

Effet de la concentration et de la granulométrie du son de blé sur la qualité organoleptique du pain et son acceptation par le consommateur

Effect of concentration and particle size of wheat bran on the organoleptic quality of bread and its acceptance by the consumer

Mohammed Diouri¹, Fatima Amirach^{1,2,*}, Nadia Meskini²

¹ Laboratoire de Biotechnologie et Valorisation des Bio-ressources, Département de biologie, Université Moulay Ismail, Maroc, m.diouri@umi.ac.ma

² Laboratoire de Virologie, Microbiologie, Qualité et Biotechnologies, Département de biologie, Université Hassan II, Maroc, nadia.meskini@gmail.com

* Auteur correspondant, Université Hassan II, Maroc, fatima.amirach@etu.fstm.ac.ma.

RÉSUMÉ. L'effet de la granulométrie du son de blé et sa concentration sur les caractéristiques organoleptiques du pain et son acceptabilité par le consommateur ont été évalués. Le son de blé tendre a été ajouté, à trois concentrations (21%, 14% et 7 %) et trois granulométries (1mm, 1,4 mm et 1,8 mm), à une farine de blé tendre de type T65. Ainsi, neuf pains ont été préparés, en plus d'un pain témoin (à 0% de son). Les pains préparés ont été soumis à quelques analyses organoleptiques (volume spécifique, brunissement de la croûte et de la mie du pain, paramètres texturaux). Ces pains ont été évalués visuellement et gustativement par une population de 106 enquêtés. Les données ont été analysées par l'ANOVA ou le test de Kruskal-Wallis, à l'aide du logiciel R.

L'étude a révélé qu'avec l'augmentation de la concentration du son, l'humidité au niveau de la mie augmente d'une manière significative ($P<0,05$). Quant à la granulométrie, elle a un effet négatif ($P<0,05$) sur le volume spécifique du pain et un effet positif significatif ($P<0,05$) sur la taille des alvéoles. En plus, l'évaluation du choix alimentaire auprès d'une population de 106 enquêtés, a montré qu'en se basant sur le choix visuel, les participants ont exprimé une grande acceptation du pain riche en son du blé, avec une mie de coloration brune claire. Cependant, après la dégustation l'appréciation du pain est affectée négativement ($P<0,05$) par la concentration du son. D'autre part, l'appréciation visuelle du pain était significativement plus élevée chez les femmes que chez les hommes, et positivement corrélée avec l'âge du consommateur. Les pains, dont la concentration du son de blé est de 7% à 14% et la granulométrie de 1,4 mm, ont présenté les caractéristiques organoleptiques les plus acceptables par le consommateur.

ABSTRACT. Consumption of high-fiber foods, such as whole-grain bread, reduces the risk of many diseases. However, the consumption of white bread is still dominant in households. It is important to understand the causes of this contradiction and to find ways to encourage fiber consumption. To this end, the objective of this work was to evaluate the effect of wheat bran granulometry and concentration on the organoleptic quality of bread and its acceptability by the consumer. Soft wheat bran, with one of three average particle sizes (approximately 1, 1.4 or 1.8 mm) and one of three concentrations (7, 14 or 21%), was mixed with white soft wheat flour, in a factorial experiment. The nine breads (receiving the nine treatments), in addition to a control (without added bran), were analyzed for moisture, specific volume, browning index, and porosity. These ten bread types were presented to 106 people of different ages, genders and origins, to rate them for appearance and taste (after blindfolding), according to a completely randomized design. We used Pearson's correlation test to compare quantitative variables, and ANOVA or Kruskall-Wallis test to compare treatments. This study revealed that increasing bran concentration caused a significant increase in bread crumb moisture; whereas increasing bran granulometry caused a significant increase in bread crumb cell size and a significant decrease in bread specific volume. Based on visual judgment, respondents expressed a strong preference for bread rich in wheat bran, with a light brown crumb. However, after tasting, bread appreciation was negatively affected ($P<0.05$) by increasing bran concentration. Visual appreciation of bread was significantly higher in women than in men. Our results suggest that there is an awareness of fiber importance that has not yet translated into a preference. A flour containing 7 to 14% bran with a particle size of 1.4 mm seems to be the best, meeting bakery requirements and satisfying consumer preference.

MOTS-CLÉS. Son de blé, concentration, granulométrie, pain, choix.

KEYWORDS. Wheat bran, concentration, granulometry, bread, choice.

1. Introduction

La nutrition compte parmi les priorités des pouvoirs publics en raison du coût humain et économique croissant des maladies nutritionnelles chroniques. De nombreuses études épidémiologiques montrent l'association entre la réduction du risque d'apparition des maladies liées à l'alimentation et la consommation des aliments riches en fibres [BEN 19]. Par conséquence, les recommandations visent une consommation de 25 à 35 g de fibres par jour chez un sujet adulte [TOP 07].

Les bienfaits sanitaires de céréales complets sont liés notamment à la richesse de leurs enveloppes en éléments nutritifs importants notamment une proportion élevée en fibres alimentaires. Malgré ces avantages, les enquêtes de consommation des ménages montrent une grande consommation du pain blanc par apport à celle de blé complet [MAC 21]. Les raisons de cette consommation restreinte du pain complet ne sont pas bien claires. D'ailleurs, l'effet négatif des fibres du blé sur la qualité sensorielle du pain a été indiqué par plusieurs études, principalement, la diminution du volume, la compaction de la mie, et l'intensité de la couleur du pain [HUS 19]. Par conséquent, les consommateurs perçoivent ces propriétés comme étant moins attrayantes par rapport au pain à base de la farine blanche. Cette perception des stimuli sensoriels, constitue l'un des facteurs déterminants du choix alimentaire. Ce dernier est défini comme étant une réaction affective d'un sujet qui l'amène à préférer un produit qu'il trouve meilleur par rapport aux autres produits. Généralement, le choix alimentaire est soumis à de nombreuses influences, qui se construisent et se développent au cours de la vie. Ces facteurs peuvent être d'ordre biologique ou psychologique, relatifs aux caractéristiques organoleptiques de l'aliment ou bien liés aux propriétés du consommateur lui-même.

Pour améliorer l'offre aux consommateurs, tout en gardant les avantages de fibres de blé, la boulangerie industrielle a développé plusieurs techniques pour le traitement et la valorisation du son de blé, comme la pré-fermentation du son et l'hydrolyse enzymatique des fibres insolubles [ZHA 19]. L'utilisation de ces techniques industrielles reste limitée et inconvenable pour tous, fautes des contraintes économiques, énergétiques et technologiques. Ainsi, le but de ce travail est double :

- Évaluer l'effet de la granulométrie du son de blé et sa concentration sur la qualité organoleptique du pain.
- Étudier l'effet de la granulométrie du son de blé et sa concentration sur le choix du pain par le consommateur.

2. Matériel et méthodes

2.1. Produits de base

Pour mettre nos objectifs à l'essai expérimental, plusieurs produits ont été nécessaires pour réussir cette étape de notre travail, il s'agit principalement des ingrédients courants du pain marocain ordinaire qui sont : la farine blanche du blé tendre, le sel, la levure, l'eau potable, et le son du blé tendre avec une parmi trois granulométries 1 mm, 1.4 mm et 1.8 mm. Ces granulométries ont été obtenues par broyage du son et passage à travers une série de tamis.

2.2. Analyses physico-chimiques de la farine et du son de blé

2.2.1. Taux d'humidité

L'humidité de la farine et du son a été déterminée selon la norme AFNOR NF VO3-707 de juin 1989 [AFN 91]. Deux échantillons de 5 g de chaque ingrédient ont été placés dans une étuve pendant 2 h à une température de 130 °C.

2.2.2. Taux du gluten

En double exemplaire, une quantité de 10g de farine a été mouillée avec 5 mL d'eau salée (2% NaCl), la pâte formée a été pétrifiée pendant 20s puis malaxée sous un filet de l'eau continu jusqu'à ce que l'amidon soit totalement éliminé. Par la suite la pâte a été pesée pour déterminer le poids de gluten humide, alors que le poids de gluten sec a été déterminé après le séchage de la pâte dans une étuve de 102°C pendant 18 h [KIG 67].

Teneur en gluten humide:

$$GH\% = \frac{PGH \times 100}{10} \times \frac{100}{100 - H\%} \quad [1]$$

Teneur en gluten sec:

$$GS\% = \frac{PGS \times 100}{10} \times \frac{100}{100 - H\%} \quad [2]$$

H% : Humidité de la farine

GH : Teneur en gluten humide (%).

PGH : Poids de gluten humide (g).

PGS : Poids du gluten sec (g)

2.2.3. Dosage des fibres

Le dosage de fibres (cellulose et lignine) de la farine et le son de blé s'est effectué selon la méthode de Van Soest [VAN 63], en utilisant les sachets filtrants [KOM 94]. Notons que la lignine a été dosée sans soustraire les minéraux insolubles.

2.3. Panification

Trois proportions du son, 21%, 14% et 7 %, ont été ajoutés à une farine de blé de type T65, chacune de ces proportions est utilisée à trois granulométries différentes (1mm, 1,4 mm et 1,8 mm). Ainsi, 9 mélanges de panification (son-farine) ont été préparés, en plus d'un mélange témoin (0% de son). Pour chaque mélange, nous avons ajouté des quantités identiques en sel et en levure (0,6g et 0,7g respectivement), et un volume de l'eau selon le besoin. La composition des mélanges préparés est présentée par le tableau1.

Les mélanges préparés ont été pétrifiés manuellement selon une méthode traditionnelle. Par la suite les pâtes sont mises en repos à température ambiante en suivant le développement de la hauteur des pâtes chaque 15 min pendant une durée de 90min. Après la fermentation les pâtes sont conditionnées sous des formes rondes et placées dans des petits moules à gâteaux, en les décorant avec des graines d'avoine, puis elles sont introduites dans un mini four électrique préchauffé à 250°C pendant 25 min.

Mélange	Granulométrie du son (mm)	Concentration du son (%)	Quantité de mélange (g)
M 1	1	7	46,30
M 2	1	14	46,49
M 3	1	21	46,87
M 4	1,4	7	46,73
M 5	1,4	14	47,15
M 6	1,4	21	46,50
M 7	1,8	7	46,54
M 8	1,8	14	46,56
M 9	1,8	21	47,36
M 10	0,00	0	46,51

Tableau 1. Composition des mélanges de panification. Les valeurs sont les moyennes de deux répétitions.

2.4. Qualité organoleptique du pain

2.4.1. Volume spécifique

Le volume spécifique du pain (c'est le quotient de volume du pain sur sa masse) est déterminé selon une méthode de déplacement des grains [AAC 00], en utilisant des grains de millet.

2.4.2. Colorimétrie

La couleur de la croûte des pains a été mesurée à l'aide d'un colorimètre (CHROMA METER CR-5). Les mesures de la couleur sont prises sur la croûte, puis au niveau de la mie du pain, en déterminant les paramètres trichromatiques L*, a* et b*, dont L* représente la brillance ou luminance, a* la balance vert-rouge et b* la balance bleu-jaune [MAT 13]. Ces paramètres ont été utilisés par la suite pour calculer l'indice de brunissement (IB) suivant la formule suivante:

$$IB = 100 \left(\frac{x - 0,31}{0,17} \right) \quad [3]$$

Où x est la coordonnée de chromaticité calculée à partir des valeurs a*, b* et L*, conformément à l'équation suivante :

$$x = \frac{a^* + 1,75 L^*}{5,645 L^* (a^* - 3,012 b^*)} \quad [4]$$

2.4.3. Analyse de la mie par imagerie

Après 1h de cuisson, des tranches de pain de 1cm d'épaisseur sont prélevées du centre des échantillons. Les images des tranches des pains sont acquises avec un scanner à plat (résolution 600 dpi), en recouvrant l'échantillon par un papier noir pour obtenir un bon contraste entre le fond noir et les tranches claires. Les images obtenues ont été traitées par le logiciel image j (Image CFG) en déterminant principalement la taille moyenne des alvéoles en mm² et la porosité du pain en % [GON 06].

2.4.4. Humidité de la mie et de la croûte

Après la cuisson, l'humidité de la mie et de la croûte des pains a été déterminée selon la méthode proposée par AFNOR [AFN 91].

2.5. Choix alimentaires

Dans notre étude nous avons choisi d'évaluer l'effet des plusieurs facteurs, à savoir les propriétés organoleptiques, la composition du pain, le sexe et l'âge sur le choix alimentaire des la population étudiée.

2.5.1. Population étudiée

L'étude a porté sur une population hétérogène de 106 enquêtés recrutés d'une manière aléatoire (40,48% Hommes, 59,52% Femmes), âgés de 12 à 75 ans, d'origine urbaine et rurale, qui ont accepté d'y participer dans des endroits différents de la ville de Meknès (les jardins publics, devant les écoles, les facultés etc.).

2.5.2. Présentation de l'aliment

Durant cette étude nous avons élaboré vingt échantillons de pain pour effectuer une enquête de 4 jours. Pour chaque deux jours d'enquête, dix pains ont été préparés dans des conditions similaires, caractérisés comme il est décrit précédemment. Les pains ont été coupés en morceaux (de 1cm d'épaisseur, contenant la croute et la mie), avant d'être conditionnée dans des sachets alimentaires identifiés par des codes spécifiques.

2.5.3. Déroulement de l'enquête

L'enquête est effectuée au mois Mars 2021. Elle s'est déroulée pendant 4 jours, entre 15 h et 17 h, cette tranche d'heure semble la plus pertinente pour l'enquête, parce que les places publiques accueillent généralement un grand nombre de population à cet intervalle horaire. Les enquêtés retenus étaient dans une situation normale : ils n'avaient ni faim ni soif et ils n'étaient ni malades ni rassasiés. Après l'information des gens sur les objectifs de l'étude et la procédure à suivre et l'obtention de leur accord d'adhésion à l'étude, les données relatives à chaque participant (l'âge et le sexe) ont été notées sur un questionnaire en papier.

Le participant devait d'abord évaluer visuellement 5 pains sélectionnés aléatoirement, en leur donnant une note/10 selon le degré d'appréciation. Par la suite, il passait à un test gustatif, où il évaluait, les yeux bandés, les mêmes pains. Le participant rinçait sa bouche après chaque dégustation.

2.6. Analyse statistique des données

Notre travail est basé sur une expérience factorielle à deux facteurs qui sont la concentration du son de blé et sa granulométrie, et chaque facteur prend 3 modalités. Ainsi, neuf traitements et un témoin ont été comparés. La présentation et l'analyse statistiques des données ont été effectuées par Excel et le logiciel R [RCO 21].

Plusieurs tests statistiques ont été appliqués selon la nature des variables. Pour évaluer les relations entre des variables qualitatives et des variables quantitatives, on a appliqué l'analyse de la variance (ANOVA) et le test t apparié, après vérification des conditions de normalité (test de Shapiro-Wilk) et d'homogénéité des variances (test de Bartlett). Lorsque ces conditions n'étaient pas remplies, nous avons utilisé le test non-paramétrique de Kruskall-Wallis. Les comparaisons multiples de moyennes ont été réalisées par les tests de Tukey, Kruskalmc ou Lsmeans, selon la situation. Les relations entre variables quantitatives ont été évaluées par le test de corrélation de Pearson et de Spearman.

3. Résultats et discussions

3.1. Impact du son de blé sur les propriétés de la pâte

Plusieurs paramètres caractérisant les matières de base (farine et son), les pâtes à la sortie du pétrissage et au cours de la fermentation, ainsi que les pains obtenus à la fin de la cuisson ont été déterminés par des méthodes présentées précédemment.

3.1.1. Caractères physicochimiques des mélanges de panification (farine-son)

La farine et le son de blé ont été soumis à des analyses physicochimiques, ce qui nous a permis de caractériser les mélanges de panification. Les moyennes arithmétiques sont présentées dans le tableau 2.

Mélange	Granulométrie (mm)	Son (%)	Humidité %	Taux de gluten sec (%)	Lignine (%)	Cellulose (%)
M 1	1	7	15,96 ^a	12,83 ^d	0,60 ^b	2,53 ^c
M 2	1	14	15,31 ^a	11,87 ^d	0,88 ^b	3,65 ^c
M3	1	21	14,66 ^a	10,90 ^d	1,16 ^b	4,76 ^c
M4	1,4	7	16,01 ^a	12,83 ^d	0,61 ^b	2,53 ^c
M5	1,4	14	15,41 ^a	11,87 ^d	0,92 ^b	3,66 ^c
M6	1,4	21	14,81 ^a	10,90 ^d	1,22 ^b	4,78 ^c
M7	1,8	7	15,89 ^a	12,83 ^d	0,60 ^b	2,40 ^c
M8	1,8	14	15,18 ^a	11,87 ^d	0,88 ^b	3,38 ^c
M9	1,8	21	14,47 ^a	10,90 ^d	1,16 ^b	4,36 ^c
M10	0	0	16,6 ^a	13,80 ^d	0,31 ^b	1,40 ^c

Tableau 2. Composition et caractéristiques physico-chimiques des mélanges farine-son.

Les valeurs sont les moyennes de deux essais

Le tableau 2 montre que la teneur en fibres insolubles (cellulose et lignine), l'humidité des mélanges et taux de gluten sont semblables pour tous les mélanges. Mais, le test de corrélation révèle qu'il ya une corrélation négative significative entre la concentration du son et l'humidité des mélanges ($r = -0,52$; $p < 0,01$) d'une part, et cet apport et le taux du gluten d'autre part ($r = -0,91$; $p < 0,01$). La diminution du taux de gluten est due notamment à la diminution de la proportion de la farine qui est la principale source du gluten du mélange (farine-son), alors que la diminution du taux d'humidité est due notamment à une faible teneur en eau dans le son par rapport à la farine.

3.1.2. Caractéristiques de la pâte

Le volume de l'eau utilisée durant le pétrissage et le gonflement des dix pâtes durant la fermentation sont présentés dans le tableau 3.

Pâte	Granulométrie (mm)	son (%)	Pente de la droite du volume en fonction du temps	Volume d'eau (mL)
P 1	1	7	1,2 ^{ab}	24,5 ^a
P 2	1	14	1,25 ^{ab}	24,5 ^a
P 3	1	21	1,11 ^{ab}	25,6 ^a
P 4	1,4	7	1,3 ^{ab}	24 ^a
P 5	1,4	14	1,16 ^{ab}	25 ^a
P 6	1,4	21	1,3 ^{ab}	26 ^a
P 7	1,8	7	1,25 ^a	23 ^a
P 8	1,8	14	1,14 ^{ab}	24 ^a
P 9	1,8	21	1,26 ^b	26 ^a
P 10	0	0	1,27 ^{ab}	24 ^a

Tableau 3. Volume d'eau utilisé et taux de variation du volume des pâtes en fonction de la granulométrie et la concentration du son ajouté. Les valeurs sont les moyennes de deux essais. Les valeurs de la même colonne qui n'ont aucune lettre commune sont différentes à $p<0,05$.

L'absorption de l'eau par les pâtes augmente significativement ($r=0,75$; $p<0,05$) avec l'augmentation d'apport du son. Ce résultat est confirmé également par la comparaison multiple des moyennes entre les pâtes les plus enrichies (21%) en son et celles qui ont les moins enrichies (7%) à condition que la granulométrie soit élevée. Concernant le volume de la pâte, le taux de variation des volumes de l'ensemble des pâtes était comparable à celui de la pâte témoin (P10).

Nos résultats sont en bon accord avec ceux obtenus par Almeida et collaborateurs[ALM 13], qui indiquent que l'ajout du son de blé ne présente aucun effet significatif sur la fermentation de la pâte, mais Wang et collaborateurs[WAN 02] ont remarqué que l'ajout des fibres (son de blé) contribuait à allonger le temps de fermentation. En outre, Noort et collaborateurs [Noo10] ont constaté que la réduction de la taille du son induit un développement optimal de la pâte, ce qui était expliqué par la diminution d'absorption de l'eau par les fibres broyées, ainsi l'eau disponible favorise l'activation des protéines de la farine et le développement de réseau du gluten.

Concernant l'absorption de l'eau, un effet significatif de substitution du son sur l'absorption de l'eau est montré aussi par Hussein et collaborateurs [HUS 19], qui ont indiqué qu'une grande capacité de rétention de l'eau par une farine enrichie en son (20%) par rapport à la farine blanche peut être liée à la nature hydrophile plus élevée des protéines du son.

3.2 Qualité organoleptique du pain

3.2.1. Volume spécifique

D'après les tests de corrélation, le volume spécifique est diminué significativement lorsque la granulométrie augmente ($r=-0,54$; $p<0,05$). Ceci peut-être expliqué par la rétention de l'eau par les fibres du son grossier. Ces derniers ont tendance à interagir avec les molécules d'eau par des liaisons hydrogènes très étroites, en réduisent la quantité d'eau disponible pour le développement du gluten au cours de la fermentation [COD 14 ; JAC18]. Cet impact n'a pas été remarqué par Noort et

collaborateurs [Noo10], qui ont travaillé avec des fractions du son plus faibles que celles que nous avons choisies.

En termes de concentration, Hussein et collaborateurs [HUS 19] ont montré qu'une concentration de 20% à 30% du son provoque une diminution significative de volume du pain, et ceci est dû pareillement à la teneur plus élevée en fibres insolubles et leur capacité de rétention d'eau. Ces résultats nous laissent suggérer que l'impact du son sur le volume du pain peut être atténué via la réduction de la taille des fibres.

3.2.2. Couleur de la croûte et de la mie du pain

Au niveau de la croûte, l'indice de brunissement n'a pas changé ni avec la granulométrie ni avec la concentration du son ajouté ($P>0,05$).

L'intensité de la coloration de la croûte ne peut pas être forcément liée aux propriétés du son, mais elle est principalement associée aux réactions de caramélisation non enzymatique qui surviennent au niveau de la croûte durant la cuisson, sous l'effet d'une température élevée. Cependant, la coloration de la mie du pain peut être affectée par la granulométrie du son notamment après un broyage extrême des molécules riches en lignine [MA 20]. Cet effet n'était pas significatif dans notre étude où les particules du son utilisées étaient assez grandes (figure 1).

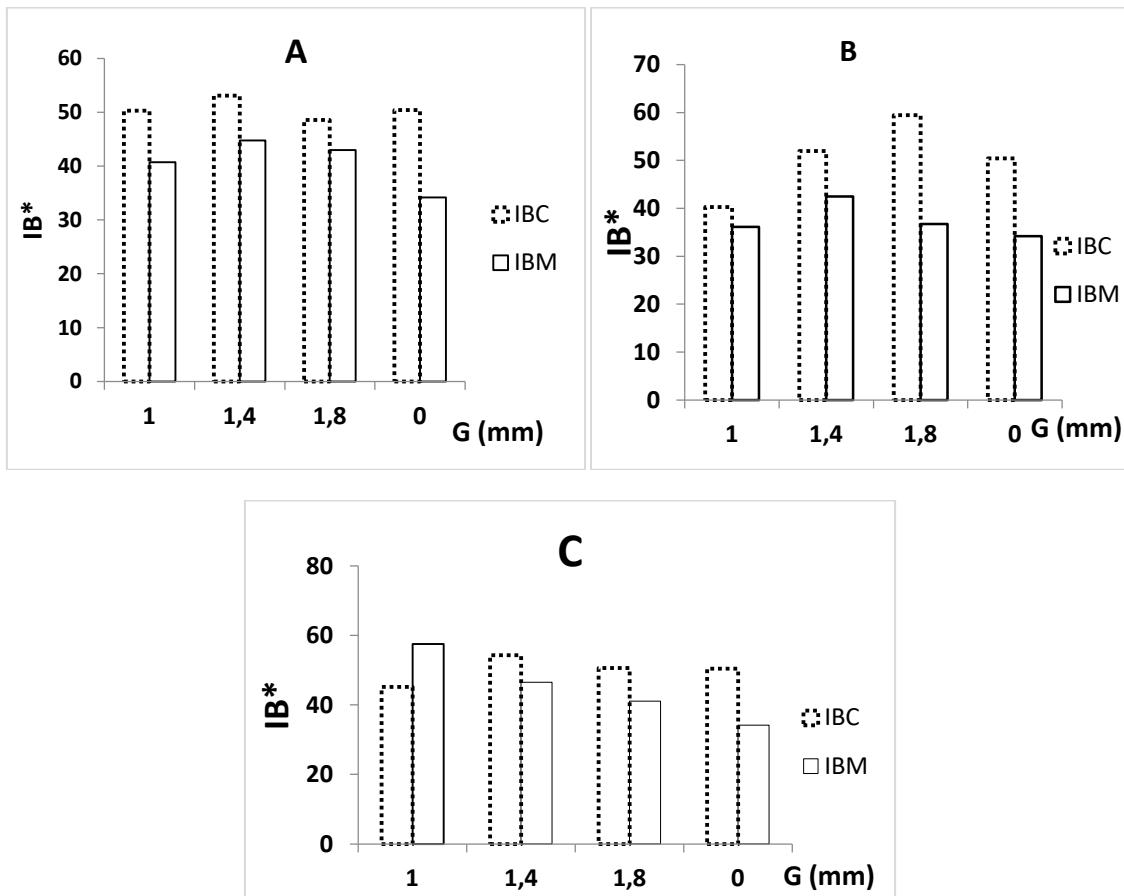


Figure 1. Indice de brunissement de la croûte et de la mie du pain en fonction de la granulométrie et la concentration du son de blé. Les graphes a, b et c présentent la variation d'indice de brunissement lorsque l'apport du son est respectivement de 7%, 14% et 21%. IB* = indice de brunissement ; IBC : indice de brunissement de la croûte ; IBM : indice de brunissement de la mie ; G : granulométrie.

3.2.3. Humidité de la mie et de la croûte

La concentration et la granulométrie du son n'avaient aucun effet significatif sur le taux d'humidité de la croûte des pains. En revanche, l'humidité de la mie augmentait significativement avec la concentration du son ($r= 0,67$; $p<0,05$).

L'humidité élevée de la mie pour les pains plus enrichis en son de blé est due principalement à la grande capacité de rétention de l'eau par les fibres du son. En effet, les mélanges les plus enrichis en son de blé sont ceux qui absorbent plus d'eau au cours de la panification et qui donnent des pains plus humidifiés (P3, P6, P9).

3.2.4 Paramètres texturaux du pain

Les résultats montrent qu'aucun changement significatif n'a affecté la porosité de la mie des pains en changeant la taille et l'apport du son (figure2). Mais, la taille des alvéoles formées au niveau de la mie augmente d'une manière significative ($P<0,05$) en augmentant la granulométrie du son (figure 3).

L'impact de la granulométrie sur la taille des alvéoles pour les pains qui recevaient des grosses fractions du son, peut-être dû à la capacité de ces fractions de laisser échapper le gaz carbonique (CO_2) au cours de la fermentation des pâtes. Concernant l'effet de la concentration, Packkia-Doss [PAC 19] a affirmé qu'une substitution du son de 24% entraîne une diminution significative de la porosité de la mie par rapport au pain blanc.

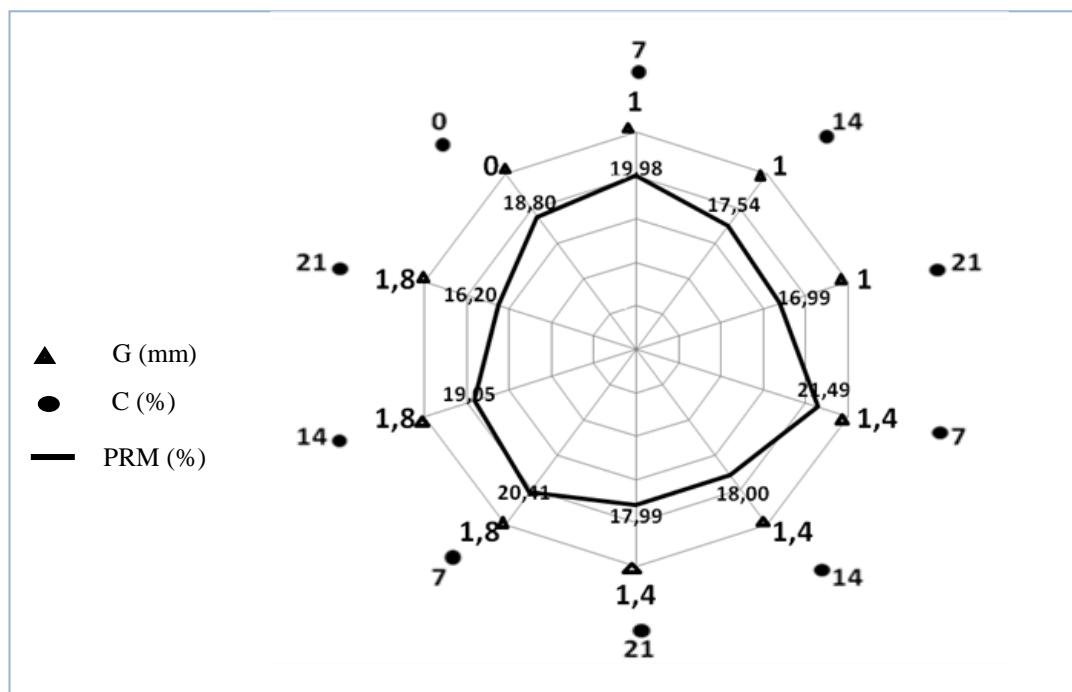


Figure 2. Mesures de la porosité pour chaque type du pain en fonction de la concentration du son et la granulométrie de ses fractions. Les valeurs sont les moyennes de deux répétitions= granulométrie ; C= concentration ; PRM= porosité de la mie

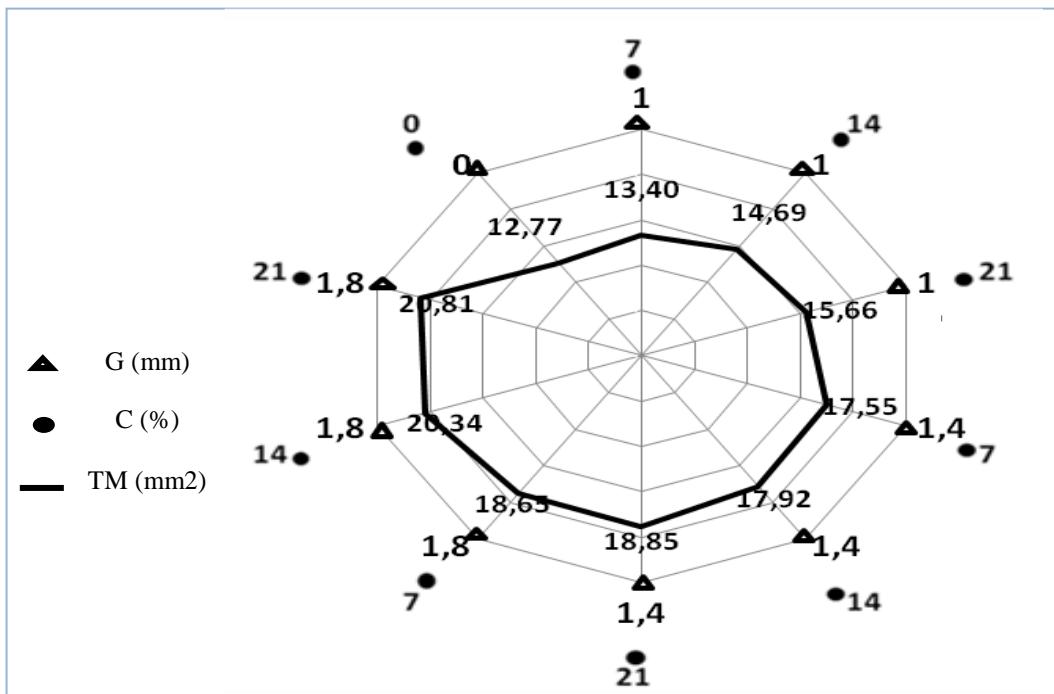


Figure 3. Mesures des tailles moyennes des alvéoles au niveau la mie du pain fonction de la concentration du son et la granulométrie de ses particules. Les valeurs sont les moyennes de deux répétitions.

G =granulométrie ; C = concentration ; $TMA (mm^2)$ = taille moyenne des alvéoles.

3.3. Choix du pain par le consommateur et les facteurs qui l'influencent

3.3.1. Influence du son

La proportion du son était corrélée positivement ($r=0,22$; $P<0,05$) avec l'appréciation visuelle du pain par le consommateur et négativement corrélée ($r=-0,31$; $P<0,05$) avec l'appréciation gustative. Ces résultats laissent suggérer que la sélection du pain riche en fibres par les enquêtés n'était pas une vraie préférence puisqu'elle est modifiée après la dégustation. Mais, elle peut être un choix qui se développe sous l'influence des informations délivrées à travers les annonces publicitaires (les fibres pour la santé...) et les ordonnances nutritionnelles qui peuvent induire les motivations du consommateur.

Dans le même sens, Wojtowicz & Moscicki [WOJ 11] ont observé que l'incorporation du son de blé dans la farine à une fourchette de 5 à 20% a permis d'améliorer les propriétés sensorielles (apparence, odeur, texture et saveur) du pain et son acceptabilité par le consommateur. Dans une autre étude, Sobota et collaborateurs [SOB 15] ont remarqué que l'addition du son du blé dans le pain jusqu'à 30% donnait des attributs sensoriels plus acceptables comparativement aux pains blancs.

D'un autre côté, la granulométrie du son ne présente aucun impact sur l'appréciation du pain ni visuellement, ni après dégustation ($p > 0,05$). A l'inverse, Zhang & Moore [ZHA 99] ont rapporté que le pain produit avec du son plus fin a tendance de présenter un goût plus attrayant que le pain produit avec du son grossier. Dans notre cas, les résultats pourraient être expliqués par le fait que la taille des particules du son n'était pas suffisamment petite pour qu'un goût spécifique se manifeste.

3.3.2. Influence de la qualité organoleptique

Les résultats obtenus (tableau 4) montrent qu'il y a une corrélation négative significative ($P<0,05$) entre l'intensité de la coloration de la mie du pain et les notes attribuées par les participants sans masque. D'après l'analyse de la couleur effectué précédemment, une coloration de la mie plus foncée est faiblement liée à la richesse du pain en son très fin, ce qui mettre en évidence une

influence indirecte de la granulométrie du son sur le choix du consommateur via le changement des propriétés organoleptiques du pain notamment la coloration de la mie. Des résultats contradictoires ont été rapportés par Almeida et collaborateurs [ALM 13] qui a indiqué que l'ajout du son du blé a permis aux consommateurs d'exprimer une grande acceptation de l'apparence du pain.

Caractères organoleptique	Note sans masque		Note avec masque	
	coefficient de corrélation	P-value	coefficient de corrélation	P-value
Porosité(%)	-0.02	0.57	-0.05	0.19
Indice de brunissement de la croûte	-0.02	0.60	0.02	0.67
Indice de brunissement de la mie	-0.10	0.03	-0.09	0.09

Tableau 4. Corrélation entre les caractéristiques organoleptiques du pain et les notes données par les participants.

3.3.3. Effet de la fraîcheur du pain

La "fraîcheur" du pain n'avait aucun effet significatif sur le choix du consommateur. En effet, les notes attribuées par les enquêtés durant les premiers jours d'enquête étaient semblables à celles des deuxièmes jours. Les pains préparés étaient utilisés le jour de préparation et le jour suivant, et étaient bien conservés et chauffés avant l'enquête.

3.3.4. Influence de l'âge sur le choix du pain

Les résultats obtenus montrent qu'il y a une faible corrélation positive entre l'âge des enquêtés et l'appréciation visuelle du pain ($r = 0.08$; $p < 0,05$), mais l'appréciation gustative n'était pas influencée par ce facteur. Ceci peut être lié à une faible perception du pain par les jeunes, étant donné qu'ils ne sont pas habitués à consommer des pains secs.

3.3.5. Influence du sexe sur le choix du pain

Les résultats (Tableau 5) montrent que les femmes tendent à donner des notes visuelles supérieures à celle des hommes ($P < 0,05$). Ce qui peut signifier qu'elles préfèrent visuellement les pains riches en son plus que les hommes. Cette différence entre les deux sexes pendant l'évaluation visuelle peut être due au statut social ou au niveau d'études. Ceci qui a été confirmé par Guiné et collaborateurs[GUI 16], qui ont affirmé qu'il y a une différence entre les deux sexes en ce qui concerne la consommation des fibres alimentaires, reflétant un meilleur niveau de connaissances sur les fibres et ses avantages chez les femmes.

Sexe	Note moyenne sans masque	Note moyenne avec masque
Femme	6.60 a	6.35c
Homme	6.19 b	6.29 c

Tableau 5. Effet du sexe sur l'appréciation visuelle et gustative du pain. Les valeurs de la même colonne qui n'ont aucune lettre commune sont différentes à $p < 0,05$.

5. Conclusion

Le son de blé est l'un des sources importantes de fibres alimentaires qui peuvent être utilisées pour améliorer la qualité nutritionnelle du pain. Cependant, les caractères du son notamment, la concentration et la granulométrie des particules semblent affecter la qualité organoleptique du pain et son acceptabilité par le consommateur.

Nos résultats suggèrent qu'il y a une prise de conscience de l'importance des fibres qui ne s'est pas encore traduite par une préférence. Dans les gammes des concentrations et des granulométries étudiées, un mélange farine-son dont la concentration du son de blé de 7% à 14% avec une granulométrie de 1,4 mm, présente des résultats exploitables pour la production d'un pain avec des vertus diététiques tout en préservant les caractéristiques sensorielles du pain et par conséquent son acceptabilité par le consommateur.

Références

- [AAC 00]AACC, *American association of cereal chemists. Approved methods of the AACC*, ed American Association of Cereal Chemists, St Paul, USA, 2000.
- [AFN 91]AFNOR., *Recueil de normes françaises-contrôle de la qualité des produits alimentaires céréales et produits céréaliers*, 3ème édition, Paris, 1991.
- [ALM 13]Almeida E L., Chang Y K., Steel C J., «Dietary fiber sources in bread: Influence on technological quality», *Food Science and Technology*, 50, p. 545-553, 2013.
- [BNM 19] Benmohamed A., Rémond D., Chambon C., Sayd, T., Hebraud M., Capel F., Cohade B., Hafnaoui N., Béchet D., Coudy-Gandilhon D., Migné C., David J., Dardevet D., Doré J., Polakof S., Savary-Auzeloux I., «A mix of dietary fermentable fibers improves lipids handling by the liver of overfed minipigs», *Journal of Nutritional Biochemistry*, 65, p.72-82, 2019.
- [COD 14]Coda R., Karki I., Nordlund E., Heinio R.L., Poutanen K., Katina K., «Influence of particle size on bioprocess induced changes on technological functionality of wheat bran», *Food Microbiology*, 37, p. 69-77, 2014.
- [GON 06]Gonzales-Barron U., Butler F., «A comparison of seven thresholding techniques with the k-means clustering algorithm for measurement of breadcrumb features by digital image analysis», *Journal of Food Engineering*, 74, p. 268-278, 2006.
- [GUI 16]Guiné P F R., Ferreira M., Duarte J., Leal M., «Knowledge about dietary fiber: a fiber study framework», *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 67, pp.707-714, 2016.
- [HUN 19]Hussein A M S., Ibrahim G E., «Effects of various brans on quality and volatile compounds of bread», *Foods and Raw Materials*, 7, p.42–50, 2019.
- [JAC 18]Jacobs P J., Hemdane S., Claes S., Mulders L., Langenaeken NA., Dewettinck K., Courtin C M, «Wheat bran-associated subaleurone and endosperm proteins and their impact on bran-rich bread-making», *Journal of Cereal Science*, 81, p. 99–107, 2018.
- [KIG 67]Kiger J L, KigerJ G., *Techniques modernes de biscuiterie, pâtisserie, boulangerie industrielle et artisanale et les produits de régime*, DUNO Edition, Paris, 1967.
- [KOM 94] Komarek A R, Robertson J B., KomarekAR., Robertson J B., VanSoest P J., «A comparison of methods for determining ADF using the filter bag technique versus conventional filtration», *Journal of Dairy Science*, 77, p. 114, 1994.
- [MA 20]Ma S., Wang Z., Liu L., Zhou P., Bao Q., Wang X., «Effect of wheat bran dietary fiber on the rheological properties of dough during fermentation and Chinese steamed bread quality», *College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology*, 56 , p, 1623-1630, 2020.
- [MAC 2021]Machloukh A., *Interview avec Ali Jafri : la production du pain au Maroc nécessite un meilleur contrôle.*(https://www.lopinion.ma/Interview-avec-Ali-Jafri-la-production-du-pain-au-Maroc-necessite-un-meilleur-controle_a11326.html), Consulté le 25/04/2021.
- [MAT 13]Matos M E., Rosell C M., «Quality indicators of rice-based gluten-free bread-like Products: Relationships between dough rheology and quality characteristics». *Food Bioprocess Technology*, 6, P. 2331-2341, 2013.

- [NOO 10]Noort M., Haaster D., Hemery Y., Schols H., Hamer R., «The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality-Evidence for fiber-protein interactions», *Journal of Cereal Science*, 52, p. 59-64, 2010.
- [RCO 21]R Core Team., *R: A language and environment for statistical computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021.
- [SOB 15]Sobota A., RzedzickiZ., Zarzycki P., Kuzawinska E., «Application of common wheat bran for the industrial production of high-fibre pasta», *International Journal of Food Science & Technology*, 50, p. 111–119, 2015.
- [TOP 07]Topping D., «Cereal complex carbohydrates and their contribution to human health», *Journal of Cereal Science*, 46, p. 220-229, 2007.
- [VAN 63]Van Soest P J., «Use of detergents in the analysis of fibrous feeds: A rapid method for the determination of fiber and lignin», *Journal - Association of Official Analytical Chemists*, 46, p.3583-3597, 1963.
- [WAN 02]Wang J., Rosell C M., Barber C B., «Effect of the addition of different fibers on wheat dough performance and bread quality», *Food Chemistry*, 79, p. 221-226, 2002.
- [WOJ 11]Wojtowicz A., MoscickiL., «Effect of wheat bran addition and screw speed on microstructure and textural characteristics of common wheat precooked pasta-like products», *Polish Journal of Food and Nutrition Science*, 61, p. 101–107, 2011.
- [ZHA 19]Zhang L., BovenA ., MulderJ .,GrandiaJ., Dong ChenX ., Boom M., Schutyser M A L.,«Arabinoxylans-enriched fractions: From dry fractionation of wheat bran to the investigation on bread baking performance», *Journal of Cereal Science*, 87, p. 1-8, 2019.
- [ZHA99]Zhang D., Moore W.,«Wheat bran particle size effects on bread baking performance and quality», *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, p. 805–9, 1999.