105-112
- Pepe JF, Heiner RE (1975)** Plant height, protein percentage and yield relationships in spring wheat. *Crop Science.* 15:793-797
- Quaglia GB (1988)** Other durum wheat products. *Durum Chemistry and Technology*, Fabriani, G. and Lintas, C. (eds). AA", St. Paul, Minnesota: 263-282
- Sadowska J, Jeliński T, Fornal J (1999)** Comparison of microstructure of vitreous and mealy kernels of hard and soft wheat. *Polish J. Food Nutr. Sci.* 8/49: 3-15
- Scotti, G, Mont JM (1997)** Analyses physiques des grains: Blé tendre et blé dur. Chap. 5, analyses physiques, Partie I, p. 76-119. In: B. Godon and W. Loisel (eds). Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Tec & Doc. Lavoisier

- Shantha N, Tripathi S, Singh GP, Chaudhary HB (2007)** Effect of cultivar and environment on quality characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Indian J. Genet. Plant Breed.* 67 (2): 149–152.
- Sharp PF (1927) Wheat and flour studies IX. Density of wheat as influenced by freezing stage of development and moisture content. *Cereal Chemistry.* 4: 1446
- Shewry PR (2007)** Improving the protein content and composition of cereal grain. *Journal of Cereal Science* 46: 239-250
- Shewry PR, Halford N G (2002)** Cereal seed storage proteins: Structures, properties and role in grain utilization. *Journal of Experimental Botany.* 53: 947-958.
- Sissons MJ (2004)** Pasta. Wrigly, C., Corke, H., Walker, C. (Eds) *Encyclopaedia of Grain Science*, Elsevier, Australia: 409-418
- Slama A, Ben Salem M, Ben Naceur M, Ezziddine Z (2005)** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Sécheresse.* 16 : 225-229
- Troccoli A, Borelli G M, De Vita P, Fares C, Di Fonzo N (2000)** Durum Wheat quality : A multidisciplinary Concept. *Journal of Cereal Science* 32: 99-113
- Tsenov N, Atanasova D, Stoeva I, Petrova T 2010b Grain yield, end-use quality and stress resistance of winter wheat cultivars Aglika and Slaveya. *Agricultural University, Plovdiv, Scientific Works.* 55 (1): 27-34
- Van Lill D, Purchase 1L, Smith MF, Agenbag De Villiers OT (1995b)** Multivariate assessment of environmental effects on hard red winter wheat. II. Canonical correlation and canonical variate analysis on yield and breadmaking characteristics. *S.A. J Plant & Soil.* 12: 164-169
- Vazquez JF, Ruiz M, Nieto-Taladriz M, Albuquerque MN (1996)** Effects on gluten strength of low Mr glutenin subunits coded by alleles at the *Glu-A3* and *Glu-B3* loci in durum wheat. *Journal of Cereal Sciences.* 24: 125-130
- William M, Langridge P, Trethowan R, Dreisigacker S, Crouch J (2008)** Genomics of wheat, the basis of our daily bread. *Genomics of Tropical Plants.* 15 eds Moore P. H., Ming R., editors. (New York, NY: Springer-Verla. 515–548.
- Zouaoui (1993)** Etude en F1 et F2 des hybrides issus du croisement de 05 variétés de blé dur : Détermination génétique des principaux caractères à intérêt agronomique. *Mem. Ing. D'Etat.* I.N.R.A El Harrach .Alger