

Impact du renforcement du couscous par des légumineuses alimentaires sur le profil biochimique et microbiologique

**Guirrou Ibtissame ⁽¹⁾, Kassimi Charafeddine ⁽¹⁾, Fatemi Zain El Abidine ⁽¹⁾,
Daoui Khalid ⁽¹⁾ et Noutfia Younès ⁽²⁾**

guirrouibtissame@yahoo.fr

1 : CRRA de Meknès, Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Avenue Ennasr, BP 415 Rabat Principale, 10090 Rabat, Maroc.

2 : Département Agroalimentaires et qualité, Division scientifique, Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Avenue Ennasr, BP 415 Rabat Principale, 10090 Rabat, Maroc.

Résumé

L'association des légumineuses et des céréales, dans des préparations alimentaires, permet d'une part à notre organisme de disposer de l'ensemble des acides aminés essentiels (en lysines et méthionines) ; et d'autre part, permet aussi de renforcer la teneur en fibres, en divers minéraux et vitamines du groupe B. Cette association permet d'obtenir un taux d'assimilation en protéines de 30 à 50% plus important que si elles étaient consommées séparément. L'objectif de cette étude est de comparer la qualité d'un couscous renforcé en légumineuses (fève, pois-chiche et lentille) à 30% et 50% avec un couscous à base du blé uniquement. Cette comparaison a été basée sur des tests physiques (humidité, activité de l'eau, indice de gonflement et indice de couleur), des tests biochimiques (fibres alimentaires, taux de protéines, cendres, matière grasse et glucides) et des tests microbiologiques (germes totaux, levures et moisissures). Les résultats obtenus ont montré que le couscous à base de légumineuses présente une activité d'eau ($a_w=0,52$) nettement plus faible comparativement au couscous à base du blé uniquement ($a_w=0,62$) ; ce qui témoigne d'une bonne aptitude à la conservation pour le couscous fortifié. La qualité nutritionnelle du couscous à base de légumineuses (taux des cendres, protéines et fibres alimentaires) est plus appréciable que celle du couscous à base de blé dur. Plus que le couscous est riche en légumineuses plus sa richesse nutritionnelle est importante (moins de matières grasses et de glucides). Néanmoins, le couscous renforcé en pois-chiche est moins riche en protéines (10,21g/100g MS) que celui à base de blé (12,10g/100g MS). Sur le plan microbiologique, il a été constaté aussi que la charge microbienne (en germes totaux, levures et moisissures) diminue avec le taux de fortification du couscous renforcé en légumineuses alimentaires.

Mots clés : couscous, légumineuse, blé, fortification, valeur nutritionnelle, charge microbienne.

Impact of couscous reinforcement with pulses on the biochemical and microbiological profile

Abstract

Combining pulses and cereals allows our body to have all the essential amino acids (in lysines and methionines) and helps strengthen the fiber content through various minerals and vitamins of group B. This combination allows obtaining a protein assimilation rate higher by 30 to 50% than consuming it separately. The aim of this study is to compare the quality of a pulse-enriched couscous (bean, chickpea and lentil) to 30% and 50% with a couscous made from 100% wheat. The comparison was based on physical tests (moisture, water activity, swelling index and color index), biochemical tests (dietary fiber, protein levels, ashes, fat and carbohydrates) and microbiological tests (total germs, yeasts and molds). The results obtained showed that pulses couscous is more interesting from a conservation point of view ($A_w = 0.52$) compared to the one based on 100% wheat ($A_w = 0.62$). The nutritional quality of pulses-based couscous (ash content, protein and dietary fiber) is more appreciable than that of durum couscous. The more couscous is rich in pulses the more its nutritional profile is important (less fat and carbohydrates). Only couscous reinforced with chickpea is less rich in protein (10.21g/100g MS) than that based on wheat (12.10g/100g MS). On a microbiological level, we also noticed that the more reinforced couscous is in pulses the more its microbial load goes down either for the total germs or for the yeasts and molds.

Keywords: Couscous, pulses, wheat, reinforcement, nutritional value, microbiological level.

تأثير تدعيم الكسكس بالبقوليات على مستوى القيمة الغذائية والحمولة الميكروبية

ابتسام كيرو، شرف الدين قاسمي، فاطمي زين العابدين، خالد ضاوي، يونس نوطيا

ملخص

الجمع بين البقوليات والحبوب في التغذية من ناحية يسمح للجسم بالحصول على جميع الأحماض الأمينية الأساسية (من الليسين والميثيونين). من ناحية أخرى، يساعد أيضاً على تعزيز محتوى الألياف والمعادن والفيتامينات المختلفة من المجموعة ب. هذا المزيج يجعل من الممكن الحصول على معدل امتصاص البروتين بنسبة 30 إلى 50٪ أكثر أهمية مما لو تم تناولها بشكل منفصل. الهدف من هذه الدراسة هو مقارنة جودة كسكس مدعم بالبقوليات (بالفول والحمص والعدس) بنسبة 30٪ و 50٪ مع كسكس مصنوع من 100٪ من القمح الصلب. اعتمدت هذه المقارنة على اختبارات فيزيائية (الرطوبة، النشاط المائي، مؤشر الانتفاخ و مؤشر اللون)، اختبارات كيميائية حيوية (الألياف الغذائية، مستويات البروتين، نسبة الرماد، كمية الدهون وكمية الكربوهيدرات) واختبارات ميكروبيولوجية (مجموع الجراثيم، الخمائر والفطريات). أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الكسكس المعتمد على البقوليات يعتبر أكثر إثارة للاهتمام من وجهة نظر الحفظ ($A_w = 0.52$) مقارنةً بالكسكس المصنوع من 100٪ من القمح الصلب ($w_a = 0.62$). تعتبر كذلك الجودة الغذائية للكسكس المصنوع من البقوليات (نسبة الرماد، البروتينات والألياف الغذائية) أفضل من جودة الكسكس المصنوع من القمح الصلب. كلما ارتفعت نسبة البقوليات في الكسكس، كلما زادت أهمية ثرائه الغذائي (كمية أقل من الدهون والكربوهيدرات). باستثناء الكسكس المقوى بالحمص الذي يحتوي على نسبة أقل من البروتين (10.21 غ/100 غ من المادة اليابسة) مقارنةً بالكسكس المصنوع من القمح الصلب (12.10 غ/100 غ من المادة اليابسة). على المستوى الميكروبيولوجي، لاحظنا أيضاً أنه كلما تم تقوية الكسكس بالبقوليات، كلما انخفضت حمولته الميكروبية، سواء بالنسبة للجراثيم أو الخمائر والفطريات.

الكلمات المفتاحية: الكسكس، البقوليات، القمح، التقوية، القيمة الغذائية، الحمولة الميكروبية.

Introduction

Les légumineuses à graines ont été cultivées depuis le début de l'agriculture, il y a plusieurs millénaires en combinaison avec les céréales (Lev-Yadun *et al.*, 2000). Elles ont surtout été utilisées pour leur action fertilisante du sol, augmentant les rendements de céréales par la rotation et l'inter-culture, mais également comme source de fourrage pour le bétail (Sinclair et Vadez, 2012).

D'un point de vu nutritionnel, la principale caractéristique des graines de légumineuses est leur teneur élevée en protéines (20-40% du produit sec, 7-15% du produit prêt à consommer). Les graines de légumineuses peuvent se répartir en deux groupes. Le premier groupe correspond à des graines riches en glucides, et notamment en amidon (40-50% du produit sec), pauvres en matières grasses (1-6% du produit sec), c'est le groupe le plus important et il rassemble entre autres le pois, la fève, les haricots secs, le pois chiche, les lentilles, la cornille, le dolique et le pois bambara. Le second groupe correspond à des graines plus riches en matières grasses et contenant peu d'amidon. Ce groupe rassemble notamment le lupin et le soja qui contiennent respectivement 10 et 20% de lipides (Cullis et Kunert, 2017). Les légumineuses ont des teneurs naturellement faibles en acides gras saturés, vue qu'elles sont des aliments végétaux, elles sont également exemptes de cholestérol. Ces végétaux ont également un faible indice glycémique, généralement compris entre 10 et 40 (Rémond et Walrand, 2017). De plus des macronutriments, les graines de légumineuses contiennent des quantités appréciables de micronutriments à savoir les vitamines du groupe B (notamment de folates), les minéraux (fer, zinc, calcium ...), ainsi que des fibres alimentaires (Guillon et Champ, 2002).

Plusieurs rapports affirment que l'inclusion des légumineuses dans l'alimentation quotidienne a de nombreux effets physiologiques bénéfiques dans le contrôle et la prévention de diverses maladies métaboliques telles que le diabète, les maladies coronariennes et le cancer du côlon. Actuellement, le rôle des légumineuses en tant qu'agents thérapeutiques dans l'alimentation des personnes souffrant de troubles métaboliques suscite de plus en plus d'intérêt (Shehata *et al.*, 1988; Simpson *et al.*, 1981)

En effet, l'association des légumineuses à d'autres aliments peut rehausser leur valeur nutritive et contribuer à garantir que l'organisme disposera de tous les aminoacides nécessaires. Par exemple, associer les légumineuses aux céréales permet d'une part à notre organisme de disposer de l'ensemble des acides aminés essentiels (en lysines et méthionines) et d'autre part, permet aussi de renforcer la teneur en fibre, en divers minéraux et vitamines du groupe B (Micard *et al.*, 2010; Villarino *et al.*, 2016). L'association des céréales et des légumineuses se retrouve dans les traditions culinaires de nombreux pays (Extrême-Orient, Afrique du Nord, Amérique et Europe) (Chemache *et al.*, 2018 ; Micard *et al.*, 2007 ; Mubarak, 2001). Au Maroc, aucun aliment courant né du mélange intime des constituants respectifs du blé dur et des légumineuses n'est actuellement en vente. Un aliment « méditerranéen » né de l'assemblage intime de blé dur et de légumineuse pourrait par son caractère attractif (nouveau, praticité, faible coût, produit de grande consommation) aider le consommateur à accroître de manière originale sa consommation de légumineuses.

En se basant sur le fait que le couscous est un plat ancien qui est presque omniprésent dans les pays d'Afrique du Nord. Il est bien connu au Maroc comme un plat de base, pareillement que les pâtes et le riz pour les Italiens et les Chinois (Chemache *et al.*, 2018). Ainsi réunissant tous les critères nutritionnels des légumineuses et la forte consommation

du couscous, le couscous à base de légumineuses est retenu comme un aliment modèle dans cette étude. Par ailleurs, notre étude, en profitant de la conception d'une gamme de couscous à base de blé renforcé en légumineuses et testé sur des pourcentages de 30% et 50% en lentille, pois-chiche et fève, vise ainsi à étudier l'importance de ce produit en se basant sur ses fonctionnalités technologiques (commerciales) et nutritionnelles. Dont un objectif de comparer la qualité du couscous renforcé en légumineuse (fève, pois-chiche et lentille) à 30% et 50% avec un couscous à base de 100% de blé.

Matériel et méthodes

Préparation du couscous

Le couscous a été obtenu en réalisant deux mélanges. Le premier contient 50 % de semoule de blé dur et 50 % de farine d'une légumineuse soit lentille, pois-chiche ou fève tandis que le deuxième est un mélange de 70% de semoule de blé dur et 30 % de farine de légumineuse. Un échantillon témoin, à base du couscous uniquement, a été utilisé pour servir de base de comparaison avec les couscous renforcés.

La préparation est faite d'une façon artisanale en utilisant le savoir-faire des femmes rurales travaillant dans des coopératives. Pendant la préparation du couscous, la semoule a été hydratée avec de l'eau potable salée, suivie par les étapes du roulage et de cuisson à la vapeur. Après cuisson, le couscous humide subit les étapes de séchage et de refroidissement. Après refroidissement, le couscous séché est tamisé à l'aide d'un tamiseur composé de deux tamis de mailles décroissantes pour obtenir un produit homogène.

Le choix des pourcentages 50% et 30% a été arrêté suite aux résultats de plusieurs dégustations réalisées lors des manifestations scientifiques et techniques auxquelles ces produits ont été exposés et les dégustateurs les ont appréciés.

Les analyses physiques, biochimiques et microbiologiques ont été effectuées pour les 7 types de couscous (voir tableau 1) couverts par cette expérimentation. Pour chaque couscous, 3 répétitions ont été réalisées.

Tableau 1 : Types des couscous analysés avec leurs codages

Type du couscous	Lentille à 30%	Lentille à 50%	Pois-chiche à 30%	Pois-chiche à 50%	Fève à 30%	Fève A 50%	Blé à 100%
Codage	L30	L50	P30	P50	F30	F50	I

Analyses physiques

Humidité

L'analyse de l'humidité est effectuée selon la norme d'AFNOR NF V03-707. 5 g de chaque échantillon de couscous a été mis à l'étuve à 130°C pendant 120 min. Les résultats de l'humidité sont exprimés selon la formule suivante :

$$H = \frac{(m_1 - m_2)}{m_0}$$

H : Teneur en eau (humidité) exprimé en %.

m₀ : Masse de la prise d'essai en (g).

m₁ : Masse de la coupelle additionnée à celle de la prise d'essai en (g).

m₂ : Masse totale après étuvage en (g).

Activité de l'eau

La mesure de l'activité de l'eau (Aw) a été réalisée à l'aide d'un Aw-mètre (ROTRONIC, Chine) (hygromètre à point de rosée).

Indice de gonflement

50 g de chaque échantillon est mis dans une éprouvette pour mesurer le volume (v₁), ensuite le contenu est versé dans un bécher rempli de 200 ml d'eau distillée et laissé reposer pendant 30 min (v₂). L'indice de gonflement est calculé selon la formule suivante :

$$IG = \frac{v_2}{v_1}$$

IG : Indice de gonflement.

v₁ : Volume de l'échantillon à sec (ml).

v₂ : Volume de l'échantillon humide après 30 min (ml).

Indice de couleur

Cette analyse est effectuée en utilisant le chromamètre (NH300, Chine). Chaque couleur est représentée par 3 coordonnées (L*, a*, b*) :

-L* représente la clarté

Noir (correspond au noir de fumée) R L* = 0, Gris R L* = 50, Blanc (correspond au blanc de l'oxyde de magnésium) R L* = 100

-a* représente la composante chromatique (Rouge-Vert)

Une valeur positive de a* indiquant une localisation vers le jaune, une valeur négative de a* une localisation vers le Vert.

-b* représente la composante chromatique (Jaune-Bleu)

Une valeur positive de b* indiquant une localisation vers le Jaune, une valeur négative de b* indiquant une localisation vers le Bleu.

Concernant cette étude, nous nous intéresserons d'avantage à la composante b* car la couleur jaune est celle recherchée pour le couscous.

Analyses biochimiques

Fibres alimentaires

Le dosage des fibres alimentaire est réalisé selon la méthode AOAC (Official methods of analysis : Total Dietary fiber in foods, 15th ed., AOAC International, Arlington, VA, Method 985.29, 1990 b). Le taux des fibres alimentaires est exprimé comme suit :

$$\text{Taux des fibres} = \left[\left(\frac{m_2 - m_3}{m_1} \right) \times 100 / (100 - H) \right] \times 100$$

m₁ : Masse de la prise d'essai en (g).

m₂ : Masse de l'échantillon après l'étuvage en (g).

m₃ : Masse de l'échantillon après incinération en (g).

H : Taux d'humidité de l'échantillon en (%).

Taux des protéines

Selon la norme AFNOR NF V03-750 (Céréales et légumineuses - Détermination de la teneur en azote et calcul de la teneur en protéines brutes - Méthode de Kjeldahl), le dosage des protéines est fait selon la méthode de Kjeldahl précitée. La teneur en protéines par rapport à la matière sèche est calculée selon l'équation suivante :

$$\text{Teneur en protéines (\%)} = \left[\left(\frac{(v_2 - v_1) \cdot 8.75}{1000 \cdot m_0} \right) \times 100 / (100 - H) \right] \times 100$$

m₀ : Masse de l'échantillon à analyser en (g).

H : Taux d'humidité de l'échantillon en (%).

v₁ : Volume de l'acide nécessaire pour le titrage (ml).

v₂ : Volume de l'échantillon (distillat) (ml).

8,75 : Coefficient de détermination de l'azote total.

Cendres totaux

Selon la norme AFNOR NF V03-720 (Céréales et produits de moutures – Détermination des cendres), la teneur en cendres est déterminée par incinération de 5g de chaque échantillon à 550°C au four à moufle pendant 5h. Le taux de cendres est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Taux de cendres} = \left[\left(\frac{m_2 - m_1}{m_0} \right) \times 100 / (100 - H) \right] \times 100$$

m₀ : Masse de la prise d'essai en (g).

m₁ : Masse de la coupelle vide en (g).

m₂ : Masse de l'échantillon après incinération en (g).

H : Taux d'humidité de l'échantillon en (%).

Matières grasses

Selon la norme AFNOR NF V03-707, 5g (m_0) de chaque échantillon est extraite par le solvant (éther de pétrole), puis porter en ébullition à 105°C pendant 30 min ensuite refroidi pendant 15 à 30 min et peser (m_1). Après l'opération de séparation Solvant/ Matière Grasse qui dure environ 20 min, sécher le bécher contenant la matière grasse à 105°C pendant une heure, le refroidir dans un dessiccateur puis le peser (m_2). La teneur en matière grasse est calculée selon la formule suivante:

$$\text{Teneur matière grasse (\%)} = \left[\left(\frac{m_2 - m_1}{m_0} \right) \times 100 / (100 - H) \right] \times 100$$

m_0 : Masse de la prise d'essai en (g).

m_1 : Masse du creuset vide en (g).

m_2 : Masse de l'échantillon après étuvage en (g).

H : Taux d'humidité de l'échantillon en (%).

Glucides totaux

L'extraction des sucres totaux et réducteurs a été effectuée par broyage fin dans le mélange éthanol-eau : 80-20 (v/v). Les broyats ainsi obtenus ont été centrifugés à 4500g à 4°C pendant 15 min. Les surnageants contenant les sucres ont été récupérés puis conservés à -20°C jusqu'à utilisation. Le dosage des sucres totaux a été effectué par la méthode colorimétrique au phénol-sulfurique (Dubois *et al.*, 1956).

Analyses microbiologiques

Préparation des échantillons

Pour cette opération, 10g de chaque échantillon ont été pesés aseptiquement, dans un sachet stomacher stérile sous une hotte à flux laminaire. Ils ont été mélangés avec 90ml d'eau peptonée tamponnée (EPT). L'homogénéisation du contenu du sachet se fait pendant 1 à 2 minutes à l'aide d'un broyeur stomacher sous l'action des coups de palette. Le filtrat obtenu est la suspension mère qu'on laisse reposer pendant 45 minutes. Des séries de dilution de 10^{-1} jusqu'au 10^{-3} sont ensuite réalisées pour faciliter le dénombrement.

Recherche des germes totaux

Le dénombrement des germes totaux est effectué selon la norme ISO 4833-2 (2013). Le milieu de culture utilisé est Plate Count Agar (PCA). Les ensemencements sont effectués avec des dilutions 10^{-1} et 10^{-3} , 1ml de chaque dilution est prélevé puis introduit dans une boîte de pétri stérile. On y coule ensuite 10 à 15 ml de PCA. Après solidification, une deuxième couche est coulée pour empêcher le développement d'éventuelles flores de contamination superficielle. Les boîtes sont ensuite incubées à l'étuve +30°C pendant 48 à 72 heures. Les colonies blanchâtres ayant poussés en profondeur sont celles dénombrées.

Recherche des levures et moisissures

Le milieu de culture utilisé est Oxytétracycline-Glucose-Agar (OGA). Lesensemencements sont effectués avec les dilutions 10^{-1} et 10^{-3} . Les boites de pétri sont inoculées avec 1 ml de différentes dilutions. Après refroidissement à 45°C , le milieu OGA (15 ml) est coulé, mélangé et laissé solidifier. Une deuxième couche de gélose (4ml) est coulée et laissée refroidir. L'incubation des boites de pétri est faite avec couvercle en bas à 30°C pendant 3 à 5 jours.

Analyses statistiques

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel IBM SPSS, version 25. Les données ont été présentées sous forme des moyennes accompagnées par leurs écart-types. La comparaison des moyennes est effectuée par le test T de Student. Les différences ont été considérées comme statistiquement significatives au niveau $p < 0,05$.

Résultats et discussion

Analyses physiques

Humidité

L'analyse de l'humidité représente un intérêt commercial permettant de pouvoir prolonger la durée de stockage et/ou la date limite de consommation. L'humidité de l'ensemble des échantillons analysés de couscous est comprise entre 4,65% et 12,46% (Figure 1). Ce taux n'excède pas 13,5%, valeur notée par la norme de Codex Alimentarius (202-1995), ce qui témoigne d'un processing adéquat du couscous.

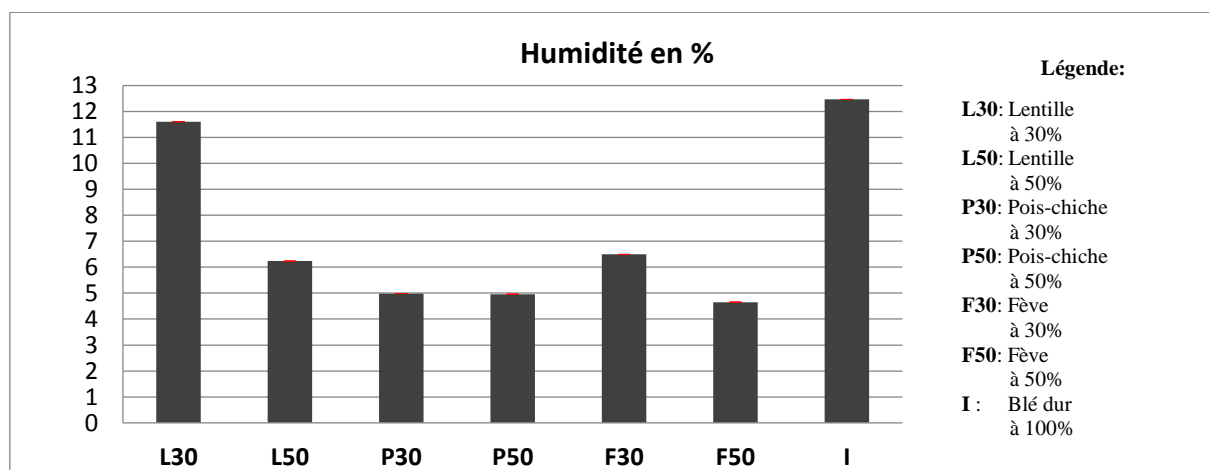


Figure 1 : Résultats de l'humidité des échantillons de couscous analysés

Selon Hébrard *et al.* (2003) et Doukani (2015), l'humidité du couscous de blé dur industriel analysé est comprise entre 9,8% et 12,5%. Le résultat obtenu pour le couscous de blé dur coïncide avec ces résultats. Le couscous de blé dur montre l'humidité la plus élevée par rapport aux autres formules de couscous renforcé en légumineuse.

Le couscous renforcé en pois-chiche (P30 et P50), est celui qui a montré la plus faible valeur de l'humidité. Mezroua (2011) a remarqué que l'humidité du couscous préparé par la méthode artisanal ne dépasse pas le 8%, tandis que l'humidité du couscous préparé par la méthode industriel est plus élevée (dépassant 12%). Il a expliqué cela par le double

séchage effectué à l'air à l'ombre puis au soleil effectué dans le cas des couscous artisanaux. Alors que pour les couscous industriels l'étape de séchage se fait en une seule dont les facteurs température et temps sont contrôlés. Selon Bar (2001), la différence dans les taux d'humidité peut être due non seulement à la technique de séchage mais aussi à la nature de la matière première et les conditions de stockage.

Dans cette étude, les différences constatées entre les taux de l'humidité sont significatives ($p=0,001$). Ceci pourrait être expliqué par le fait que les couscous renforcés en légumineuses contiennent une matière première différente en plus du fait que ces derniers sont préparés par la méthode artisanale alors que le couscous à base de blé est préparé de façon industriel.

Activité de l'eau

En plus de l'analyse de l'humidité, l'analyse de l'activité de l'eau permet d'avoir une idée sur les échanges d'eau entre un produit et son environnement. Elle influence directement sur le développement microbien, les réactions enzymatiques, le brunissement non-enzymatique et l'oxydation des lipides (Doukani, 2015).

Les résultats obtenus de l'analyse des échantillons de cette étude, sont regroupés dans la figure ci-dessous et la différence entre les moyennes est hautement significative ($p<0,001$) :

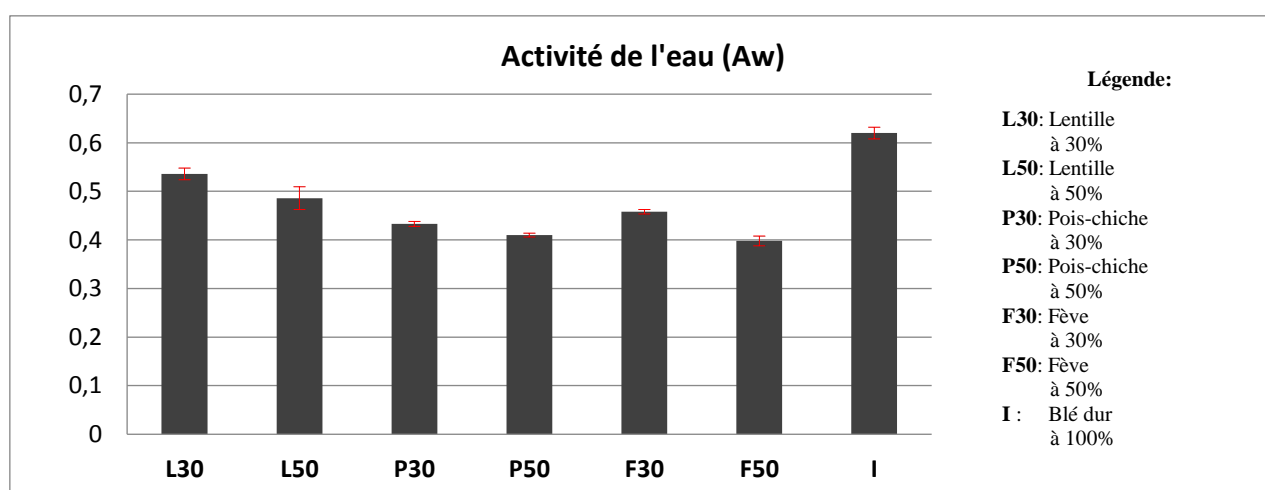


Figure 2 : Résultats de l'activité de l'eau des échantillons de couscous analysés

Les résultats montrent que l'activité de l'eau de tous les couscous renforcés en légumineuses est relativement faible par rapport à celle du couscous de blé dur. Ce résultat montre que ces formulations de couscous seront moins exposées à la contamination par les micro-organismes d'où leur longue durée de vie représentant ainsi un intérêt commercial.

Indice de gonflement

Selon Mezroua (2011), le phénomène de gonflement résulte de l'absorption de différentes quantités d'eau par les éléments constitutifs des grains de couscous. Les résultats de l'analyse de l'indice de gonflement des échantillons étudiés sont regroupés dans la figure 3, les différences constatés sont hautement significatives ($p<0,001$).

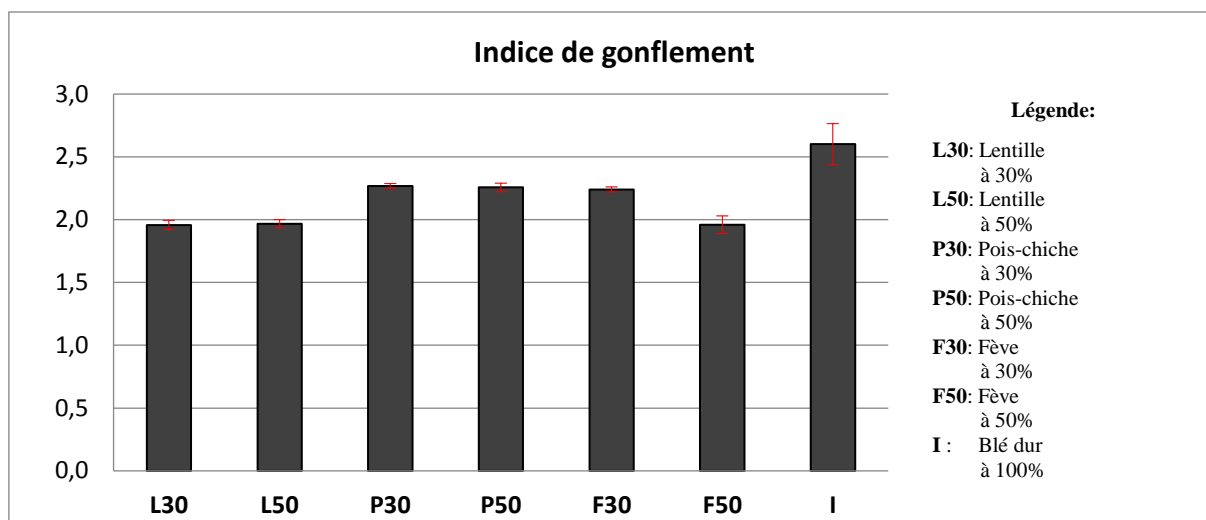


Figure 3 : Résultats de l'indice de gonflement des échantillons de couscous analysés

La valeur de gonflement pour le couscous à base de blé dur est supérieure à celle trouvée pour les couscous renforcés en légumineuses. Cette différence est due à la faible hydratation au cours de la préparation du couscous renforcé en légumineuse tandis que la préparation du couscous à base de blé nécessite plus d'hydratation. Ces résultats concordent avec ceux trouvés par Aluka (1985) qui a montré que l'indice de gonflement augmente nettement avec le taux d'hydratation des semoules utilisées lors de la fabrication du couscous. Merzoua (2011) a trouvé aussi que le couscous du blé semble absorber le plus d'eau et gonfler à un niveau supérieur à ceux observés pour les couscous sans gluten (Riz-pois chiche, riz-pois protéagineux et riz-févérole). Dans notre étude, les couscous renforcés en légumineuses contiennent une quantité de gluten plus faible que le couscous à base de blé dur. C'est pour cela que l'indice de gonflement des différents couscous renforcés de légumineuses n'est pas très loin de celui trouvé pour le couscous à base de blé dur.

Indice de couleur

La notion de couleur est liée à la perception et à l'interprétation subjective de chaque personne. Selon Doukani (2015) et Mezroua (2011), l'indice de couleur peut déterminer la quantité de pigments présents et par conséquent la pureté du produit à analyser. Pour le couscous, le caractère recherché par le consommateur est la couleur jaune.

Les résultats obtenus (voir figure 4) montrent que l'indice de jaune des couscous renforcés en légumineuses est plus faible par rapport au couscous à base de blé dur. Le couscous renforcé en pois-chiche est celui qui a l'indice de jaune le plus proche au couscous à base de blé dur.

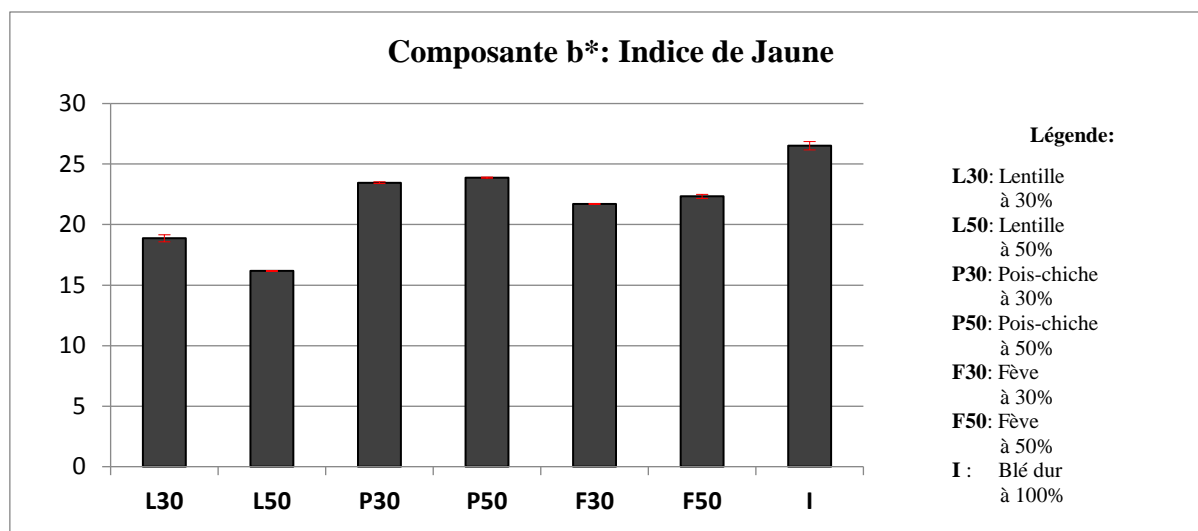


Figure 4 : Résultats de la mesure de la composante b* des échantillons de couscous analysés

Analyses biochimiques

Fibres alimentaires

Les résultats obtenus sont regroupés dans la figure 5. Ces résultats trouvés montrent que la teneur en fibres alimentaires est plus faible pour le couscous à blé dure (11 g/100g MS) en comparaison avec tous les couscous renforcés en légumineuses (18 g/100g MS pour celle la plus haute).

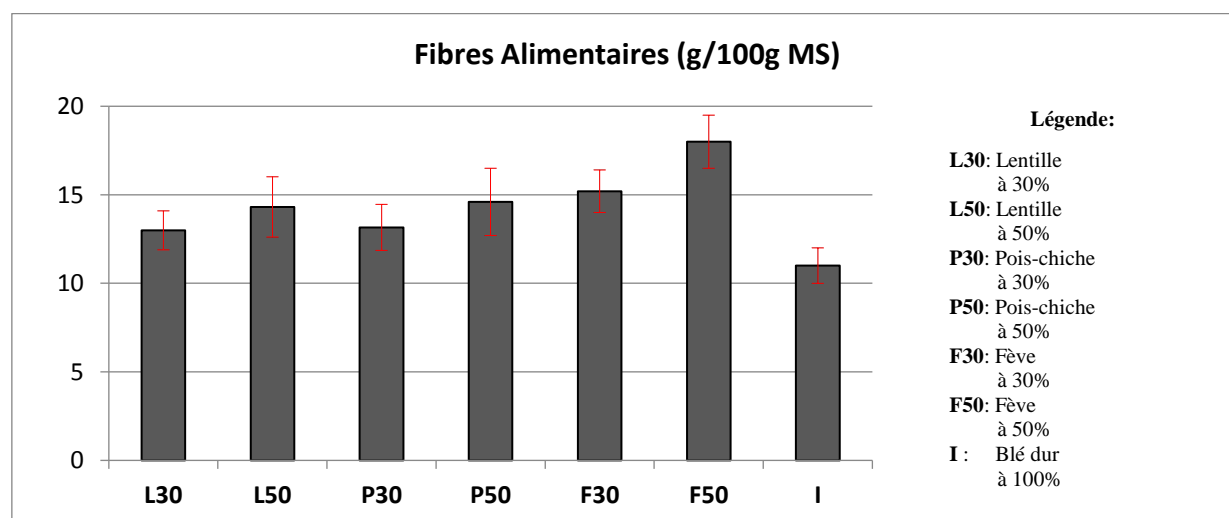


Figure 5 : Résultats de la teneur des fibres alimentaires des échantillons de couscous analysés

Rio (2017) a montré que la différence dans la teneur des fibres alimentaires est hautement significative ($p < 0,001$) entre tous les couscous étudiés. Cette différence s'explique par de nombreux facteurs à savoir la variété, le degré de maturité, les conditions de mouture et la quantité des enveloppes existante dans la matière première utilisée.

Dans notre étude, la différence trouvée pourrait être expliquée par la quantité importante des enveloppes que contiennent les légumineuses alimentaires et qui a permis de conférer au couscous renforcé en légumineuses une quantité importante en fibres alimentaires. D'après ces résultats enregistrés, nous pouvons déduire que les couscous renforcés en légumineuses alimentaires présentent un intérêt nutritionnel grâce à la quantité importante des fibres alimentaires qui confèrent un rôle régulateur du transit intestinal (Rio, 2017).

Dans une recherche réalisée par Dodevska *et al.* (2013), ils ont montré que les meilleurs aliments (parmi ceux analysés) présentant les meilleures quantités en fibre totale, cellulose et apport d'amidon résistant sont les produits préparés à base des pois cuits et des haricots rouges. Ces derniers ont été répertoriés à plusieurs reprises comme les meilleures sources de fractions de fibres alimentaires. D'après cette même recherche, ces aliments et leurs combinaisons pourraient être recommandés dans les thérapies nutritionnelles médicales nécessitant un apport accru en fibres, leur consommation plus fréquente pourrait être un moyen facile et simple permettant d'atteindre les doses journalières recommandées dans la consommation des fibres.

Taux des protéines

Les protéines dans les graines des légumineuses, représentent environ 20% (poids sec) dans les pois et les haricots et arrivent jusqu'à 38-40% dans le soja et le lupin. Par conséquent, les graines des légumineuses sont parmi les sources alimentaires les plus riches en protéines et en acides aminés pour l'homme et la nutrition animale (Rio, 2017).

La figure 6 regroupe les résultats obtenus du dosage de la teneur des protéines de tous les échantillons des couscous étudiés.

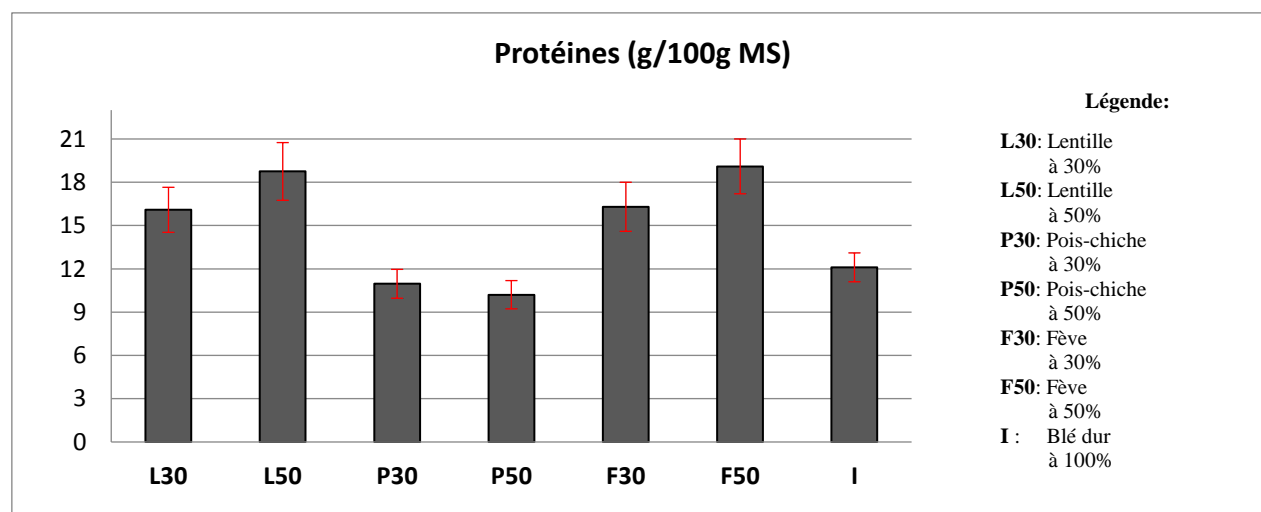


Figure 6 : Résultats de la teneur des protéines des échantillons de couscous analysés

Les résultats obtenus montrent des différences hautement significatives ($p < 0,001$) et que la teneur en protéines est plus intéressante pour les couscous renforcés en légumineuses en comparaison avec le couscous à base de blé dur (12g/100g MS VS 19g/100g MS). Cette teneur en protéine augmente d'avantage lorsque nous enrichissons le couscous par les légumineuses.

Ces résultats sont comparables aux travaux de Doukani (2015) et Micard *et al.* (2010) qui ont trouvé une teneur en protéine pour les pâtes et le couscous à base de blé variant de 9 à 13%. Pareillement, Carcea *et al.* (2017) ont trouvé que les pâtes préparées aux légumineuses avaient une teneur en protéines plus élevée 22 à 28,9 % contre une teneur allant de 7,4 à 14,3% pour d'autres pâtes à base de différentes céréales.

La teneur en protéines est un critère important d'appréciation de la qualité aussi bien pour l'alimentation animale (valeur alimentaire d'un produit) que pour l'alimentation humaine (valeur d'utilisation). Il s'agit d'un des critères intéressants à prendre en compte dans le classement des produits alimentaires spécialement les produits céréaliers (Punia *et al.*, 2019). Sissons (2008) a recommandé que les blés durs doivent posséder au moins une concentration en protéines de 13%, car les niveaux de protéines <11 % ont généralement abouti à un produit très mal transformé. De ce fait la modification de la composition protéique des graines par des moyens génétiques est devenue une approche majeure pour l'amélioration du blé dur.

Cendres totaux

Les résultats obtenus de l'analyse des cendres totaux des échantillons étudiés sont résumés dans la figure 7.

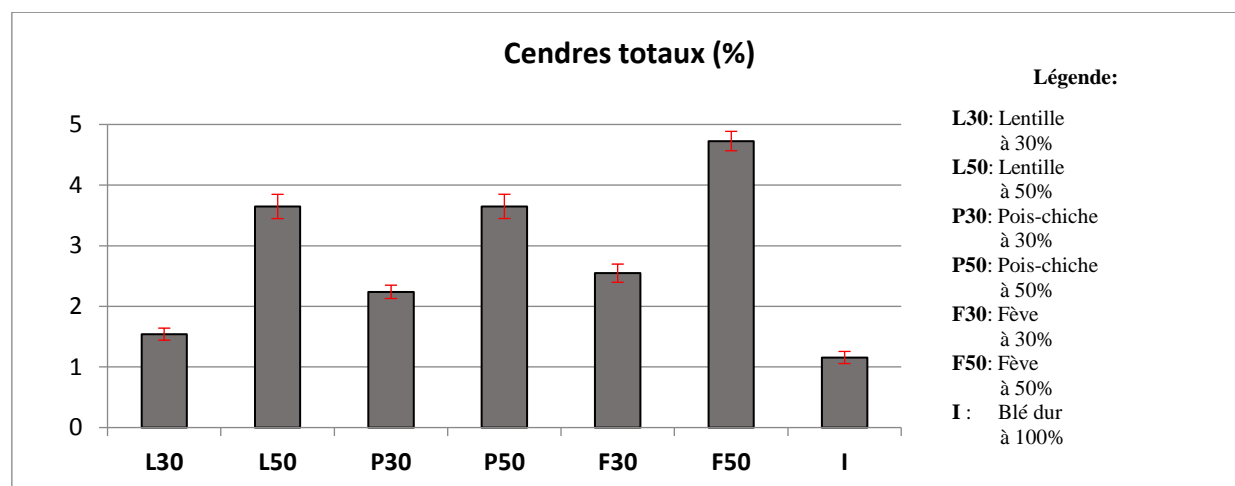


Figure 7 : Résultats de la teneur en cendres totaux des échantillons de couscous analysés

Pour tous les types des couscous renforcés en légumineuses, nous remarquons une forte teneur en cendre totaux en comparaison avec le couscous à base de blé dur (4,7% contre 1,16%). Ces résultats enregistrés sont en accord avec ceux de Doukani (2015) et Bar (2001) qui ont trouvé que la teneur en cendres du couscous à base de blé dur était inférieure à 1.2%. La différence trouvée avec les couscous renforcés en légumineuses est hautement significative ($p < 0,001$). Elle pourrait être expliquée premièrement par le degré de pureté du produit à analyser (Doukani, 2015), deuxièmement elle revient à la proportion des enveloppes présente dans le produit (Rio, 2017), car les légumineuses alimentaires sont plus vêtues en enveloppes que le blé (la matière minérale se concentre beaucoup plus dans les enveloppes) (Dodevska *et al.*, 2013). D'autres facteurs peuvent aussi influencer cette différence comme la variété, le stade de maturité des grains et les conditions de la mouture.

Quand certains aliments sont riches en minéraux particuliers, la teneur en cendre devienne importante (Marshall, 2010).

Matières grasses

Les légumineuses à grains riches en protéines et faibles en lipides sont considérées comme précieuses dans le développement d'aliments fonctionnels bénéfiques sur le plan nutritionnel (Anita *et al.*, 2014). Les aliments riches en matières grasses sont particulièrement jugés par les consommateurs comme « menaçants » et non nutritionnels parce que ces aliments riches en graisses contiennent plus d'énergie alors que pour une bonne santé les problèmes de poids sont des facteurs importants dans la détermination du choix alimentaire (Roefs and Jansen, 2004). Toutefois d'autres recherches scientifiques ont montré des améliorations encourageantes chez les patients et des effets bénéfiques chez les personnes en bonne santé grâce à l'utilisation de formes supplémentaires et diététiques de lipides fonctionnels (Alabdulkarim *et al.*, 2012).

Les résultats de l'analyse de la quantité de matière grasse des couscous analysés sont regroupés dans la figure suivante :

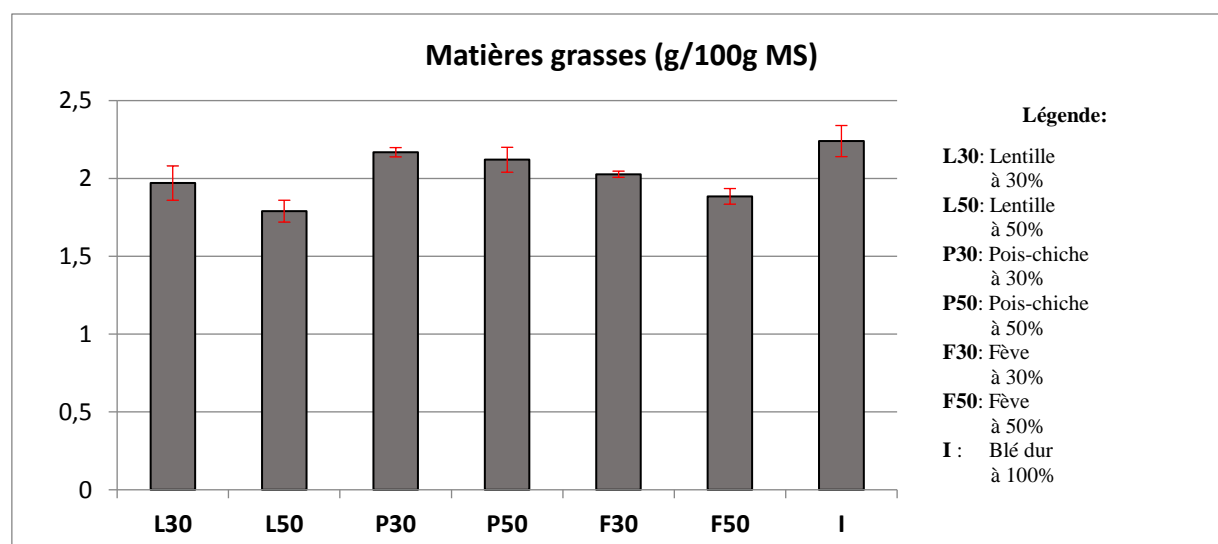


Figure 8 : Résultats de la teneur en matières grasses des échantillons de couscous analysés

Les résultats obtenus montrent qu'il y a une différence hautement significative ($p < 0,001$) et que la proportion de la matière grasse pour le couscous à base de blé dur est plus importante par rapport à celle des couscous renforcés en légumineuses. Ceci est expliqué par la richesse du blé en lipides en comparaison avec la plupart des graines des légumineuses.

Des travaux similaires réalisés par de Almeida Costa *et al.* (2006), ont montré que le pois-chiche était la légumineuse, présentant les valeurs protéiques les plus faibles tandis que les teneurs totales en lipides les plus hautes, environ trois fois plus élevées que les autres légumineuses. Nos résultats confirment la même chose, entre les couscous renforcés en légumineuses, ceux à base de lentille et fèves étaient moins riches en matières grasses.

Glucides totaux

L'ajout de la farine des légumineuses aux pâtes représente un moyen permettant d'améliorer leurs compositions nutritionnelles. Les légumineuses apportent des bonnes sources de glucides complexes dont l'amidon et les fibres alimentaires (Zhao *et al.*, 2006). L'amidon représente la principale réserve de glucide dans les graines de légumineuses. Il est composé de deux grands polymères de glucane, l'amylase et l'amylopectine, dans lesquels les résidus glucose sont liés (Jukanti *et al.*, 2012).

Lors de notre étude, nous avons comparé la quantité totale des glucides pour les couscous. Les résultats obtenus ont montré des différences hautement significatives ($p < 0,001$) qui sont représentés dans la figure 9.

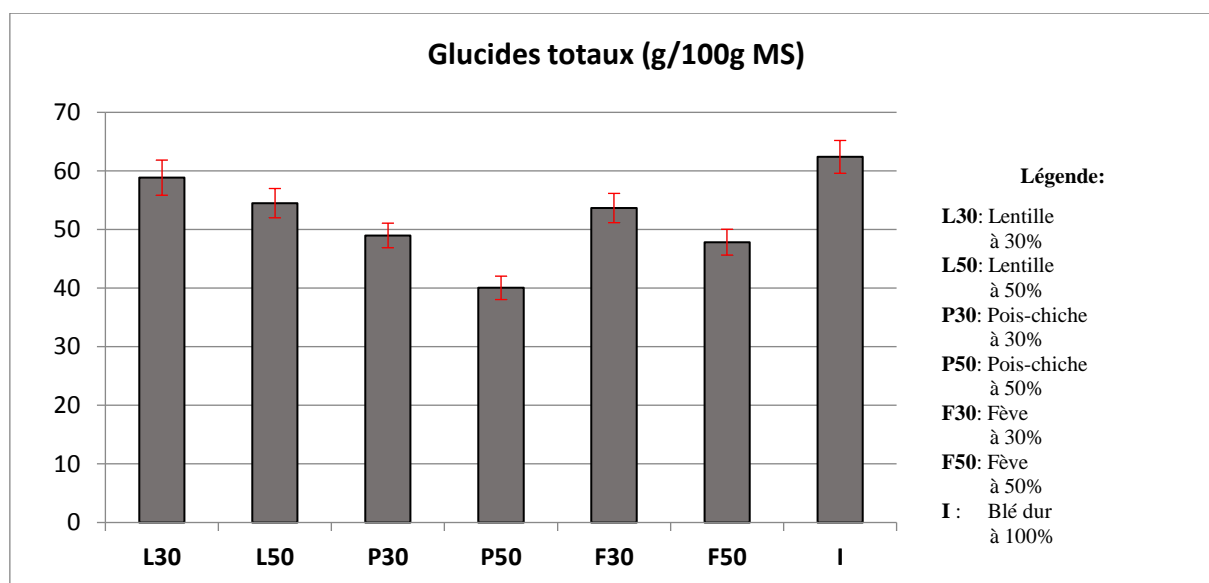


Figure 9 : Résultats des glucides totaux des échantillons de couscous analysés

Des recherches ont montré que les concentrations des glucides totaux disponibles dans les farines de pois chiches, de lentilles et de pois secs variaient de 625g/kg à 657g/kg de matière sèche. Le pois sec présentait la concentration la plus élevée, suivi de la lentille et du pois chiche (Berrios *et al.*, 2010). Pareillement, Jukanti *et al.* (2012) a montré que les céréales telles que le blé ont une plus grande quantité d'amidon par rapport au pois chiche, tandis que les graines de pois chiche ont une teneur en amylose plus élevée (30-40 contre 25 % dans le blé). Il est important de signaler que même si les légumineuses sont riches en glucides (50 à 65 %), elles contiennent également des inhibiteurs d'enzymes naturels qui pourraient ralentir la dégradation des glucides et des lipides dans l'intestin grêle, expliquant ainsi leur faible indice glycémique (Ramdath *et al.*, 2016).

Les résultats de l'analyse des glucides totaux de nos échantillons étudiés (entre 40 et 58g/100g MS pour les couscous renforcés en légumineuses contre 62,5g/100g MS pour le couscous à base de blé) concordent avec ces recherches précitées. Les couscous renforcés en légumineuses présentent une teneur plus faible en glucides par rapport au couscous à base de blé dure ce qui leurs confèrent un autre avantage nutritionnel.

Analyses microbiologiques

Recherche des germes totaux, levures et moisissures

La figure ci-dessous, représente les résultats de comptage des germes recherchés lors de la comparaison. Les différences trouvées sont significatives pour tous les mélanges étudiés ($p=0,003$ pour les germes totaux et $p=0,008$ pour les levures et moisissures).

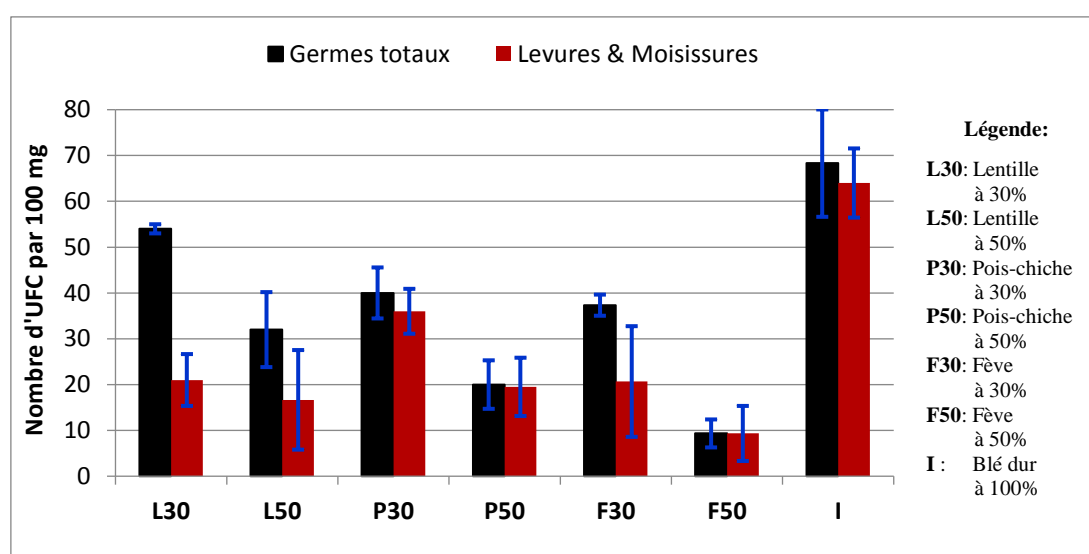


Figure 10 : Représentation des résultats du dénombrement des germes recherchés pour les couscous analysés

Sur le plan microbiologique, les résultats obtenus à travers ce travail montrent que les dénombrements des germes totaux et des levures et moisissures ont montré des valeurs largement inférieures aux seuils déterminés par la réglementation marocaine (*Arrêté conjoint du ministre de l'agriculture et du développement rural, du ministre de la santé et du ministre de l'industrie, du commerce et des télécommunications n°624-04 du 17 safar 1425 (8 avril 2004) relatif aux normes microbiologiques auxquelles doivent répondre les denrées animales ou d'origine animale*). Ce qui leur confère d'être classés aptes à la consommation. Plus le couscous est renforcé en légumineuse plus sa charge microbienne diminue que ce soit pour la flore totale que pour les levures et moisissures. Ce résultat vient confirmer l'impact de l'activité de l'eau sur l'innocuité du produit car les germes totaux ne peuvent pas se développer dans une matrice alimentaire ayant une activité d'eau faible.

Conclusion

Les produits alimentaires peuvent être considérés comme fonctionnels s'ils contribuent à réduire le risque des maladies et donc promouvoir une bonne santé. A l'heure actuelle, il est possible de trouver sur le marché de nombreuses catégories de produits qui sont commercialisés sous le nom de pâtes ou de couscous. Cependant, leur qualité nutritionnelle peut être assez différente selon les matières premières utilisées pour leur fabrication. La présente étude montre que les couscous renforcés en légumineuses alimentaires sont dotés d'une valeur nutritionnelle supérieure à celle du couscous à base de blé dur. En effet, les analyses effectuées ont révélé que ces produits sont riches en protéines, en fibres alimentaires et en minéraux. Ils présentent aussi des faibles teneurs en glucides et en matières grasses. Ces caractéristiques nutritionnelles confèrent à ces produits de mieux se positionner sur le marché en tant qu'aliments fonctionnels. Outre ces considérations, ils ont pu démontrer aussi un intérêt commercial. Ce sont des produits présentant une faible activité de l'eau (AW), moins de contamination bactérienne et par conséquent une durée de vie et de conservation plus longue. Cette étude a démontré aussi que la nature des légumineuses utilisées dans la fortification a un effet plus significatif en comparaison avec l'effet de la dose des légumineuses utilisée. En continuité à ce travail, il serait intéressant de faire des tests de cuisson et l'évaluation sensorielle par un panel de juges pour mieux évaluer la qualité organoleptique des couscous renforcé en légumineuses. D'autres recherches plus approfondies devraient être envisagées pour l'étude de l'optimisation du processus de fabrication des couscous renforcés en légumineuses à l'échelle industrielle tout en maîtrisant la qualité sensorielle et nutritionnelle du produit final.

Remerciements

Cette étude a été menée dans le cadre du projet «Initiative Maroco-Indienne pour le développement des Légumineuses Alimentaires (IMILA)» avec le support financier des partenaires INRA, OCP-Fondation, IAV, ICARDA et ONCA (Fès – Meknès).

Les auteurs sont très reconnaissants aussi bien à Mr. Fouad Abbad ANDALOUSSI qui nous a assisté lors de l'encadrement et la formation, des adhérentes des coopératives, pour monter des unités de transformation et de conditionnement des produits issus de la transformation des légumineuses alimentaires dont les couscous étudiées et qu'aux membres de la coopérative féminine Rizk Allah relevant de la commune de Ras El Ouad (Tissa) qui nous ont assuré la fabrication traditionnelle des couscous renforcés en légumineuses.

Conflit d'intérêt

Les auteurs déclarent qu'il n'y a pas de conflit d'intérêt.

Références bibliographiques

- Alabdulkarim B., Bakeet Z.A.N. and Arzoo S. (2012). Role of some functional lipids in preventing diseases and promoting health. *Journal of King Saud University - Science*. 24 (4). p. 319–29. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2012.03.001>
- Aluka K., Miche J.C. and Faure J. (1985). Conditions d'une fabrication mécanique du couscous de maïs en Afrique de l'ouest. *Industrie Alimentaire et Agricole*, vol.102, n°5. p. 457–461.
- Anita D., Sridhar K. and Kumar S. (2014). Total Lipids and Fatty Acid Methyl Esters of Germinated Seeds of Mangrove Wild Legume. *Current Nutrition & Food Science*. 10 (3). p. 187–95. <https://doi.org/10.2174/157340131003140828120844>
- Bar C. (2001). Contrôle de la qualité des céréales et des protéagineux. (Guide pratique), ed., ITFC céréaliers de France, Paris, 253 p.
- Berrios J.D.J., Morales P., Cámara M. and Sánchez-Mata M.C. (2010). Carbohydrate composition of raw and extruded pulse flours. *Food Research International*. 43 (2). p. 531–6. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.035>
- Carcea M., Narducci V., Turfani V. and Giannini V. (2017). Polyphenols in Raw and Cooked Cereals/Pseudocereals/Legume Pasta and Couscous. *Foods*. 6 (9). p. 80. <https://doi.org/10.3390/foods6090080>
- Chemache L., Kehal F., Namoune H., Chaalal M. and Gagaoua M. (2018). Couscous: Ethnic making and consumption patterns in the Northeast of Algeria. *Journal of Ethnic Foods*. 5 (3). p. 211–9. <https://doi.org/10.1016/j.jef.2018.08.002>
- Cullis C. and Kunert K.J. (2017). Unlocking the potential of orphan legumes. *Journal of Experimental Botany* 68, p. 1895-1903.
- De Almeida Costa G.E., da Silva Queiroz-Monici K., Pissini Machado Reis S.M. and de Oliveira A.C. (2006). Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. *Food Chemistry*. 94 (3). p. 327–30. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.11.020>
- Dodevska M.S., Djordjevic B.I., Sobajic S.S., Miletic I.D., Djordjevic P.B. and Dimitrijevic-Sreckovic V.S. (2013). Characterisation of dietary fibre components in cereals and legumes used in Serbian diet. *Food Chemistry*. 141 (3). p. 1624–9. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.078>
- Doukani K. (2015). Étude comparative entre le couscous industriel et le couscous à base de glands. *Nature & Technologie. B- Sciences Agronomiques et Biologiques*, 13. p. 2–11.
- Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A. and Smith F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* 28, p. 350–356.
- Guillon F. and Champ M.M.-J. (2002). Carbohydrate fractions of legumes: uses in human nutrition and potential for health. *British Journal of Nutrition* 88 (Suppl. 3). p. 293–306.
- Hébrard A., Oulahna D., Galet L., Cuq B., Abecassis J. and Fages J. (2003). Hydration properties of durum wheat semolina: influence of particle size and temperature. *Powder Technology* 130 (1–3). p.211–218. [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(02\)00268-1](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(02)00268-1)
- Jukanti A.K., Gaur P.M., Gowda C.L.L. and Chibbar R.N. (2012). Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): a review. *British Journal of Nutrition*. 108 (S1). p. S11–26. <https://doi.org/10.1017/S0007114512000797>

- Lev-Yadun S., Gopher A. and Shahal Abbo S. (2000). The cradle of agriculture. *Science's Compass* 288. p. 1602-1603.
- Marshall M.R. (2010). Ash Analysis. In *Food Analysis*. Springer US. p. 105–115.
- Mezroua L. (2011). Etude de la qualité culinaire de quelques couscous industriels et artisanaux et effet d'adjonction de la matière grasse durant la cuisson. Thèse de Magister en Sciences Alimentaires, option : Technologies Alimentaires, INATAA. Université de Constantine. 117 p.
- Micard V., Brossard C., Champ M., Crenon I., Jourdeuil-Rahmani D., Minier C. and Petitot M. (2010). Aliment mixte « blé dur-légumineuse » : influence de la structuration de leurs constituants sur leurs qualités nutritionnelles et organoleptiques. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*. 45 (5). p. 237–245. <https://doi.org/10.1016/j.cnd.2010.04.006>
- Mubarak A.E. (2001). Chemical, nutritional and sensory properties of bread supplemented with lupin seed (*Lupinus albus*) products. *Nahrung/Food* 45. p. 241–245.
- Punia S., Sandhu K.S. and Siroha A.K. (2019). Difference in protein content of wheat (*Triticum aestivum* L.): Effect on functional, pasting, color and antioxidant properties. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 18 (4). p. 378–384. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.12.005>
- Ramdath D., Renwick S. and Duncan A.M. (2016). The Role of Pulses in the Dietary Management of Diabetes. *Canadian Journal of Diabetes*. 40 (4). p. 355–363. <https://doi.org/10.1016/j.cjcd.2016.05.015>
- Rémond D. and Walrand S. (2017). Les graines de légumineuses : caractéristiques nutritionnelles et effets sur la santé. *Innovations Agronomiques* 60. p. 133-144.
- Rio C. (2017). Les légumes secs, aliments de choix à valoriser. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*. 52 (2). p. 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.cnd.2016.11.006>
- Roefs A. and Jansen A. (2004). The effect of information about fat content on food consumption in overweight/obese and lean people. *Appetite*. 43 (3). p. 319–322. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2004.05.002>
- Shehata N.A., Darwish N., Nahr F.E. and Razek F.AT.A. (1988). Supplementation of wheat flour with some local legumes. *Die Nahrung* 31. p. 3–8.
- Simpson H.C., Lousley R.S., Greekie M., Hockaday T.D.R., Carter R.D. and Mann J.I. (1981). A high carbohydrate leguminous fiber diet improves all aspects of diabetes control. *Lancet* 1. p. 1–4.
- Sinclair T.R. and Vadez V. (2012). The future of grain legumes in cropping systems. *Crop and Pasture Science* 63. p. 501-512. doi: 10.1071/CP12128.
- Sissons M. (2008). Role of durum wheat composition on the quality of pasta and bread. *Food*, 2(2). p. 75-90.
- Villarino C.B.J., Jayasena V., Coorey R., Chakrabarti-Bell S. and Johnson S.K. (2016). Nutritional, Health, and Technological Functionality of Lupin Flour Addition to Bread and Other Baked Products: Benefits and Challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 56 (5). p. 835–857. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.814044>
- Zhao Y.H., Manthey F.A., Chang S.K.C., Hou H-J. and Yuan S.H. (2006). Quality Characteristics of Spaghetti as Affected by Green and Yellow Pea, Lentil, and Chickpea Flours. *Journal of Food Science*. 70 (6). p. s371–376. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb11458>