



Original Article

Appréciation de la qualité technologique d'une collection de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) cultivée en Algérie

LAMARA Asma^a, FELLAHI Zine El Abidine^{a*}, BENGUEDOUDJ Samira^a et BENMAHAMMED Amar^b

^aDépartement d'Agronomie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi, Bordj Bou Arréridj, Algérie

^bDépartement de Biologie et Écologie Végétales, Laboratoire de Valorisation des Ressources biologiques Naturelles (VRBN), Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Ferhat Abbas, Sétif-1, Algérie

ARTICLE INFOR

Article history:

Received 20 October 2020

Revised 18 Mai 2021

Accepted 15 Jun 2021

Keywords:

Germplasm;

Zeleny;

Proteins;

Gluten;

Hagberg;

Triticum aestivum.

ABSTRACT

The wheat quality requirements are diverse and depend on the wheat species cultivated, the expected end-use product and the environment in which it is produced. In this study, 34 bread wheat varieties were evaluated for several physico-chemical and rheological parameters including thousand-kernel weight, grain moisture content, grain protein content, wet and dry gluten contents, sedimentation Zeleny test value and Hagberg falling number. It was observed that the extreme min and max values vary depending on the genotype evaluated and the test used, suggesting the difficulty of grouping all the desirable characteristics in the same genetic background. The results also show that there was a positive correlation of the Zeleny sedimentation value with grain moisture content, protein content, wet and dry gluten at phenotypic and genotypic levels. This test can be used to predict the wheat technological quality during the milling process. Furthermore, this study offers to breeders' valuable information which, in future breeding programs, can be used to develop high yielding and adapted genotypes, and appreciated by the rheological and technological quality of their end-use product.

© 2021 Faculty of Natural Sciences and Life, University of Echahid Hamma Lakhdar. All rights reserved

1. Introduction

Le blé (*Triticum sp.*) est la principale céréale produite, consommée et transformée en Algérie. Depuis les années 1960, les sélectionneurs ont concentré leurs efforts sur l'amélioration des caractéristiques associées au rendement en grains comme la tolérance au stress hydrique, la résistance au gel et aux maladies, et les composantes du rendement [1]. La production nationale a progressivement augmenté pour répondre aux exigences de la croissance démographique de la population locale en affleurant les 3.98 Mt en 2018 plus que 0.68 Mt en 1961 [2]. Ces progrès remarquables achevés en termes de performance n'ont pas

été aussi efficaces pour l'amélioration de la qualité technologique particulièrement pour le blé tendre (*Triticum aestivum* L.).

La qualité du blé est déterminée par plusieurs propriétés physiques, chimiques et rhéologiques. La teneur et la composition en protéines de réserve (environ 80% des protéines totales) des grains de blé représentent les principaux facteurs déterminant la qualité du blé transformé en produits alimentaires [3]. Ces protéines sont capables d'interagir entre elles et de former un réseau protéique lorsque la farine de blé est mélangée avec l'eau.

* Corresponding author : Fellahi Zine El Abidine

E-mail address: zineelabidine.fellahi@univ-bba.dz / zinou.agro@gmail.com

Peer review under responsibility of University of Echahid Hamma Lakhdar. © 2021 University of Echahid Hamma Lakhdar. All rights reserved.

doi : <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.5047567>.

En fonction de leur solubilité, les protéines de réserve sont classées en albumines (solubles dans l'eau), globulines (solubles dans le sel), prolamines (solubles dans l'éthanol aqueux) et gluténines (restent dans les résidus de farine). La quantité de protéines est influencée par les facteurs environnementaux, tandis que la qualité est déterminée génétiquement. Les propriétés de transformation du blé sont largement déterminées par le taux en gluten qui représente environ 78 à 85% des protéines de l'albumen [4]. Le gluten est un facteur déterminant de la qualité des protéines de sorte que la qualité de la farine est fortement influencée par la quantité de gluten et de ses divers composants. D'après Schofield [5], le gluten est constitué des gluténines et des gliadines qui sont présentes en grains de blé tendre avec des proportions approximativement égales. Le gluten est également associé aux lipides et au pentosane lors de la formation de la pâte. Les génotypes avec un rapport gliadine/gluténine élevé ont tendance à avoir des pâtes visqueuses et extensibles qui sont souvent adaptées à la fabrication de biscuits. Ceux qui ont un faible rapport gliadine/gluténine ont plus d'élasticité et de résistance, ce qui est souhaité pour la panification [6].

Plusieurs critères d'évaluation de la qualité technologique comme le test de Pelschenke, l'indice de sédimentation de Zélény, la capacité d'absorption de l'eau par la farine, l'indice de chute de Hagberg et le volume de sédimentation (SDS) peuvent être utilisés pour fournir des informations précieuses sur la qualité boulangère du blé. Une teneur en gluten plus élevée associée à une meilleure qualité de gluten entraîne une chute plus lente et aboutit à des valeurs de Zélény plus élevées [7]. Selon Williams *et al.* [8], plus le volume de sédimentation du SDS est élevé, plus la force de la protéine est importante. Le taux de gluten humide donne une indication directe de la quantité de gluten présente dans la farine. La valeur de sédimentation de la farine dépend de la composition en protéines du blé et est principalement corrélée à la teneur en protéines, la dureté du grain et le volume du pain. Une corrélation plus forte entre le volume de pain et le volume de sédimentation de Zélény par rapport au volume de sédimentation SDS pourrait être due à la teneur en protéines influençant à la fois le volume et la valeur de Zélény [9].

Tableau 1. Nom et origine des variétés de blé tendre étudiées.

N°	Nom	Origine	N°	Nom	Origine
1	Ain Abid	Espagne	18	Hodna	Acsad-Syrie
2	Akhamokh	Cimmyt-Mexique	19	Mahon-Démias	Iles Baléares-Espagne
3	Almirante	Serasem-France	20	Massine	Cimmyt -Mexique
4	Anapo	Italie	21	Mezghana	Serasem-France
5	Andana	Italie	22	Mimouni	Cimmyt-Mexique

La présente étude a pour objectif d'apprécier la qualité technologique de la farine d'une collection de 34 variétés de blé tendre cultivées en Algérie en utilisant différents tests physico-chimiques, technologiques et rhéologiques.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Matériel végétal

Cette expérience a été effectuée au niveau de l'entreprise AGRO-DIV, moulins des hauts plateaux de Sétif au cours de l'année 2019. Le matériel végétal est constitué d'une collection de 34 variétés de blé tendre inscrites au catalogue officiel algérien [10] et autorisées à la production et à la commercialisation (Tableau 1).

2.2. Préparation des échantillons de farine

Les échantillons de blé tendre sont nettoyés manuellement, toutes les impuretés (graines cassées, graines étrangères, paille, pierre ... etc.) sont débarrassées, seuls les grains sains sont gardés et broyés, à l'état sec, dans un broyeur classique en utilisant une quantité de 400 g par variété.

2.3. Paramètres étudiés

2.3.1. Poids de mille grains

Le poids de milles grains (PMG, g) a été déduit par comptage manuel et pesage de 250 graines pour chaque variété et ce après élimination des impuretés et de grains cassés. Le poids obtenu est multiplié par quatre.

2.3.2. Humidité du grain

La teneur en eau des grains a été déterminée selon la méthode décrite par la norme algérienne 1333/1990-ISO 712, par séchage dans une étuve à pression atmosphérique, réglée à 130°C d'une prise d'essai de 5g pendant 1 heure et demi. La perte de masse est la quantité d'eau présente dans l'échantillon. La teneur en humidité exprimé en pourcentage (H, %) en masse du produit telle qu'il est donné par la formule suivante : $H (\%) = 100 \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \right)$, où : m_0 est la masse de la nacelle métallique vide, m_1 est la masse de la nacelle métallique et de la prise d'essai avant séchage et m_2 est la masse de la nacelle métallique et de la prise d'essai après séchage.

6	Anforeta	Italie	23	Nesser	Icarda-Syrie
7	Anza	Cimmyt-Mexique	24	Orion	Serasem-France
8	Arz	Cimmit-Mexique	25	Pinzon	Espagne
9	Bonpain	France	26	Rmada	Acsad-Syrie
10	Boumerzoug	Cimmyt-Mexique	27	Salama	France
11	Buffalo	Serasem-France	28	Sensas	Serasem-France
12	Djanet	Acsad-Syrie	29	Sidi Okba	Cimmyt-Mexique
13	Djemila	Acsad-Syrie	30	SieteCerros	Cimmyt-Mexique
14	El Wifak	Cimmyt-Mexique	31	Tamezghida	Serasem-France
15	Florence-Aurore	Locale	32	Tidis	Cimmyt-Mexique
16	Guadalupe	France	33	Ziad	Cimmyt-Mexique
17	Hidhab	Cimmyt-Mexique	34	Zidane	Cimmyt-Mexique

Cimmyt : Centre international d'amélioration du maïs et du blé, Icarda : Centre international de recherche agricole dans les zones arides.

2.3.3. Taux de cendres

Les cendres représentent le résidu minéral incombustible obtenu après incinération d'une prise d'essai dans un four à moufle à une température de 900C° jusqu'à combustion complète de la matière organique (norme algérienne A7333/1990-ISO2171). Il est nécessaire d'ajouter de l'éthanol aux échantillons avant l'incinération et ce pour les enflammer (pré-incinération). Après que le produit soit brûlé, on introduit les capsules à l'intérieur du four, et on attend la combustion complète de la totalité du produit qui dure au minimum 4 heures. Le taux de cendres est donné par la formule : $TC (\%) = 100 (PT_i - PV / \text{prise d'essai})$ dont PT_i est le poids total (creusée + prise d'essai) incinéré et PV est le poids vide.

2.3.4. Taux de protéines

Le taux de protéines a été déterminé à l'aide de l'Inframatic de type Perten. Le principe de la méthode d'analyse (norme algérienne ISO/5529-1992) repose sur l'utilisation des rayonnements infrarouges. Il suffit alors de verser 50 à 100g du produit brut broyé, une minute après, les résultats sont affichés sur l'écran de l'appareil.

2.3.5. Teneur en gluten humide et sec

Le gluten est un composé principal de la fraction protéique des blés, insoluble dans les solutions salines, c'est une substance plastoélastique. Il est considéré comme moyen d'estimation de la qualité de la pâte (norme algérienne NA735/1991/ISO5531). La teneur en gluten a été déterminée selon le protocole de Mauze *et al.* [11]. Le principe consiste à broyer 10g de blé, à laquelle on ajoute 5ml d'eau salée et à l'aide d'une spatule un pàton est formé. L'extraction de gluten s'effectue alors par lixiviation manuelle sous un mince filet d'eau. Le gluten humide résultant est essoré, et en suite repesé puis pesé. Le gluten humide (GH, %) exprimé en pourcentage de masse selon la formule : $GH (\%) = 100 \times (\frac{m}{10})$, où : m représente le poids de gluten et le 10 est la prise de

l'essai. Après séchage du gluten humide et à l'aide du Glutock, pendant 3 à 5 mn, on obtient le poids du gluten sec (norme algérienne NA735/1991-ISO6645). Le gluten sec (GS, %) est exprimé en pourcentage des masses rapporté à la matière sèche et est donné comme suit : $GS = m \times \frac{100}{10}$, où : m est poids de gluten sec et le 10 est la prise de l'essai.

2.3.6. Taux de protéines

Le test de Zélény (Sed, %) donne une indication globale sur la quantité et la qualité du gluten. On admet qu'il est en relation avec la force boulangère (22 à 30 / NA 1184-94). L'indice de sédimentation est obtenu en utilisant l'Inframatic.

2.3.7. Indice de chute de Hagberg

C'est un indice qui permet d'évaluer l'activité enzymatique d'un échantillon, les enzymes traités sont les amylases qui hydrolyse amidon en glucose. Le principe repose sur la mesure de la viscosité d'un empois, formé par la gélatinisation d'une suspension aqueuse de produit ou de mouture intégrale placée dans un bain d'eau bouillante, l'évolution de sa viscosité liée à l'activité des enzymes est appréciée par le temps mis par un agitateur pour traverser la préparation sous l'effet de son propre poids. L'indice de chute de Hagberg (Ich, secondes) s'exprime en secondes, il globalise la durée d'agitation de la préparation et celle de la chute d'agitateur.

2.4. Analyse des données

Les données obtenues ont été traitées par une analyse de la variance, à un facteur étudié. La comparaison des moyennes des traitements est faite sur la base du calcul de la plus petite différence significative au seuil de 5% (Ppds5%). Les liaisons entre caractères mesurés ont été analysées en utilisant les corrélations phénotypiques et génotypiques selon Searle [12]. Les composantes phénotypiques, génotypiques et environnementales de la

variance et l'héritabilité au sens large ont été déterminés par la méthode décrite par Acquah [13]. Les données ont été analysées en utilisant le logiciel CoStat (version 6.4, CoHort Software, Monterey, CA, USA) et le programme Excel.

3. Results and Discussion

3.1. Variabilité phénotypique

L'analyse de la variance (ANOVA) a révélé un effet 'génotype' significatif ($p < 0.05$) et très hautement significatif ($p < 0.001$) pour l'ensemble des variables mesurées (Tableau 2). Ces résultats indiquent la présence d'une variabilité assez importante entre les génotypes étudiés. Les valeurs prises par le coefficient de variation sont faibles variant de 3.90% pour le poids de 1000 grains à 23.55% pour le rendement en grains (Tableau 2).

Théoriquement, plus les valeurs de ce paramètre sont élevées moins l'expérience est fiable. Les résultats de cette étude suggèrent très peu d'erreurs et une bonne précision de la manipulation des tests conduits. La variation due à l'effet 'génotype' représente quasi-totalité de la variation totale observée, tous les caractères inclus. La variation due au facteur contrôlé 'répétition' ainsi que la variation 'résiduelle' sont négligeables telle qu'elle est indiquée par les carrés moyens de l'ANOVA (Tableau 2). L'étude des valeurs moyennes indique que les valeurs extrêmes minimales et maximales sont variables d'un caractère à un autre et d'un génotype à un autre, aucune variété ne présente les valeurs désirées pour l'ensemble des caractères à la fois. Ce résultat reflète la difficulté d'identifier des génotypes qui rassemblent toutes les caractéristiques souhaitées à la fois.

Tableau 2. Carrés moyens de l'analyse de la variance des variables étudiées.

SV	ddl	PMG	Hum	TC	Pro	GH	GS	Sed	Ich
Rep	2	4.79	2.17	0.01	2.55	19.12	1.25	12.74	15046.71
Génotype	33	36.1***	0.4*	0.6***	3.3***	51.2***	3.7***	68.3***	19432.9***
Erreur	66	2.41	0.26	0.01	0.64	6.78	0.50	3.84	5554.95
CV (%)		3.90	4.48	5.39	5.31	8.11	6.40	7.15	14.32

SV: Source de variation, ddl : degré de liberté, PMG: Poids de 1000 grains, H: Humidité du grain, TC: Taux de cendres, Pro: Taux de protéines, GH: Gluten humide, GS: Gluten sec, Sed: Indice de sédimentation, Ich: Indice de chute, CV: Coefficient de variation, * et *** : Différences significatives et très hautement significatives au seuil de 5% et 0.1%, respectivement.

3.1.1. Poids et humidité du grain

Les moyennes du poids de mille grains (PMG) varient de 32.04 pour Mezghana à 47.17g pour El Wifak au tour d'une moyenne de 39.75g (Tableau 3). Relativement à la valeur moyenne du PMG, treize variétés (47.05%) affichent des écarts positifs dont huit variétés (61.53%) appartiennent à la classe]40.90 - 42.71] de la distribution fréquentielle du PMG (Fig 1). Le poids de mille grains est un indicateur du mode d'élaboration du rendement et des problèmes rencontrés par le blé lors de la phase de remplissage tels que le sirocco et les attaques des insectes ou de certaines maladies cryptogamiques [14]. C'est aussi un indicateur de la qualité meunière dans les industries de première transformation [15].

La taille du grain est une caractéristique essentiellement variétale [16], fortement héritable et contrôlée par des effets géniques additifs [17,18]. Elle dépend également des facteurs agronomiques et environnementaux qui entraînent

la synthèse et l'accumulation plus ou moins importante des protéines de réserve dans l'albumen [19]. Castro *et al.* [20] ont exposés des plants de 14 variétés de blé tendre à des températures élevées (35°C) pendant la phase de remplissage du grain et ont conclu que le stress thermique serait à l'origine, non seulement à une baisse du poids des grains, mais aussi à l'altération de leurs qualité technologique. D'autre part, l'étude de Labuschagne *et al.* [21] ont montré que les basses températures lors de la maturité précoce des grains sont également une source appréciable de la réduction de ce caractère. Un manque d'eau après la floraison, combiné aux températures élevées, entraîne alors une diminution dramatique 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 comme indiqué par plusieurs chercheurs dont Prasad *et al.* [22] et Mahrookashani *et al.* [23].

Tableau 3. Valeurs moyennes des variables étudiées.

Variable	Moyenne	Moyenne min.	Moyenne max.	Ecart-type	Ppds (5%)
PMG	39.75±0.60	32.04	47.17	3.47	2.53
H	11.28±0.06	10.33	11.93	0.37	0.82
TC	1.59±0.04	1.18	2.03	0.22	0.14
Pro	15.05±0.18	12.80	17.23	1.04	1.30
GH	32.10±0.71	26.42	45.27	4.13	4.24

GS	11.09±0.19	8.67	13.00	1.11	1.16
Sed	27.38±0.82	17.00	34.33	4.77	3.19
Ich	520.35±13.80	313.00	625.00	80.48	121.50

PMG: Poids de 1000 grains (g), H: Humidité du grain (%), TC: Taux de cendres (%), Pro: Taux de protéines (%), GH: Gluten humide (%), GS: Gluten sec (%), Sed: Indice de sédimentation (%), Ich: Indice de chute (secondes).

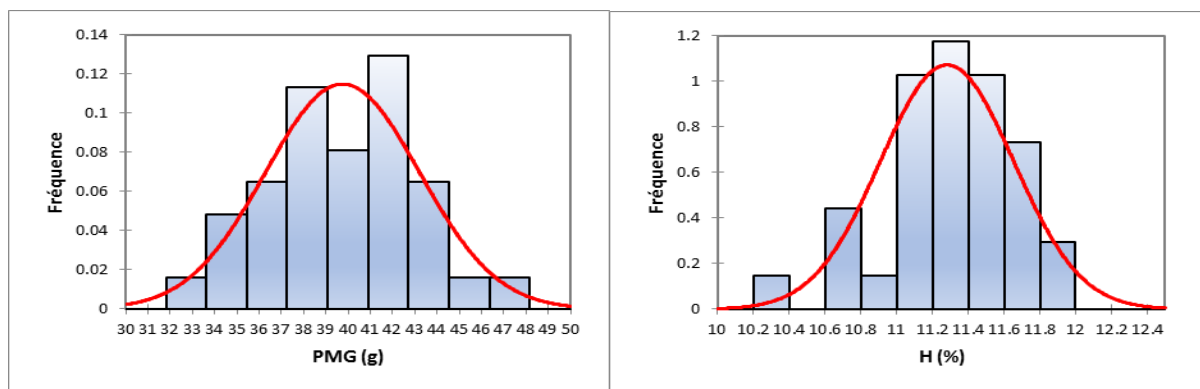


Fig 1. Distribution fréquentielle des valeurs moyennes du poids de milles grains (à gauche) et du pourcentage d'humidité du grain (à droite).

Quoique l'analyse de la variance a montré un effet génotype significatif, les différentes valeurs d'humidité enregistrées sont presque semblables ; les variétés testées ont un pourcentage d'humidité compris entre 10.33%, valeur minimale mesurée chez Anforeta à 11.93%, valeur maximale prise chez la variété Zidane avec une moyenne générale de 11.28% (Tableau 3). D'après El Hadeff El Okki [24], la détermination de la teneur en eau du grain présente de nombreux intérêts. Elle conditionne la précision des divers résultats rapportés à la matière sèche et détermine les conditions de stockage et de conservation des produits. Elle présente également un intérêt commercial et réglementaire où les contrats commerciaux et les normes réglementaires fixent des seuils de la teneur en eau. Dans le cas de la présente étude, les valeurs prises par cette variable sont inférieures à la valeur maximale (14.5%) exigée du Codex STAN 178-1991 (Tableau 3). [11.2 - 11.4] est la classe la plus représentative et est formée de 8 variétés soit 23.52% du total étudié (Fig 1). Cette teneur nous renseigne également sur la quantité d'eau à ajouter

pour ramener l'humidité du grain à 16.5% dans le but d'avoir un bon taux d'extraction lors de la mouture [25]. Les faibles différences observées peuvent être dues à plusieurs paramètres dont entre autres les différences variétales, les types de sol, l'humidité de la saison, les conditions de récolte et de stockage des échantillons.

3.1.2. Taux de cendres et teneur en protéines du grain

Les valeurs moyennes du taux de cendre oscillent entre 1.18%, valeur minimale mesurée chez la variété Mahon-Démias et 2.03%, valeur maximale enregistrée chez Buffalo, autour d'une moyenne générale de 1.59% (Tableau 3). Huit variétés (23.52%) parmi les 34 étudiées appartiennent à la classe modale [1.75 - 1.85] et dix-huit variétés (52.94%) affichent des écarts négatifs dans le sens désiré de la sélection (Fig 2). Ceux les plus importants sont ceux exhibés par Mahon-Démias, Djemila, Djanet, Nesser et Anapo appartiennent aux trois premières classes de la distribution fréquentielle de la variable considérée (Fig 2).

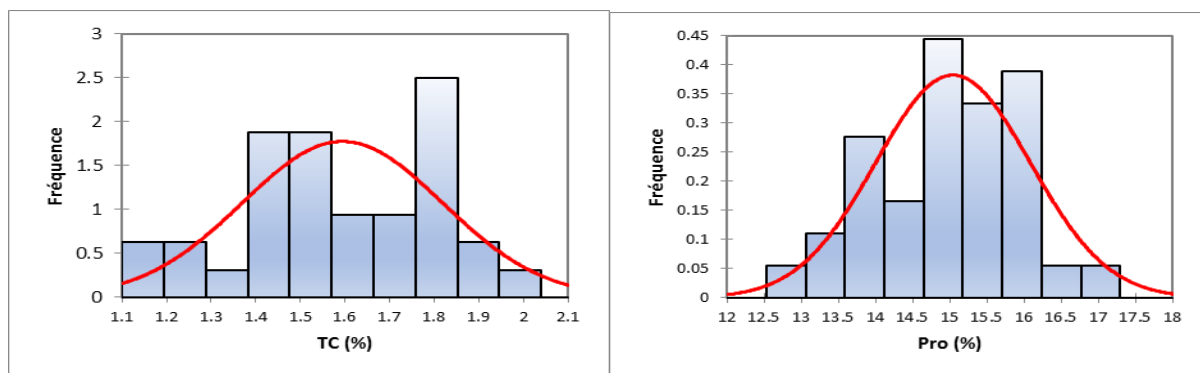


Fig 2. Distribution fréquentielle des valeurs moyennes du taux de cendres (à gauche) et de la teneur en protéines (à droite).

La teneur en cendres du blé est une expression de la richesse en éléments minéraux. C'est une caractéristique de pureté de la farine qui augmente avec le taux d'extraction. Le taux de cendres peut varier considérablement en fonction de la région, des conditions climatiques et la proportion des enveloppes pendant la croissance [26]. Il présente un intérêt essentiellement réglementaire et permet de classer les farines selon les types définis par la réglementation. Nos résultats permettent ainsi de conclure qu'à l'exception de Djemila et Mahon-Démias qui présentent une farine complète (taux de cendres compris entre 1 et 1.20%), toutes les autres variétés évaluées ont une farine intégrale dont la teneur en cendres dépasse les 1.20%. Autre que l'effet génotypique, la non-conformité en taux de matières minérales est due aussi à un mauvais nettoyage des blés, et à une extraction poussée conduisant à la contamination des farines par les enveloppes et la couche à aleurone conduisant ainsi à l'augmentation du taux de cendres [27].

Les données du tableau 3 indiquent aussi que la variété Akhamokh enregistre la teneur en protéines la plus importante (17.23%), alors que la plus faible valeur pour cette variable est notée chez Hidhab (12.80%), autour d'une moyenne générale de 15.05%. Relativement cette dernière, douze variétés (35.29%) affichent des écarts positifs dont 8 variétés (66.67%) appartiennent à la classe modale [14.65 - 15.18] de la distribution fréquentielle du caractère en question (Fig 2). Akhamokh et Arz qui représentent les deux dernières classes sont celles les plus intéressantes en termes d'amélioration de la teneur en protéines via la sélection artificielle. Plusieurs études ont montré qu'en plus de leur quantité, la composition des protéines du blé tendre est un facteur déterminant de la

qualité boulangère de la farine. La teneur en protéines du grain du blé est conditionnée d'après les auteurs d'un côté par le facteur génotype et d'un autre côté par les conditions culturales telles que le niveau d'apport azoté, le stade de maturité du grain, l'année de récolte et du lieu de culture [28,29,30]. Une bonne efficacité d'utilisation de l'azote par la plante et un transfert efficace de celui-ci de la partie végétative vers le grain au cours du remplissage aboutissent souvent à l'accumulation et l'augmentation du taux des protéines dans l'albumen du grain. Le blé est l'unique céréale en ce que son produit moulu (la farine) lorsqu'elle est mélangée avec de l'eau, est capable de former une pâte qui retiendra le gaz dégagé pendant la fermentation et, lors de la cuisson, donnera une mie de pain légère et bien aérée. Cette caractéristique unique du blé est dérivée de ses protéines qui, en se combinant avec de l'eau pendant le processus de mélange, produisent du gluten, la substance réelle qui confère la propriété de rétention de gaz à la pâte [30].

3.1.3. Teneurs en glutens humide et sec

Pour le gluten humide (GH), les moyennes varient de 26.42% à 45.27%, respectivement pour Buffalo et Mahon-Démias (Tableau 3). La figure 3 montre que les 34 génotypes étudiés se répartissent en cinq classes dont 29.41% (soit 10 variétés) se retrouvent à l'intérieur de la classe [27.88 - 30.50]. Elle met en évidence que plus de la moitié des génotypes (52.94%) dépassent la moyenne générale de GH (32.10%). L'écart positif le plus souhaité (sens désiré de la sélection) est celui de la dernière classe [43.64 - 46.27] représenté par Mahon-Démias qui semble la variété la plus recommandée comme géniteur pour améliorer la teneur en gluten (Fig 3).

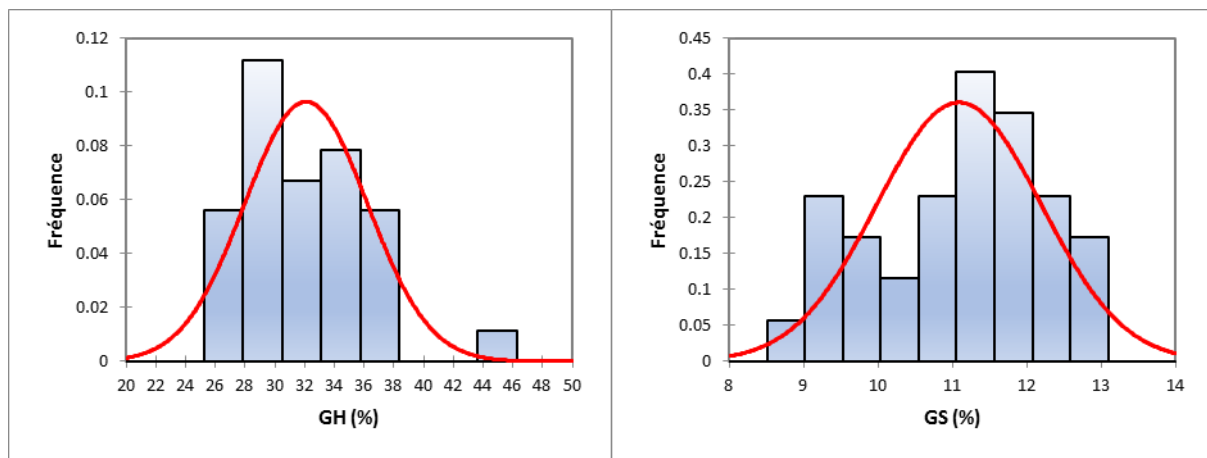


Fig 3. Distribution fréquentielle des valeurs moyennes des teneurs en gluten humide (à gauche) et sec (à droite).

La même tendance est marquée pour le taux de gluten sec (GS) qui varie de 8.67%, valeur minimale mesurée chez Guadalupe à 13%, valeur maximale observée chez Mahon-Démias autour d'une moyenne globale de 11.09%

(Tableau 3). En effet, 55.88% soit dix-neuf variétés exhibent des écarts positifs dont 36.84% appartiennent à la classe [11.06 - 11.57] (Fig 3). Ceux les plus importants sont exprimés par Mahon-Démias, Anza et Djanet

représentant la dernière classe]11.06 - 11.57] de la distribution fréquentielle du taux de gluten sec (Fig 3). Pasha *et al.* [31] ont étudié les paramètres de qualité de cinquante cultivars de blé au cours de deux années consécutives et ont conclu que le gluten humide n'est affecté que par l'effet variété, tandis que le gluten sec est influencé de plus par l'effet année et leur interaction. Ces auteurs ont obtenus des valeurs comprises entre 8.0-43.13% et 2.58-14.55%, respectivement pour GH et GS. Le gluten représente 80 à 85% des protéines de la farine de blé. Selon Edwards [30], il est constitué essentiellement par la fraction insoluble des protéines (les prolamines) et présente la caractéristique de pouvoir former un réseau viscoélastique dont les propriétés d'extensibilité, d'élasticité et de ténacité ont une influence sur le comportement des pâtes en cours de fabrication et sur la qualité du produit fini (pain, biscuit, pâte, etc.). Une teneur élevée en gluten humide pourrait être due à une forte absorption de l'eau, plus le gluten absorbe de l'eau, plus la différence est grande entre le gluten humide et sec, plus le gluten est de bonne qualité.

3.1.4. Indices de sédimentation et de chute

La variété Anza exprime la plus grande valeur de l'indice de sédimentation (34.33), alors que la plus faible valeur pour cette variable est notée chez Guadalupe (17.00), autour d'une moyenne générale de 27.38 (Tableau 3). Près de deux tiers (61.76%), soit 21 variétés affichent des écarts positifs dont plus de la moitié (52.38% soit 11 variétés) appartiennent à la classe]27.73 - 30.26] de la distribution fréquentielle de l'indice de sédimentation (Fig 4). Dans la mesure d'améliorer cette variable, Anza, Nesser et Hodna représentant la dernière classe]32.79 - 35.33] (Fig 4), sont les variétés les plus attirantes pour améliorer l'indice de Zélény.

L'indice de Zélény serait relié à la force boulangère des farines, on admet qu'il existe une relation entre cet indice et la teneur en protéines du grain de blé [26]. C'est est aussi un bon indicateur de la qualité des protéines, son utilisation est très remarquable pour le blé tendre, parfois ce paramètre est exigé lors des transactions commerciales. En utilisant la technique NIR, Hrušková et Faměra [7] ont trouvé des valeurs de sédimentation de Zélény comprises entre 17 à 66 pour 318 cultivars de blé.

Pour l'indice de chute, ses valeurs varient de 313.00s, pour la variété Sidi Okba à 625.00s, pour Anforeta (Tableau 3). Douze cultivars (35.29%) affichent des écarts négatifs par rapport à la valeur moyenne générale (520.35s) de la variable étudiée et ce dans le sens désiré de la sélection. Zidane, la seule variété qui représente la première classe [300 - 333] de la distribution fréquentielle (Fig 4), mérite d'être utilisée comme un bon géniteur pour améliorer l'indice de chute via la sélection.

L'indice de chute permet de déterminer indirectement la teneur en α amylase d'une farine donnée. Cette dernière est inversement proportionnelle au temps de chute de Hagberg et positivement corrélée avec la qualité du pain [32]. Considérant que plus la teneur en α amylase de la farine est élevée, plus l'amidon est hydrolysé, plus la consistance de l'emploi formé lors du chauffage de la suspension est faible, et plus le viscosimètre descend rapidement dans le produit [31]. A un temps de chute trop court on aura des pâtes collantes, un pain qui se déchire, une mie d'apparence grasse et une croûte fortement colorée. Au contraire, à un temps de chute trop long on aura une fermentation lente, un pain insuffisamment développé et une croûte pâle.

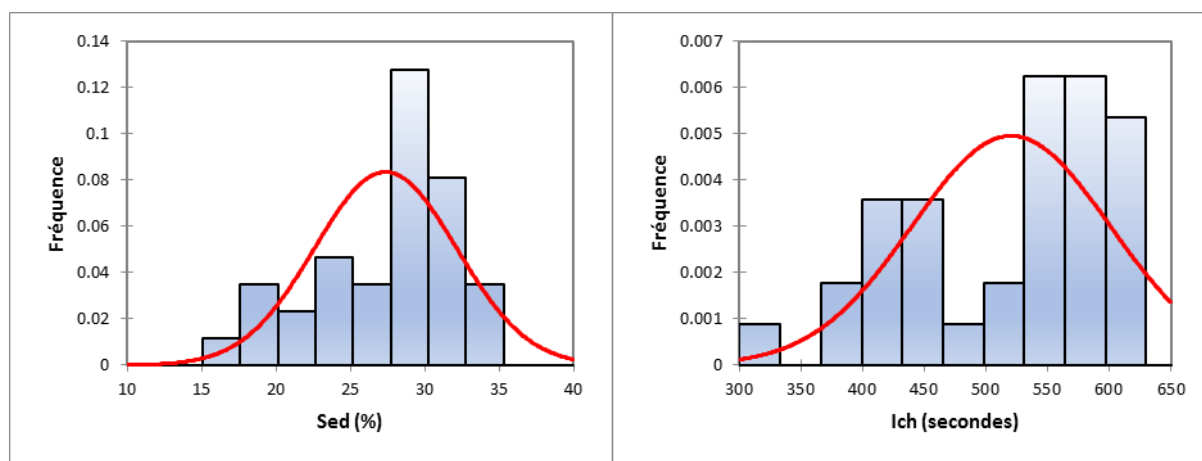


Fig 4. Distribution fréquentielle des valeurs moyennes des indices de sédimentation (à gauche) et de chute (à droite).

3.2. Analyse des liaisons inter-caractères

Les coefficients de corrélations phénotypiques et génotypiques sont des paramètres importants en amélioration du blé [33], ils sont utilisés pour déterminer le degré d'association entre paire de caractères mesurés. Lorsque la valeur prise par le coefficient de corrélation est proche de l'unité, elle est indicatrice de la dépendance des deux caractères, dont les gènes impliqués dans le contrôle génétique sont soit liés ou montrent un effet pléiotropique. Dans ce cas, si on connaît les valeurs d'un des deux caractères, on peut prédire les valeurs de l'autre caractère. La sélection de l'un conduit à la sélection de l'autre caractère simultanément [13]. Un coefficient de corrélation de valeur zéro indique, par contre, que les deux caractères pris en considération sont indépendants l'un de l'autre du

point de variation, donc ils peuvent être considérés comme étant sous contrôle génétique de gènes indépendants [34].

Les coefficients de corrélation entre les caractères mesurés sont donnés dans le tableau 4. Sur le plan phénotypique et génotypique, les résultats indiquent que le taux de cendres est négativement corrélé avec le poids de mille grains, le taux de gluten humide et sec. Ce dernier est positivement corrélé au gluten humide et au taux de protéines qui présentent eux-mêmes des liaisons positives et significatives avec l'indice de sédimentation. En plus de sa liaison avec les protéines, l'indice de sédimentation de Zélény est fortement et positivement associé aux glutens humide et sec. Ces résultats indiquent que les génotypes à gros grains possèdent un taux de cendre réduit, des teneurs en gluten sec, humide et en protéines élevées.

Tableau 4. Coefficients de corrélation phénotypique (en dessus de la diagonale) et génotypique (en dessous de la diagonale) entre les variables étudiées.

Variable	PMG	H	TC	Pro	GH	GS	Sed	Ich
PMG		-0.0435	-0.4394	-0.0025	0.0412	0.0858	-0.1234	-0.2919
Hum	-0.0760		0.0199	0.0412	0.1045	0.0010	0.2261	0.0125
TC	-0.4617	0.0511		0.0934	-0.3425	-0.4439	-0.0542	0.0326
Pro	-0.0265	0.0383	0.0795		0.2926	0.4364	0.8013	0.1532
GH	0.0476	0.0921	-0.3694	0.3176		0.8609	0.3803	-0.1384
GS	0.0902	-0.1408	-0.4816	0.4997	0.8918		0.5392	-0.0236
Sed	-0.1334	0.3542	-0.0665	0.8591	0.4217	0.6028		0.3233
Ich	-0.3424	0.1306	0.0284	0.1882	-0.2033	-0.0123	0.3747	

PMG: Poids de 1000 grains, H: Humidité du grain, TC: Taux de cendres, Pro: Taux de protéines, GH: Gluten humide, GS: Gluten sec, Sed: Indice de sédimentation, Ich: Indice de chute, Valeurs en gras diffèrent significativement de 0 au seuil de 5%.

Génotypiquement, le poids de mille grains est négativement lié avec l'indice de chute. Ce dernier est positivement corrélé avec l'indice de sédimentation qui présente aussi une association positive et significative avec l'humidité du grain. L'association non significative entre certains caractères, au niveau phénotypique, indique que l'effet environnement a agi dans un sens positif chez certaines variétés et dans l'autre sens chez d'autres, rendant ainsi ces relations moins évidentes [35]. Globalement, les génotypes possédant un poids du grains réduit ont une qualité technologique médiocre et vice-versa.

Dans la littérature, beaucoup de recherches ont mis en évidence la relation entre les caractéristiques des grains. Najafian [36] a étudié la relation entre 11 indices d'évaluation de la qualité de la panification chez 896 génotypes de blé tendre évalués au cours de 7 saisons successives et a constaté que la plupart de ces indices exhibent des corrélations positives et significatives à l'exception du poids de mille grains qui présente des liaisons négatives avec la teneur en protéines, la teneur en gluten humide, l'indice de sédimentation de Zélény, le

volume du pain et le degré d'absorption de l'eau par la farine.

Compte tenu de toutes les relations et informations extraites à l'aide de ces indices. Najafian [36] a conclu que la teneur en protéines, l'indice de chute et la dureté des grains sont révélés d'être les plus informatifs et les plus pratiques en pour l'évaluation de la qualité des grains de blé tendre.

3.3. Estimation des paramètres génétiques et non génétiques

Dans un programme d'amélioration de blé, l'efficacité de sélection pour un caractère particulier dans une population dépend en grande partie des facteurs génétiques et non-génétiques affectant l'expression phénotypique [17,37,38]. Les coefficients de la variation phénotypiques et génotypiques, le degré de détermination de l'héritabilité au sens large sont donnés au tableau 5. Les CV_p et CV_g varient en fonction du caractère analysé. Ils présentent des valeurs faibles pour le poids de mille grains, la teneur en eau, en protéines et en gluten sec avec des estimations inférieures à 10%. Ils sont justes moyens pour les autres

caractères dont leurs valeurs sont comprises entre 10 et 20%. Un coefficient de valeur élevée est indicateur d'une plus grande variabilité entre les géotypes pour le caractère

considéré et à l'inverse un coefficient de variation de faible valeur et indicateur d'une faible variabilité entre les différents géotypes étudiés [33,35].

Tableau 5. Résultats des paramètres génétiques et non génétiques des variables étudiées.

Paramètres	PMG	H	TC	Pro	GH	GS	Sed	Ich
σ_p^2	12.05	0.14	0.05	1.09	17.09	1.22	22.78	6477.65
σ_e^2	0.80	0.09	0.00	0.21	2.26	0.17	1.28	1851.65
σ_g^2	11.25	0.05	0.05	0.88	14.83	1.05	21.50	4626.00
H^2_{st} (%)	93.34	38.49	95.13	80.49	86.79	86.26	94.39	71.41
CV_p (%)	8.73	3.30	14.10	6.93	12.88	9.97	17.43	15.47
CV_g (%)	8.44	2.05	13.75	6.22	12.00	9.26	16.93	13.07
CV_g/CV_e	2.16	0.46	2.55	1.17	1.48	1.45	2.37	0.91

PMG: Poids de 1000 grains, H: Humidité du grain, TC: Taux de cendres, Pro: Taux de protéines, GH: Gluten humide, GS: Gluten sec, Sed: Indice de sédimentation, Ich: Indice de chute, σ_p^2 : Variance phénotypique, σ_e^2 : Variance environnementale, σ_g^2 : Variance génotypique, H^2_{st} : Héritabilité au sens large, CV_g : Coefficient de variation génotypique, CV_e : Coefficient de variation environnementale.

Ceci suggère que ces caractères sont moins affectés par la variation du milieu. Par contre, des valeurs inférieures à 1 (cas de l'humidité du grain), suggèrent un effet important de l'environnement sur l'expression de la variabilité phénotypique des caractères concernés. Ces résultats sont confirmés par les valeurs prises par l'héritabilité au sens large qui représente la part de la variabilité génétique par rapport à la variabilité phénotypique totale observée. Les valeurs prises par ce coefficient sont élevées (> 60%) pour toutes les variables, hormis l'humidité du grain confirmant que ce dernier est fortement influencé par la variation du milieu (Tableau 5). En étudiant les caractéristiques de la qualité boulangère de 21 combinaisons hybrides F2 d'un croisement en demi-diallèle impliquant sept cultivars de blé tendre, Yazici et Bilgin [39] ont trouvé des valeurs élevées de l'héritabilité au sens étroit pour l'indice de sédimentation de Zélény, le rapport de la valeur de sédimentation de Zélény au contenu en protéines de grain, le poids de mille grains et l'indice de gluten. Ces auteurs ont conclu qu'un bon succès sera obtenu si la sélection est effectuée pour ces caractères gouvernés par des effets de gènes additifs.

4. Conclusion

Les résultats indiquent des différences génotypiques significatives à très hautement significatives pour l'ensemble des caractères mesurés. La présence de la variabilité est consolidée par les valeurs prises par le CV_g dont ces valeurs excèdent les 10%. Les valeurs extrêmes minimales et maximales sont variables d'un caractère à un autre et d'un géotype à un autre. Aucun géotype ne présente les meilleures valeurs pour tous les caractères

dans le sens désiré de la sélection. Les caractères mesurés sont fortement héritables tel qu'indiqué par le degré de détermination génotypique au sens large et l'indice de variation, à l'exception pour l'humidité du grain qui demeure sous influence du milieu. Akhamokh et Arz possèdent les teneurs en protéines les plus importantes. Les teneurs en gluten humide et sec sont enregistrées chez Mahon-Démias qui exhibe aussi le meilleur taux de cendres tandis que la valeur de Zélény la plus élevée est notée chez Anza, Nesser et Hodna résultant en une meilleure qualité de gluten. L'indice de sédimentation de Zélény est positivement corrélé avec la teneur en protéines, le gluten humide et sec, indiquant son importance sur lesdites caractéristiques de qualité ci-dessus. Cet indice peut être utilisé comme un critère de sélection facile, rapide et à haut débit dans les programmes de sélection pour améliorer la quantité et la qualité de gluten du blé tendre.

Remerciements

Les auteurs remercient le Directeur et le personnel du laboratoire de l'entreprise AGRO-DIV, moulins des hauts plateaux de Sétif pour leur assistance technique lors de la réalisation de cette expérience.

Conflit d'intérêt

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflit d'intérêts

References

1. Benbelkacem A. The history of wheat breeding in Algeria. Proceedings of the International Symposium on Genetics and breeding of durum wheat, Rome, 27-30 MAY 2013. Publication of: Porceddu (E), Damania (AB), Qualset (CO). 2014.
2. FAOSTAT. Food and Agriculture Data, <http://www.fao.org/faostat> (23 JUNE 2020)
3. Shewry PR, Halford NG, Belton PS, Tatham AS. The structure and properties of gluten: an elastic protein from wheat grain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. 2002, 357;1418:133-142.
4. Weegels PL, Hamer RJ, Schofield JD. Functional properties of wheat glutenin. *J Cereal Sci*. 1996, 23;1:1-17.
5. Schofield JD. Wheat proteins: Structure and functionality in milling and bread-making. In: *Wheat: Production, Properties and Quality*. UK: Blackie Academic and Professional, Glasgow; 1994.
6. Shewry PR, Tatham AS. *Wheat*. UK: The Royal Society of Chemistry, Cambridge CB4 0WF; 2000.
7. Hrušková M, Faměra O. Prediction of wheat and flour Zeleny sedimentation value using NIR technique. *Czech J Food Sci*. 2003, 21;3:91-96.
8. Williams P, El-Haramein FJ, Nakkoul H, Rihawi S. *Crop Quality Evaluation Methods and Guidelines*. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Syria: Aleppo; 1986.
9. Shewry PR, Tatham AS, Forde J, Kreis M, Mifflin BJ. The classification and nomenclature of wheat gluten proteins: a reassessment. *J Cereal Sci*. 1986, 4;2:97-106.
10. CNCC. *Bulletin des variétés de céréales autogames*. Edition du Centre National de Contrôle et de Certification des Semences et plants, Algérie: CNCC; 2015.
11. Mauze C, Richard M, Scotti G. *Guide pratique : contrôle de la qualité des blés*. France: ITCF; 1972.
12. Searle SR. Phenotypic, genetic and environmental correlations. *Biometrics*. 1961, 17;3:474-480.
13. Acquaah G. *Principals of plant genetics and breeding*. UK: Blackwell Publishing, Exford; 2007.
14. Wang L, Ge H, Hao C, Dong Y, Zhang X. Identifying loci influencing 1,000-kernel weight in wheat by microsatellite screening for evidence of selection during breeding. *PLoS One*. 2012, 7;2:e29432.
15. Botwright TL, Condon AG, Rebetzke GJ, Richards RA. Field evaluation of early vigour for genetic improvement of grain yield in wheat. *Aust J Agric Res*. 2002, 53;10:1137-1145.
16. Gegas VC, Nazari A, Griffiths S, Simmonds J, Fish L, Orford S, Sayers L, Doonan JH, Snape JW. A genetic framework for grain size and shape variation in wheat. *The Plant Cell*. 2010, 22;4:1046-1056.
17. Hannachi A, Fellahi Z, Rabti A, Guendouz A, Bouzerzour H. Combining ability and gene action estimates for some yield attributes in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). *J Fundament Appl Sci*. 2017, 9;3:1519-1534.
18. Salmi M, Benmahammed A, Benderradji L, Fellahi Z, Bouzerzour H, Oulmi A, Benbelkacem A. Generation means analysis of physiological and agronomical targeted traits in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cross. *Rev Fac Nac Agron Medellin*. 2019, 72;3:8971-8981.
19. Shantha N, Tripathi S, Singh GP, Chaudhary HB. Effect of genotype and environment on quality traits and grain yield of wheat. *Indian J Genet Plant Breed*. 2007, 27;2:149-152.
20. Castro M, Peterson CJ, Dalla Rizza M, Dellavalle PD, Vázquez D, Ibanez V, Ross A. Influence of heat stress on wheat grain characteristics and protein molecular weight distribution. Proceedings of the 7th International Wheat Conference, Mar del Plata, Argentina, 27 NOVEMBER-2 DECEMBER 2005. Publication of: Buck (HT), Nisi (JE), Salomon (N). 2007.
21. Labuschagne MT, Elago O, Koen E. Influence of extreme temperatures during grain filling on protein fractions, and its relationship to some quality characteristics in bread, biscuit, and durum wheat. *Cereal chem*. 2009, 86;1:61-66.
22. Prasad PVV, Pisipati SR, Momčilović I, Ristic Z. Independent and combined effects of high temperature and drought stress during grain filling on plant yield and chloroplast EF-Tu expression in spring wheat. *J Agron Crop Sci*. 2011, 197;6:430-441.
23. Mahrookashani A, Siebert S, Hüging H, Ewert F. Independent and combined effects of high temperature and drought stress around anthesis on wheat. *J Agron Crop Sci*. 2017, 203;6:453-463.
24. El Hadeif El Okki L. Valeurs d'appréciation de la qualité technologique et biochimique des nouvelles obtentions variétales de blé dur en Algérie. Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas Sétif 1, 2015.
25. Delwiche SR. Wheat endosperm compressive strength properties as affected by moisture. *Trans ASAE*. 2000, 43;2:365-373.
26. Feillet, P. *Le grain de blé composition et utilisation*. Paris: INRA; 2000.
27. Rababah T, Alu'datt M, Al-Mahasneh M, Gammoh S, Al-Obaidy M, Tha'er Ajouly VBN. The effect of different flour extraction rates on physicochemical and rheological characteristics. *Bulg J Agric Sci*. 2019, 25;3:581-588.
28. Zhang Y, Zhang Y, He ZH, Ye GY. Milling quality and protein properties of autumn- sown Chinese wheats evaluated through multi-location trials. *Euphytica*. 2005, 143;1-2:209-222.
29. Otteson BN, Mergoum M, Ransom JK. Seeding rate and nitrogen management on milling and baking quality of hard red spring wheat genotypes. *Crop Sci*. 2008, 48;2:749-755.
30. Edwards M. Morphological features of wheat grain and genotype affecting flour yield. Australia: PhD Thesis, Southern Cross University, Lismore, NSW; 2010.
31. Pasha I, Anjum FM, Butt MS, Sultan JI. Gluten quality prediction and correlation studies in spring wheats. *J food qual*. 2007, 30;4:438-449.
32. Belderok B, Mesdag J, Mesdag H, Donner DA. *Bread-making quality of wheat: a century of breeding in Europe*. Springer Science & Business Media; 2000.
33. Fellahi Z, Hannachi A, Guendouz A, Rabti A, Bouzerzour H. Héritabilité, corrélations et gain de sélection précoce en F2 de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) sous conditions semi-arides. *JARA*. 2019, 13;2:37-49.
34. Garcia del Moral LF, Rharrabti Y, Elhani S, Martos V, Royo C. Yield formation in Mediterranean durum wheat under two contrasting water regimes based on path-coefficient analysis. *Euphytica*. 2005, 143:213-222.
35. Fellahi Z, Hannachi A, Guendouz A, Bouzerzour H, Boutekrabi A. Genetic variability, heritability and association studies in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Electron J plant breed*. 2013, 4;2:1161-1166.

36. Najafian G. Study of relationship among several bread making quality assessment indices in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) using correlation analysis. *Qual Assur Saf Crop Foods*. 2012, 4;3:148-148.
37. Fellahi Z, Hannachi A, Oulmi A, Bouzerzour H. Analyse des aptitudes générale et spécifique à la combinaison chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.). *Rev Agric*. 2018, 9;1:60-70.
38. Fellahi Z, Hannachi A, Bouzerzour H. Expected genetic gains from mono trait and indexes based selection in advanced bread wheat (*Triticum aestivum* L.) population. *Rev Fac Nac Agron Medellín*. 2020, 73;2:9131-9141.
39. Yazici E, Bilgin O. Heritability estimates for milling quality associations of bread wheat in the Northwest Turkey. *Int J Res Agron*. 2019, 2;2:17-22.

Recommended Citation

Lamara A, Fellahi Z, Benguedoudj S, Benmahammed A. Appréciation de la qualité technologique d'une collection de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) cultivée en Algérie. *Algerian Journal of Biosciences*. 2021, 02(01):019-029.
doi : <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.5047567> .

Or

Recommended Citation

Lamara A, Fellahi Z, Benguedoudj S, Benmahammed A. Appréciation de la qualité technologique d'une collection de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) cultivée en Algérie. *Alger. j. biosciences*. 2021, 02(01):019-029.
doi : <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.5047567>



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)