

République Algérienne Démocratique Et Populaire

Ministère de L'Enseignements Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Saad DAHLAB-Blida 1



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Alimentaires

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en

Spécialité : Nutrition et Diététique Humaine

Filière : Sciences Alimentaires

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Thème

**Effet de la fermentation du millet sur la valeur nutritionnelle et
nutraceutique des biscuits**

Présenté par : HOAURI Larbi et MERBOUH Ikram

Devant le jury composé de :

BOULKOUR Soraya	MCB	USDB1	Présidente
METIDJI Hafidha	MCB	USDB1	Examinatrice
KADRI Farida	MCA	USDB1	Promotrice

Année universitaire 2020/2021

Remerciements

Avant toute chose, nous tenons à remercier le Bon Dieu, le tout puissant, de nous avoir donné la force et la patience pour achever ce travail.

J'exprime d'abord mes profonds remerciements et ma vive reconnaissance à Mme KADRI Farida, Maitre de conférences à la faculté SNV, pour nous avoir encadré et dirigé ce travail avec une grande rigueur scientifique, sa disponibilité, ses conseils et la confiance qu'elle nous a accordé pour réaliser ce travail.

Nous tenons à exprimer également nos remerciements à Mr TAKOUCH.M l'ingénieur de laboratoire de la Nouvelle Biscuiterie de Cherchell pour ses précieux conseils, la patience et le soutien moral qu'il nous a apporté pendant toute la période de stage.

On remercie l'entreprise Moula Pate pour leur aide qu'ils nous ont apporté pour la réalisation des analyses nutritionnelles.

J'adresse mes sincères remerciements à Mme BOLKOUR Soraya, Maitre de Conférence B à la faculté SNV, d'avoir accepté de présider le jury de notre soutenance, et à Mme METIDJI Hafida, Maitre de Conférence B à la faculté SNV d'avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Finalement, nous remercions toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la concrétisation de ce mémoire.

Dédicaces

MERBOUH Ikram :

Je dédie ce travail à ma très chère maman qui m'a toujours apporté l'aide et le soutien tant morale, physique que financier pour la réussite de mes études, les mots me manquent pour dire à quel point je vous en suis reconnaissant et vous adresse mes plus profonds remerciements.

Ma reconnaissance va aussi à l'endroit de tous les membres de ma famille, je n'oublierai jamais votre soutien indéniable, je en vous remercie profondément.

HOUARI Larbi :

Je dédie ce travail à ma mère et mon père qui ont toujours été là dans les bons et mauvais moments, à ma sœur Maïssa et ma tante Fatiha.

Je le dédie aussi à tous mes amis Abderrahim, Hichem, Maamer, le petit Yasser, Aymen, Youcef et surtout à Chawki et Yacine qui m'ont donné des conseils et aidé à la réalisation de ce travail.

Et aussi à notre chère promotrice Mme KADRI pour tous son aide, sa gentillesse et sa confiance.

Et enfin à ma famille.

Résumé

L'objectif principal de ce travail est l'évaluation de l'effet de la fermentation naturelle par la flore endogène des grains de millet perlé sur la qualité nutritionnelle, nutraceutique et sensorielle des biscuits.

La comparaison des résultats des analyses nutritionnelles a montré que les biscuits préparés à base de farine de millet perlé fermenté renferment des teneurs de 16,85g/100g de graisse totales dont 11,46g/100g d'acides gras saturés, 66,25g/100g de glucides dont 16,2g/100g de sucres, 7,91g/100g de protéines et 1,33g/100g de cendres. La valeur énergétique de biscuit à base de millet fermenté est de 448,29Kcal.

Les résultats des analyses nutraceutiques montre que le biscuit à base de farine de millet fermenté possède une valeur de 0,82 mg EQ/g des flavonoïdes totaux avec une activité antiradicalaire IC50% de DPPH* égale à 6,5 EQ/l, une valeur de 11,75 mg EAG/100g de polyphénols totaux avec une activité antiradicalaire de IC50% de DPPH* égale à 37 mg EAG/l.

L'analyse sensorielle réalisée sur 3 panels montre que la fermentation ne modifie pas la texture, l'aspect et la couleur du biscuit à base de millet qui nécessite une correction du goût et l'arrière-goût peu acceptable en comparaison avec le biscuit à base de farine blanche de blé tendre (témoin) qui a recueilli le meilleur score.

On a pu obtenir à la fin de ce travail un biscuit d'intérêt nutritionnel et nutraceutique satisfaisant, qui demande une amélioration de la formule afin de le rendre plus acceptable comme un produit diététique.

Mots-clés : biscuit, millet perlé, fermentation, analyses nutritionnels, analyse nutraceutique, analyse sensorielle.

Abstract

The main objective of this work is the evaluation of the effect of the natural fermentation by the endogenous flora of pearl millet grains on the nutritional, nutraceutical and sensory quality of the cookies.

The comparison of the results of nutritional analyzes showed that the biscuits prepared with fermented pearl millet flour contain 16.85g /100g of total fat including 11.46g /100g of saturated fatty acids, 66.25g /100g of carbohydrates including 16.2g /100g of sugars, 7.91g/100g of proteins and 1.33g / 100g of ash. The energy value of a biscuit made from fermented millet is 448.29Kcal.

The results of nutraceutical analyses showed that the biscuit made from fermented millet flour has a value of 0.82 mg EQ /g of total flavonoids with an antioxidant activity with IC50% of DPPH * equal to 6.5 mg EQ /l, a value of 11.75 mg EAG /100g of total polyphenols with an antioxidant activity of IC50% of DPPH * equal to 37 mg EAG /l.

The sensory analysis carried out on 3 panels shows that the fermentation did not modify the texture, the appearance and the color of the millet-based biscuit that requires a correction of the taste and the aftertaste which is not very acceptable in comparison with the biscuit made of white wheat flour (control). This obtained the best score.

At the end of this work, it was possible to obtain a biscuit of satisfactory nutritional and nutraceutical interest, which requires an improvement of the formula in order to make it more acceptable as a dietetic product.

Keywords: biscuit, pearl millet, fermentation, nutritional analyzes, nutraceutical analysis, sensory analysis.

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تقييم تأثير التخمير الطبيعي لحبوب الدخن اللؤلؤي على الجودة الغذائية والتغذوية والحسية للبسكويت.

أظهرت مقارنة نتائج التحليلات الغذائية أن البسكويت المحضر بدقيق الدخن المخمر يحتوي على 16.85 مغ/ 100 غ من الدهون الكلية بما في ذلك 11.46 مغ/ 100 غ من الأحماض الدهنية المشبعة، 66.25 مغ/ 100 غ من كربوهيدرات منها 16.2 مغ/ 100 غ من السكريات ، 7.91 مغ/ 100 غ من البروتينات و 1.33 مغ/ 100 غ من الرماد. تبلغ القيمة الطاقوية في البسكويت المصنوع من الدخن المخمر 448.29 كيلو حريرة.

تظهر نتائج تحليلات المغذيات أن البسكويت المصنوع من دقيق الدخن المخمر له قيمة 0.82 ملغ مكافئ كرسيتين / لتر من الفلافونويد مع نشاط مضاد للجذور الحرة %IC50 من * DPPH يساوي 6.5 ملغ مكافئ كرسيتين / لتر ، بقيمة 11.75 ملغ مكافئ حمض الغاليك / 100 غ من البوليفينول مع نشاط مضاد للجذور الحرة بنسبة %IC50 من * DPPH يساوي 37 ملغ مكافئ حمض الغاليك / لتر.

أظهر التحليل الحسي الذي تم إجراؤه على 3 مجموعات أن التخمير لا يغير نسيج ومظهر ولون بسكويت الدخن مما يتطلب تصحيح الطعم والمذاق وهو أمر غير مقبول للغاية مقارنة بالبسكويت مع البسكويت. قاعدة من دقيق القمح الأبيض الطري (السيطرة) التي حصلت على أفضل درجة.

في نهاية هذا العمل، كان من الممكن الحصول على بسكويت ذي فائدة غذائية ومغذية مرضية، الأمر الذي يتطلب تحسين الصيغة لجعلها أكثر قبولاً كمنتج تغذي.

الكلمات المفتاحية: البسكويت، الدخن اللؤلؤي، التخمير، التحليلات الغذائية، التحليل التغذوية، التحليل الحسي

Liste des abréviations

A% : Activité antioxydante

AL : Métal

AlCl₃ : Chlorure d'aluminium

B1 : Biscuit à base de blé

B2 : Biscuit à base de blé tendre

B3 : Biscuit à base de millet non fermenté

B4 : Biscuit à base de millet

BHA : Butyl hydroxynisol

BHT : Butylhydroxytoluène

Bb : Biscuit à base de farine blanche

Bbc : Biscuit à base de blé complet

Bnm : Biscuit à base de millet non fermenté

Bm : Biscuit à base de millet fermenté

CO : Complexe coloré

Co₂ : Dioxyde de carbon

CuO : Oxyde cuivrique

Cu₂O : Oxyde cuivreux

DO : Densité optique

DPPH : 2,2 Diphényl-1-picrylhydrazol

Ec 50% : Concentration effective de substance qui provoque une diminution de 50% de DPPH

Eag : Equivalent d'acide gallique

EQ : Equivalent quercétine

FB : Farine blanche

FC : Farine complète

F(c) : Concentration des composés phénoliques

Fig. : Figure

G : Gonflement

H : Teneur en eau de l'échantillon % de la masse humide

H₂SO₄ : Acide sulfurique

IG : Indice glycémique

LCQ : Laboratoire de contrôle de qualité

M : Masse en gramme du résidu lipidique

MF : Millet fermenté

MG : Matière grasse

Mnf : Millet non fermenté

NBC : Nouvelle Biscuiterie de Cherchell

NH₄^{*} : Ammonium

NH₃ : Ammoniaque

OH : Groupement hydroxyle

Pe : Masse en gramme de la prise d'essai

PFE : Projet de Fin d'Etude

P/L : Equilibre entre la ténacité p et l'extensibilité L

SFI : Indice de graisse solide

SFC : Contenu de graisse solide

SR : Spread ratio

Listes des tableaux

Tableau 1 : Noms commun et scientifique de différents types de millet avec les régions de production

Tableau 2 : Composition chimique et nutritionnelle du millet perlé en comparaison avec autres céréales

Tableau 3 : Classification des farines en fonction de leur force boulangère

Tableau 4 : Qualité des ingrédients utiliser pour la fabrication du biscuit

Tableau 5 : Distribution des échantillons pour le panel 1 et panel 3

Tableau 6 : Distribution des échantillons pour le panel 2

Tableau 7 : Paramètres physiques de biscuit à base de (farine blé tendre, farine de blé complet, farine de millet fermenté et farine de millet non fermenté)

Tableau 8 : Valeurs nutritionnelles pour 100g de biscuit sec à base de (farine blé tendre, farine de blé complet, farine de millet fermenté et farine de millet non fermenté)

Tableau 9 : Valeurs nutraceutiques de biscuit sec à base de (farine de blé tendre, farine de blé complet, farine de millet fermenté et farine de millet non fermenté)

Tableau 10 : Valeurs de IC50 exprimées en mg EQ/l et mg EAG/l en fonction de type de biscuit (formulé à base de farine blanche de blé tendre, farine de blé tendre complète, farine de millet fermenté et farine de millet non fermenté)

Tableau 11 : Score total des deux types de biscuits selon les jurés par des jurés ayant de maladie cœliaque.

Listes des figures

Figure 1.1 Les grains des différents types de millet

Figure 1.2 Formes de la panicule et du grain du millet perlé

Figure 1.3 Production mondiale du millet perlé de 2016 en fonction des pays

Figure 1.4 Pate de millet perlé, Roulers en boule de millet perlé, Bouillie à base du millet perlé, Galette du millet perlé

Figure 1.5 Effet de la fermentation sur les minéraux

Figure 1.6 Illustration montre comment la fermentation donne lieu à différents IG d'aliments fermentés

Figure 2.1 Grains de millet perlé

Figure 2.2 Farine blanche de blé et farine de blé complète

Figure 2.3 Fermentation par la flore endogène des grains de millet

Figure 2.4 Séchage de millet perlé fermenté dans l'étuve

Figure 2.5 Réaction d'un antioxydant avec le DPPH

Figure 3.1 Humidité (avant et après cuisson) de différents types de biscuits

Figure 3.2 Graisse totale et l'acide gras saturé de différents types de biscuits

Figure 3.3 Glucide et sucres des différents types de biscuits

Figure 3.4 Protéines des différents types de biscuits

Figure 3.5 cendres dans différents types de biscuits

Figure 3.6 Valeurs énergétiques des différents types de biscuits

Figure 3.7 Flavonoïde de différents types de biscuits

Figure 3.8 Polyphénols totaux des différents types de biscuits

Figure 3.9 Résultats de l'évaluation sensorielle de biscuit à base de farine blanche de par des jurés spécialisés dans le secteur agroalimentaire

Figure 3.10 Résultats de l'évaluation sensorielle de biscuit à base de farine de blé complète par des jurés spécialisées dans le secteur agroalimentaire

Figure 3.11 Résultats de l'évaluation sensorielle de biscuit à base de farine de millet perlé non fermenté par des jurés spécialisés dans le secteur agroalimentaire

Figure 3.12 Résultats de l'évaluation sensorielle de biscuit à base de farine de millet perlé fermenté par des jurés spécialisés dans le secteur agroalimentaire

Figure 3.13 Résultats de l'évaluation sensorielle de biscuit à base de farine blanche de blé par des jurés qui ne suivent aucun régime alimentaire

Figure 3.14 Résultats de l'évaluation sensorielle de biscuit à base de farine de blé complet par des jurés qui ne suivent aucun régime alimentaire

Figure 3.15 Résultats de l'évaluation sensorielle de biscuit à base de farine de millet non fermenté

Figure 3.16 Résultats de l'évaluation sensorielle de biscuit à base de farine de millet fermenté par des jurés qui ne suivent aucun régime alimentaire

Figure 3.17 Scores totaux des 4 types de biscuits selon des jurés spécialisé dans le secteur agroalimentaire et des jurés qui ne suivent aucun régime alimentaire

Figure 3.18 Résultats de l'évaluation sensorielle de biscuit de millet non fermenté par des jurés ayant de maladie cœliaque.

Figure 3.19 Résultats de l'évaluation sensorielle de biscuit de millet fermenté par des jurés ayant de maladie cœliaque.

Sommaires

Remerciant

Dédicaces

Résumé

Listes des abréviations

Listes des tableaux

Listes des figures

Introduction1

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

I-Millet.....3

1-Définition.....3

2-Types de millet.....3

3-Caractéristiques morphologiques du millet perlé.....4

a-Tige.....4

b-Feuilles.....5

c-Inflorescence.....5

d-Caryopse (grain).....5

4-Importance du millet perlé.....6

5-Utilisation du millet perlé.....7

a-Au Brésil.....7

b-En Afrique et l'Inde.....8

c-transformation.....8

6-Composition nutritionnelle et chimique du grain de millet perlé.....9

a-Hydrate de carbone.....9

b-Protéines.....	10
c-Lipides.....	10
d-Vitamines.....	10
e-Minéraux.....	10
7-Importance du millet sur la santé.....	10
7.1-Importance nutraceutique du millet.....	10
II-Biscuit.....	12
1-Définition du biscuit.....	12
2-Classification des biscuits.....	12
2.1-Les pâtes dures et semi dures.....	12
2.2-Les pâtes molles.....	12
2.3-Les pâtes à gaufrettes.....	12
3-Qualité du biscuit.....	13
3.1-Les principaux ingrédients et leurs effets.....	13
3.2-Farines.....	13
3.2.1-types de farines.....	13
3.2.2-Caractéristiques de la farine biscuitière.....	14
3.3-Matière grasse.....	15
3.3.1-Plasticité.....	15
3.3.2-Contribution structurale.....	15
3.3.3-Incorporation et stabilité de l'air.....	15
3.3.4-Transfert de chaleur.....	16
3.3.5-Qualité organoleptiques et nutritionnelles.....	16
3.4-Le sucre.....	16
3.5-L'eau.....	16

3.6-Le sel.....	17
3.7-La vanille.....	17
3.8-La lécithine.....	17
3.9-Technologie de fabrication.....	18
3.9.1-Le pétrissage.....	18
3.9.2-La cuisson.....	18
4-Critères de qualité d'un biscuit.....	18
III-Fermentation.....	19
1-Définition.....	19
2-Effet de la fermentation sur la qualité nutritionnelle et nutraceutique.....	19
2.1-Glucide.....	19
2.2-Protéine.....	20
2.3-Minéraux.....	20
2.4-Vitamines.....	21
2.5-Activité antioxydante.....	21
2.6-Digestibilité.....	21
3-Fermentation et indice glycémique.....	22

Chapitre II : Matériel et méthodes

1-Lieu de stage.....	24
2-Matériel.....	24
2.1-Grains de millet perlé.....	24
2.2-Farines blanche.....	24
2.3-Farine complète.....	25
2.4-Matériel de laboratoire.....	25
3-Méthodes.....	25

3.1-Fermentation des grains de millet perlé.....	25
3.2-Séchage des grains de millet perlé fermenté.....	26
3.3-Préparation des farines.....	26
3.4-Préparation des biscuits.....	26
3.4.1-La pâte.....	26
3.4.2-Façonnage des biscuits	26
3.4.3-La cuisson.....	26
3.5-Caractéristiques physiques des biscuits.....	27
3.5.1-Humidité.....	27
3.5.2-Ratio spread.....	27
3.6.1-Paramètres nutritionnels.....	27
a-Protéine.....	27
b-Lipide.....	28
c-Glucide.....	29
d-Cendre.....	29
e-Valeur énergétique.....	29
3.6.2-Paramètres nutraceutiques.....	29
3.6.2.1-Dosage des polyphénols et des flavonoïdes totaux.....	29
a-Dosage de polyphénols totaux.....	30
b-Dosage des flavonoïdes.....	30
c-Activité antioxydant.....	31
3.6.3-Analyse sensorielle.....	32
Chapitre III : Résultats et discussions	
1-Analyses nutritionnelles.....	35
1.1-Graisses totales (dont les acides gras saturés).....	35

1.2-Glucides (dont les sucres).....	36
1.3-Protéines.....	37
1.4-Cendres.....	38
1.5-Valeur énergétique.....	38
2-Propriétés nutraceutiques.....	39
2.1-Flavonoïdes.....	40
2.2-Polyphénols totaux.....	41
2.3-Activité antioxydante.....	41
3-Paramètres physiques.....	43
3.1-L'humidité.....	44
3.2-Densité.....	44
3.3-Ratio spread.....	45
4-Analyses sensorielles.....	45
4.1-Des jurés spécialisés dans le secteur agroalimentaire.....	45
4.2-Des jurés qui ne suivent aucun régime alimentaire.....	48
4.3-Des jurés ayant la maladie cœliaque.....	51
Conclusion	54

Références

Annexes

Introduction

Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en développement, particulièrement dans les pays maghrébins. En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale (**RNT, 2009**). Les céréales sont définies comme des graines amylacées (riches en amidon) pouvant être transformées en farines et semoules à usage alimentaire (**Aubert, 1985**).

Le millet perlé (*Pennisetum glaucum*) est l'une des plus importantes cultures céréalières des tropiques et des pays en développement (**Nambiar et al., 2011**). Selon **Reddy et al. (2013)**, le millet perlé est cultivé sur environ 27 millions d'hectares dans certains environnements tropicaux difficiles de l'Afrique subsaharienne et de l'Asie. En Algérie, il est cultivé dans les régions du Tidikelt (In Salah) et de l'Ahaggar dans la wilaya de Tamanrasset et dans d'autres wilaya du sud du pays (**Boudries, 2017**). C'est une culture polyvalente, utilisée pour l'alimentation, le carburant et les aliments pour animaux, Il a été prouvé que les grains de millet perlé contiennent des nutriments importants, notamment des protéines, des acides aminés soufrés, des minéraux comme le fer et le calcium, des glucides et plusieurs composés phénoliques qui contribuent aux propriétés antioxydantes des grains (**Abdalla et al., 1998; Sade, 2009 ; Odusola et al., 2013**).

La fermentation est considérée comme l'un des procédés le plus ancien et le plus économique dans la conservation et la transformation des matières premières alimentaires. Elle prolonge leurs durées de vie, en éliminant les facteurs toxiques et antinutritionnels. Leurs propriétés organoleptiques et nutritionnelles sont également améliorées (**Tamang, 2010**).

Parmi les produits prêts à consommer, les biscuits revêtent une grande importance car ils sont largement acceptés, abordables et ont une durée de conservation relativement longue (**Iwegbue, 2012**) En raison de leur grande diffusion, les biscuits ont également été fréquemment considérés comme un vecteur de substances saines ayant des propriétés antioxydantes ou prébiotiques (**Ajila et al, 2008 ; Pasqualone et al., 2015**). Peu d'études sont cependant disponibles dans la littérature sur la qualité nutritive et les propriétés de promotion de la santé des grains de millet perlé fermentés et maltés (**Adebiyi et al 2016 ; Odusola et al, 2013 ; Sade et al, 2009 ; Taylor & Duodu, 2015**).

C'est dans ce contexte que nous avons entrepris notre étude afin de connaître l'influence de la Fermentation des grains du millet perlé sur la valeur nutritionnelle et nutraceutiques des biscuits. Dans ce mémoire nous présentons en premier chapitre une synthèse bibliographique sur

le millet perlé et son importance reconnue dans la littérature, sur le biscuit en tant qu'un aliment comportant une valeur nutritive variable en fonction de ses ingrédients et sur la fermentation comme procédé de transformation. En deuxième chapitre consacré au matériel et méthodes utilisée pour préparer le biscuit et les analyses nutritionnelles, nutraceutique, physique et sensorielle. En dernier chapitre nous avons présenté les résultats obtenus et nous nous sommes intéressés à les comparer à fur et à mesure aux normes de référence et les discuter avec ceux obtenus dans des travaux antérieurs. Une conclusion est donnée à la fin de ce mémoire.

Synthèse bibliographique

I- Millet

1. Définition

Le millet perlé est une culture annuelle appartenant à la famille des *Poaceae*, de la sous-famille *Panicoideae* de laquelle font aussi parti le maïs et le sorgho. Le millet perlé est cultivé depuis environ 3000 ans en Afrique tropical de l'ouest, son pays d'origine (CGIAR, 2004). Il a été par la suite apporté en Afrique de l'est, en Asie du sud et en Amérique latine (CGIAR, 2004).

2. Types de millet

Les millets sont de petites graines de la famille des graminées et appartiennent à l'ordre des Poales et à la famille des *Poaceae* (Dendy 1995). Ils couvrent dix genres et au moins 14 espèces. Les millets les plus couramment cultivés sont les millets perlés et les petits millets. Les types de petit millet incluent le millet à doigts, le millet à proso, le millet foxtail, le millet de barnyard, le petit millet et le kodo, le fonio, le teff, le browntop et le millet australien sont les espèces de millet les moins cultivées (Rachie 1975).



Fig.1.1 : Les grains des différents types de millet (Adekunle, 2012)

Tableau1 : Noms commun et scientifique de différents types de millet avec les régions de production (ICRISAT, 2012 ; Serna-Saldivar & Rooney, 1995 ; Taylor & Emmambux, 2008).

Nom commun	Nom scientifique	Taxonomie	Région de production
Perlé Bajra Seno	<i>Pennisetum glaucum</i>	Paniceae	Inde, Afrique occidentale, Est et Sud d'Afrique
Finger Ragi African Patte d'oiseau	<i>Elusine coracana</i>	Eragrotideae	Inde, Afrique orientale, Afrique du sud, Ouganda, Tanzanie, Sri Lanka, Malaisie, Chine, Népal
Foxtail Italien	<i>Setaria italica</i>	Paniceae	Chine, Inde, Europe de l'Est
Proso Hog Samai	<i>Panicum miliaceum</i>	Paniceae	Chine, Russie, Kazakhstan, Ukraine, Inde, Japon
Heen meneri	<i>Panicum sumtense</i>	Paniceae	Inde
Kodo Varagu Paspalum indien	<i>Paspalum scrobiculatum</i>	Paniceae	Inde
Barnyard japonasi Sanwa Kweichou	<i>Paspalum scobiculatum</i>	Paniceae	Inde, Japon, Chine, Malaisie
Teff	<i>Eragrostis tef</i>	Eragrostideae	Ethiopie, Australie

3. Caractéristiques morphologiques du millet perlé

a. Tige

Le millet perlé (*Pennisetum glaucum*) est une plante à port érigé, possédant des tiges épaisses et à hauteurs variant de 1,5 à 3 m, mais on peut trouver des mils de près de 4 mètres (Moumouni, 2014). La racine est de type fasciculé avec une seule racine séminale principale suivie de nombreuses racines adventives. Une des causes de la bonne adaptation du mil aux

conditions pédoclimatiques de la zone semi-aride est son développement racinaire important, pouvant atteindre 300 cm de profondeur à la récolte (**Ahmadi et al., 2002 ; ROCAFREMI, 2002**).

Les tiges du millet perlé sont dressées et rigides avec des entre-nœuds pleins (**Bouzou, 2009**). Les entre-nœuds de la base s'allongent en dernier et sont plus courts. Les nœuds de la base sont capables de donner des talles secondaires et tertiaires. Les nombres de talles productives varient de 1 à 7 (**Anonyme, 2004**). Le mil émet parfois des ramifications sur les nœuds supérieurs de la tige et donnent des panicules de petites dimensions (**Iliassou, 2009**).

b. Feuilles

Les feuilles alternes et à nervures parallèles s'insèrent au niveau des nœuds. Elles sont formées d'une gaine entourant complètement la tige et d'un limbe lancéolé (**Anonyme, 2004**). Ses feuilles sont longues, glabres, assez minces, lisses ou poilues et mesurent jusqu'à 1 m de long.

c. Inflorescence

L'inflorescence est une panicule apicale raide, compacte des formes cylindrique et conique. Elle a généralement 2 à 3 cm de diamètre mais peut atteindre jusqu'à 18 cm de diamètre et 15 à 45 cm de longueur. Cependant, certains cultivars comme le Zongo du Niger, peuvent atteindre 150 cm (**Anonyme, 2004 ; Moumouni, 2014 ; Hamadou, 2015**). Dans le descripteur du mil, on trouve 9 formes de panicule Figure (2) (**IBPGR & ICRISAT, 1993**). La panicule est constituée par un rachis (axe central), droit, cylindrique, dur et épais de 8 à 9 mm. Il s'étend sur toute la longueur de l'inflorescence. Il est recouvert de poils doux et courts. Sur ce rachis sont implantés, par l'intermédiaire des pédicelles, les involucre formés par un bouquet de soies contenant les épillets (**Loumerem, 2004**). Chaque panicule peut former 870 à 3000 épillets avec une moyenne de 1600 épillets. Il y a plusieurs types d'épillets : uniflores, biflores, triflores et jusqu'à six fleurs. Chaque épillet est constitué de deux glumes dont une glume inférieure courte, plus large que longue, et une glume supérieure plus longue qui atteint environ la moitié de la longueur de l'épillet. La glume supérieure a une forme ovale et montre 3 à 4 nervures. Certaines des fleurs d'épillet sont fertiles et forment des caryopses (**Moumouni, 2014 ; Hamadou et al., 2017**).

d. Caryopse (grain)

Le grain de millet perlé a une forme obovée, obtus à aigu avec une longueur entre 2mm et 5,5mm, une largeur entre 1,6mm et 3,2mm et une épaisseur environ 1,2mm et 2,5mm.

Le grain de millet est exposé ou saillant entre les bractées florales avec une couleur jaune à gris souvent tacheté de pourpre à l'apex (**Brunken, 1977**).

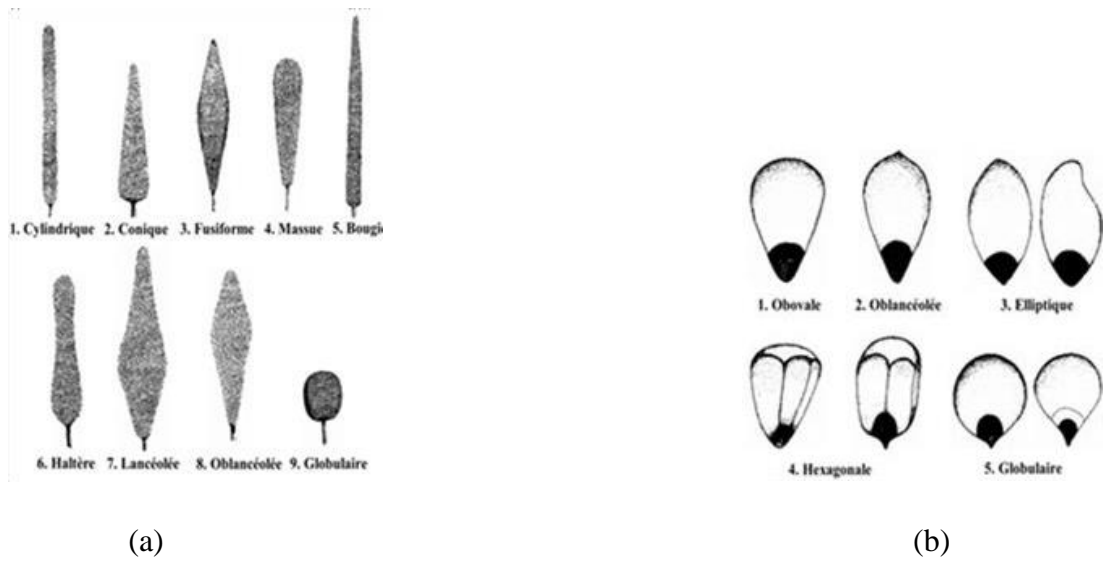


Fig.1.2 : Formes de la panicule (a) et du grain (b) du millet perlé (**IBPGR-ICRISAT, 1993**)

4. Importance du millet perlé

La culture du mil remonte à la plus haute antiquité. Il était déjà utilisé et cultivé dans les temps préhistoriques dans beaucoup d'endroits (**Loumerem, 2004**). Le mil occupe la 7ème place parmi les céréales les plus importantes au monde (**Moumouni, 2014**). En 2007, la production mondiale du mil a atteint environ 32 millions de tonnes (**Amadou et al., 2013**). Dans le monde, la culture du mil couvrait plus de 33,11 millions d'hectares en 2013 avec une production de 25,9 millions de tonnes (**Hamadou et al., 2017**). Aujourd'hui elle atteint 1,9 million de tonnes (**FAOSTAT, 2020**).

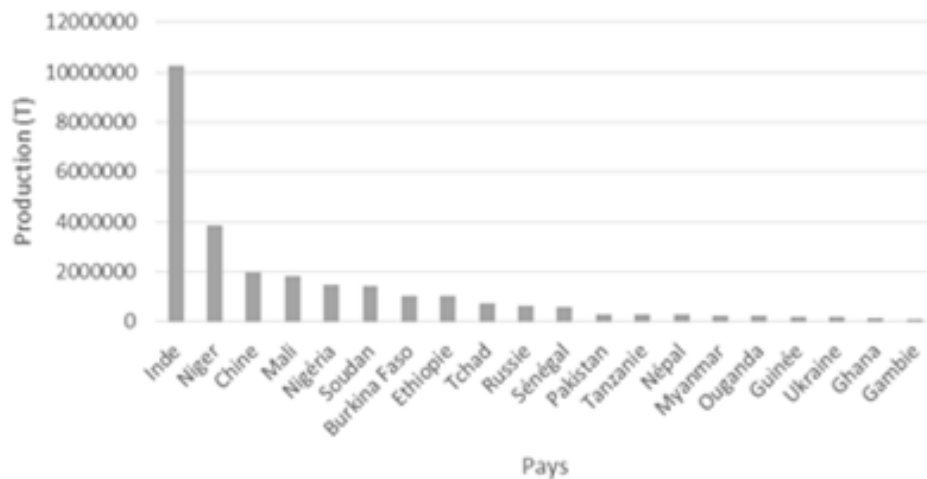


Fig.1.3 : Production mondiale du millet perlé de 2016 en fonction des pays (FAOSTAT, 2018)

L'Inde est le premier pays producteur au monde avec 10 millions de tonnes, le millet se trouve être caractéristique des systèmes de culture les plus dominants (Hamadou *et al.*, 2017). En effet, le millet est cultivé sur plus de 65% de la superficie emblavée et constitue 75% de la production céréalière totale du pays (Soler *et al.*, 2008 ; IRD, 2009). Le millet occupe la première place des céréales produites et consommées dans le pays (FAOSTAT, 2018). Exemple, une dizaine de repas sont issues de la transformation des grains du millet chez 85% de la population (Soumana, 2001). Les grains de cette céréale sont consommés sous forme de boule, de bouillie, de couscous, de pâte ou sous forme des galettes, et sont utilisés pour la fabrication des boissons alcoolisées (Halilou, 2018).



Fig.1.4 : Pâte de millet perlé (Haut à gauche), Roulers en boule de millet perlé (Haut à droite), Bouillie à base du millet perlé (Bas à gauche), Galette du millet perlé (Bas à droite) (Halilou, 2018)

Dans des pays comme l'Inde, le Burkina Faso et le Nigeria, où l'alimentation de base est constituée de petites céréales, principalement le millet, l'incidence du cancer est faible par rapport aux pays qui se basent sur des céréales telles que le maïs et le blé (**Van Rensburg, 1981 ; Chen *et al.*, 1993 ; OMS et partenaires des Nations unies, 2015**). Certaines études médicales ont suggéré que les peptides, les protéines et les acides phénoliques présents dans les grains de millet pourraient être prometteurs dans la prévention et le traitement du cancer (**Shan *et al.*, 2014 ; Shan *et al.*, 2015 ; Srikanth & Chen, 2016**).

5. Utilisation du millet perlé

a- Au Brésil

Les substitutions de maïs par le millet dans l'alimentation d'animal présente des avantages tels que la teneur en protéines plus élevée, une incidence plus faible des mycotoxines et une teneur a lipides similaire (**Rodrigues *et al.*, 2001**).

Un programme de recherche est développé pour l'amélioration de la caractérisation agronomique des cultivars a fin de l'utiliser comme couverture du sol et comme les plantes fourragères ou pour l'ensilage (**Campelo, teixeira Neto *et al.*, 2017**).

Augmenter la productivité agricole et contrôler l'érosion des sols, tout en réduisant le compactage et améliore la disponibilité des nutriments dans le sol (**campelo *et al.*, 1998**).

b- En Afrique et l'Inde :

Le millet perlé est consommé localement et sert de culture vivrière de subsistance. On l'utilise aussi pour les pâturages, le fourrage vert ou l'ensilage.

L'état du Gujarat en Inde où il y a une forte demande saisonnière pour les résidus de récolte du millet perlé *Penicillines*, lesquels servent à l'alimentation des animaux laitiers.

En Afrique la production du mil est sujette à infestation de striga, mildou (maladie liée à la contamination de plantes par des parasites microscopique « oomycètes » champignon) de dégât causé par les oiseaux, la pression démographique a entraîné une diminution de la jachère et donc la fertilité des sols ce qui entraîne une baisse de rendement au cours des 15 derniers années (**campelo *et al.*, 1998**).

c- Transformation

La production de grains de millet est une activité agronomique à explorer économiquement : (**Alonso *et al.*, 2017**)

Expandre les options d'aliments rentables et nutritifs pour les agriculteurs et l'alimentation des animaux.

Le millet perlé a un grand potentiel pour être utilisé comme matière première pour la préparation alimentaire de produits industriels.

L'Embrapa (Société brésilienne de recherche agricole) a réalisé des études préliminaires sur la composition chimique du millet perlé (*Pennisetum glaucum*), et le développement de produits à base de cette céréale.

Futures études réalisées pour comprendre le potentiel des cultivars de millet perlé et des programmes d'amélioration de ces derniers à la production de céréales.

L'évaluation des aspects nutritionnels et antinutritionnels des grains

Les études sur les effets de différents procédés pour l'utilisation alimentaire, et l'évaluation sensorielle, la stabilité lipidique des grains et des farines.

6. Composition nutritionnelle et chimique du gain de millet perlé

Comparé aux autres céréales telles que le riz, le blé et le maïs, le millet perlé a une valeur nutritionnelle élevée (Gupta, 2009 ; Amadou *et al.*, 2013). Le millet est une source de nutriments et contient 60-70% d'hydrates de carbone alimentaires, 6-19% de protéines, 1,5-5% de graisses, 12-20% de fibres alimentaires et 2-4% de minéraux (tableau 2) (Hadimani *et al.* 1995).

Tableau2 : Composition chimique et nutritionnelle du millet perlé (mil) en comparaison avec autres céréales (Nambiar *et al.*, 2011b ; NIN (2003).

Constituants pour 100g	Mil	Blé	Riz	Sorgho	Maïs
Protéines (g)	11,6	11,8	11,6	10,4	4,7
Matières grasses (g)	5,0	1,5	0,5	1,9	0,9
Fibres (g)	1,2	1,2	0,2	1,6	1,9
Carbohydrates (g)	67,5	71,2	78,2	72,6	24,6
Minéraux (mg)	2,3	1,5	0,6	1,6	0,8
Calcium (mg)	42	41	10	25	9
Phosphore (mg)	296	306	160	222	121
Fer (mg)	8	5,3	0,7	4,1	1,1
Zinc (mg)	3,1	2,7	1,4	1,6	-
Sodium (mg)	10,9	17,1	-	7,3	51,7
Magnésium (mg)	137	138	90	171	40
Vitamine A (RE)	132	64	0	47	32

Thiamine (mg)	0,33	0,45	0,06	0,37	0,11
Riboflavine (mg)	0,25	0,17	0,06	0,13	0,17
Niacine (mg)	2,3	5,5	1,9	3,1	0,6
Acide folique (mg)	45,5	36,6	8	20	-
Vitamine C (mg)	0	0	0	0	6

a. Hydrate de carbone

Le millet perlé est plus riche en hydrates de carbone que le maïs. Le millet perlé a une haute teneur en fibres de 1,2/100g de grain (NIN, 2003). Les grains du mil, ont un faible indice de glycémie (IG=55), le mil conviendrait alors, à certains égards pour traiter des diabétiques (Mani *et al.*, 1993).

b. Protéines

Le mil a des teneurs de 8 à 60 % plus élevée en protéines brutes et 40% plus riche en acide aminé lysine et méthionine. La teneur en lysine du mil est de 21% et 36% plus élevée que respectivement pour le maïs et le sorgho (Amadou *et al.*, 2013). Le grain du mil est sans gluten et il est le seul grain qui conserve ses propriétés alcalines après la cuisson ce qui convient pour les personnes ayant une allergie au blé (Irén Léder, 2004).

c. Lipides

Les grains du mil sont 2 fois plus riche en lipides libres que ceux des céréales standard avec des teneurs variant de 3 à 7,4% contenant 2 à 12 mg/100 g d'acides gras libres, 75% d'acides gras non-saturés et de 24% d'acides gras saturés (Ramulu et Rao, 2003). La digestibilité des matières grasses était plus élevée chez le mil que chez le maïs (Adeola et Orban, 1994).

d. Vitamines

Les grains du mil sont plus pauvres en vitamines que ceux du maïs, exceptée la vitamine A 132 équivalents rétinol contre 64 (blé) ; 0 (riz) ; 47 (sorgho) et 32 (maïs). La teneur en vitamine B1 (thiamine) varie de 0,375 à 1,006 mg/100 g selon les variétés (Andrews *et al.*, 1993 ; Jayaraman, 2002). Dans les pays du tiers monde, les ressources en vitamine A sont très limitées et le mil peut aider à résoudre ce problème si l'on sélectionne des variétés plus riches en vitamine A (Jayaraman, 2002).

e. Minéraux

Le mil est plus riche que le maïs en phosphore, 3 fois plus en fer et 5 fois plus en calcium. Des traces de baryum, chrome, cobalt, cuivre, plomb, manganèse, molybdène, nickel, argent,

strontium, étain, titanium, vanadium, zinc et d'iode ont également été observées (**Rooney et McDonough, 1987**).

7. Importance du millet sur la santé

Le millet perlé attire beaucoup l'intention grâce à ses effets thérapeutiques (**Hanane, 2013**). La richesse des grains de millet perlé en calories fait d'ailleurs que sa consommation est spécialement recommandée aux enfants, aux convalescents, aux personnes âgées et aux femmes enceintes (**Bekoye, 2011**). La consommation du mil est également très indiquée pour les personnes souffrant d'anémie à cause de sa richesse en fer (**Amadou et al., 2013**).

a. Importance nutraceutique du millet

L'utilisation de grains de millet pour développer de nouveaux produits peut aider à prévenir le risque de diabète, en raison de leur faible taux de glycémie. (**Nani et al. 2012**) ont évalué l'effet de la consommation de millet perlé (*Pennisetum glaucum*) sur le métabolisme du glucose chez les rats diabétiques. Les auteurs ont conclu que la consommation de farine de millet perlé peut être utile pour corriger l'hyperglycémie causée par le diabète de type 2, et donc réduire l'intensité de la maladie. (**Hegde et al., 2005**).

II- Biscuit

1. Définition du biscuit

L'origine du mot biscuit est "Bis-Cuit", qui signifie subir une double cuisson. A ses débuts, le biscuit étant en effet une sorte de galette nécessitant une première cuisson, puis un passage dans des compartiments au-dessus du four ou dans une étuve pour terminer l'évaporation de son humidité (Kiger et Kiger, 1967 ; Menard *et al.*, 1992). En fait, la texture des biscuits est attribuée en premier lieu à la gélatinisation de l'amidon et le sucre refroidi plutôt qu'à la structure protéine/amidon (Ardent *et al.*, 2009).

Néanmoins, les biscuits sans-gluten commercialement disponibles, sont à la base des amidons pures (natives) et pour cela ils sont d'une qualité organoleptique inférieure (Gallagher, 2004a).

2. Classification des biscuits

Il n'existe pas de classification officielle des biscuits en raison de la très grande variété des productions et de la multiplicité des composants pouvant entrer dans les diverses fabrications. Cependant, une classification peut être envisagée en se basant sur la consistance de la pâte avant cuisson (Kiger et Kiger, 1967 ; Mohtedji-Lambalais, 1989 ; Feillet, 2000) :

2.1. Les pâtes dures et semi dures

Les pâtes dures ou semi dures donnant naissance au type de biscuits secs sucrés et salés : casse-croûte, sablés, petit beurre, etc. C'est une fabrication sans œufs qui représente environ 60 % de la consommation de biscuits dans le monde (Maache-Rezzoug *et al.*, 1998b ; Manohar et RAO, 2002).

2.2. Les pâtes molles

Les pâtes molles s'adressent à la pâtisserie industrielle (à ne pas confondre avec la pâtisserie fraîche). Il s'agit à la fois de biscuits secs, tels que boudoirs, langues de chat et d'articles moelleux tels que génoises, madeleines, cakes et macarons. La particularité de ces biscuits est leur richesse en œufs et en matières grasses. Ils représentent environ 26.5 % de la consommation (Maache-Rezzoug *et al.*, 1998b ; Manohar et RAO, 2002).

2.3. Les pâtes à gaufrettes

Les pâtes qui ont une forte teneur en lait ou en eau et contiennent peu de matières grasses. Ce sont les pâtes à gaufrettes qui représente 10.5 % de la consommation dans le monde (Maache-Rezzoug *et al.*, 1998b ; Manohar et RAO, 2002).

3. Qualité du biscuit

Plusieurs facteurs peuvent influencer la qualité des biscuits tels que ; la qualité et le niveau des ingrédients utilisés, les conditions de fabrication telles que le pétrissage, le repos et le moulage de la pâte, et en fin la cuisson et le refroidissement des biscuits (**Maache-Rezzoug et al., 1998b ; Manohar et RAO, 2002**).

3.1. Les principaux ingrédients et leurs effets

Les trois ingrédients de base pour la fabrication des biscuits sont : la farine, la matière grasse et le sucre (**Gallagher, 2008 ; Ardent et al, 2009**). Les différentes combinaisons de ses ingrédients donnent naissance à un large éventail de produits avec de formes et de textures diverses (**Maache-Rezzoug et al., 1998a ; Ardent et al., 2009**).

3.2. Farine

Généralement, les farines utilisées pour la fabrication des biscuits sont obtenues après la mouture des grains de blé tendre, avec une faible teneur en amidon endommagé (**Gallagher, 2008**).

3.2.1. Types de farines

La farine de blé unique parmi toutes les céréales. Quand elle est mélangée avec de l'eau, ces composants protéiques forment un réseau élastique capable de piéger les gaz et de développer une structure ferme et mietteuse pendant la cuisson (**Abdel-Aal, 2009**).

Quand on se réfère à la force boulangère représentée « W », au rapport de configuration « P/L » (équilibre entre la ténacité P et l'extensibilité L) et au gonflement « G », les farines peuvent être classées en (**Fourar, 2005**) :

- **Les farines faibles** : Peuvent donner de bons résultats en biscuiterie sèche.
- **Les farines de force** : Utilisées pour la biscotterie, la pâtisserie et la viennoiserie et peuvent également servir en coupage avec les farines faibles.
- **Les farines panifiables** : De force boulangère moyenne utilisées en boulangerie.

Tableau 3 : Classification des farines en fonction de leur force boulangère (**Fourar, 2005**)

Type de Farine	Force boulangère « W »	Rapport de configuration « P/L »	Gonflement « G »
Farine faible impanifiable	$W < 70$	-	-
Farine biscuiterie	$80 < W < 100$	$0,3 < P/L < 0,4$	-
Farine panifiable	$130 < W < 180$	$0,4 < P/L < 0,6$	$G \geq 18$
Farine de biscotterie	$180 < W < 200$	$0.4 < P/L < 0.6$	$G \approx 20$
Farine améliorante	$200 < W < 250$	-	$G > 23$
Farine de force	$W \geq 250$	-	-

Mais si on se réfère au taux de cendres, c'est-à-dire le poids de matière minérale contenue dans 100 grammes de matière sèche, la réglementation les classes en :

- **Farine type 45** : avec une teneur en cendre au-dessous des 0.50%.
- **Farine type 55** : avec une teneur en cendre de 0.50% à 0.60%.
- **Farine type 65** : avec une teneur en cendre de 0.62% à 0.75%.
- **Farine type 80** : avec une teneur en cendre de 0.75% à 0.90%.
- **Farine type 110** : avec une teneur en cendre de 1 % à 1.20%.
- **Farine type 150** : avec une teneur en cendre au-dessus de 1.40%.

Les plus connus sont la farine type 45 utilisée pour la pâtisserie, la farine type 55 et 65 utilisées pour le pain courant et la farine type 150 utilisée pour le pain complet (**Cabrol, 2006**).

3.2.2. Caractéristiques de la farine biscuitière

Les caractéristiques d'une farine dépendent de plusieurs facteurs :

- L'automatisation de fabrication.
- La qualité des variétés de blé.
- La teneur en gluten.
- L'état de l'amidon.
- La composition chimique de la farine.
- La saison et le milieu de croissance.

Par conséquent pour obtenir une pâte aux propriétés constantes et un biscuit de bonne qualité et de conservation parfaite, on doit exiger de meunier l'une des caractéristiques les plus

précieuse de la farine : la régularité, évaluée lors de la production ou des ajustements de formules qui sont inévitables afin de satisfaire les normes de la qualité des produits fini (**Boudreau et Ménard, 1992**).

3.3.Matière grasse

En biscuiterie, les matières grasses utilisées sont généralement d'origine végétale (**Mohtedji-Lambalais, 1989 ; Feillet, 2000**). Celles-ci permettent d'accomplir un nombre considérable de fonctions telles que la plasticité, la contribution structurale, l'incorporation et stabilisation d'air, le transfert de chaleur et la qualités organoleptiques et nutritionnelles (**Kiger et Kiger, 1967 ; Stauffer, 1998**).

Les facteurs déterminant la capacité d'une matière grasse, particulières à accomplir une ou plusieurs de ces fonctions sont : la plasticité d'une matière grasse solide, le rapport entre la phase solide et liquide (Indice de Graisse Solide "SFI" ou Contenu de Graisse Solide "SFC") et la stabilité à l'oxydation d'une graisse ou huile ou la rancidité (**Stauffer, 1998**).

3.3.1. Plasticité

En biscuiterie, la matière grasse (MG) joue le rôle d'agent plastifiant et agit en tant que lubrifiant. Ainsi, dans le cas des pâtes fermes à faible taux d'hydratation (biscuits secs) elle accroît la plasticité de la pâte, ce qui se traduit par une diminution de sa consistance sans qu'il soit nécessaire d'ajouter de l'eau supplémentaire, qu'il faudra par la suite évaporer (**Kiger et Kiger, 1967 ; Menard et al., 1992**).

3.3.2. Contribution structurale

Un second rôle du corps gras dans un biscuit sec est qu'il coupe le corps de la pâte et rend discontinu le réseau du gluten, donnant une pâte moins élastique (**Kiger et Kiger, 1967**).

3.3.3. Incorporation et stabilité de l'air

La matière grasse joue un rôle important dans l'incorporation et la stabilisation de l'air dans les pâtes biscuitières. **Brooker ; Eliasson et Silverio ; Stauffer et Kocer** ont montré qu'il existe une relation directe entre le rapport solide/liquide (Indice de Graisse Solide SFI) d'une matière grasse solide et la qualité des produits cuits.

Ainsi, au cours du processus à deux étapes de fabrication de biscuits, la matière grasse et le sucre sont d'abord mélangés ou écrémés pour incorporer de l'air. Ces bulles d'air sont les noyaux de propagation de gaz durant la cuisson au four, ce qui crée la structure intérieure du produit fini. En pratique, l'air se trouve dans l'huile liquide ; ainsi, si l'indice de graisse solide (SFI) est très élevé, il n'y a pas de volume d'huile suffisant pour permettre une aération parfaite. D'un autre côté, si le SFI est trop bas, l'air n'est pas bloqué, et il peut échapper avant que le

pétrissage de la pâte soit terminé. En effet, il y a une zone des valeurs de SFI pour donner cette aération optimale de la matière grasse fouettée, et qui correspond à la zone plastique (**Brooker, 1993 ; Eliasson et Silverio, 1997 ; Stauffer, 1998 ; Kocer, 2007**)

3.3.4. Transfert de chaleur

De toutes les matières premières mises en œuvre, la matière grasse est celle qui a le coefficient de conductibilité thermique le plus élevé. En effet, lors de la cuisson des biscuits les matières grasses ont la propriété d'atteindre rapidement et sans altération des températures relativement élevées (230 à 280°C) par rapport à la température d'ébullition de l'eau. Il est donc facile de penser que la cuisson d'un article sera d'autant plus rapide et plus régulière que chaque particule solide de la pâte sera en contact intime avec la matière grasse (**Menard et al., 1992**).

3.3.5. Qualités organoleptiques et nutritionnelles

Sur le plan organoleptique, le corps gras communique au produit, lorsque celui-ci ne contient aucun parfum surajouté, sa saveur et son arôme. Ce mélange fait que les biscuits soient de grande valeur alimentaire et énergétique et nutritionnellement bien équilibrés (**Kiger et Kiger, 1967**).

3.4. Le sucre

Le sucre est le troisième élément important dans la fabrication des biscuits. Il représente de 15 à 25 % dans la formule d'un biscuit sec, et plus de 25 % en pâtisserie industrielle. Le saccharose, ajouté à l'état cristallin, est le plus employé. En plus de son pouvoir sucrant, il contribue à la formation des arômes, de la texture, de la coloration et à la conservation des biscuits. Il a également une fonction plastique (**Feillet, 2000**). En biscuiterie, le sucre a une influence remarquable sur le comportement de la pâte en provoquant son ramollissement. Cela est dû en partie à la compétition entre le sucre supplémentaire et la farine sur la disponibilité de l'eau dans le système (**Maache-Rezzoug et al., 1998a**).

Le sucre joue un rôle important dans le développement de la couleur du biscuit pendant la cuisson. Sa caramélisation à une température supérieure à 149 C donne la couleur recherchée de la face extérieure du biscuit et permet d'atteindre différentes nuances (**Menard et al., 1992**).

3.5. L'eau

L'eau est un ingrédient essentiel dans la formation de la pâte. Elle a un rôle complexe, en déterminant l'état de conformation des biopolymères. L'eau est nécessaire pour la solubilisation des ingrédients, pour l'hydratation des protéines et des hydrates de carbone et pour le développement d'un réseau de gluten (**Maache-Rezzoug et al., 1998a**).

En fonction de la teneur en eau, les pâtes biscuitière et de pâtisserie peuvent être classées en 3 consistances (**Mathlouthi et Roge, 2003**) :

- Pâtes dures laminées, découpées et moulées, qui ont une teneur en eau faible (16-20%) et l'amidon est peu gélifié après cuisson.
- Pâtes molles aérées ou non, qui ont une teneur en eau de 24 à 38%. L'amidon est presque totalement gélifié après cuisson.
- Pâtes liquides, qui ont une teneur en eau qui peut atteindre jusqu'à 65% et l'amidon est complètement gélifié après cuisson.

3.6.Le sel

Presque toutes les recettes de biscuits utilisent le sel mais des faibles doses. Maximum 1% pour les biscuits sucrés et 1,2% pour les salés.

Cet ingrédient est ajouté dès le début des opérations (mouillage) car ceci permet la dissolution des grains de sel pendant les étapes pétrissage.

Le sel fait ressortir plus nettement les parfums et fait mieux apparaître le goût du gras introduit aux mélanges ; aussi il donne la saveur et améliore la coloration des produits cuits (**Kiger et Kiger, 1968**).

3.7.La vanille

La vanille est une poudre semi fine assez difficile à broyer. Les principaux rôles de la vanille sont de donner une odeur agréable et un bon goût au produit fini (**Anonyme, 2003**).

3.8.La lécithine (Kiger et Kiger, 1967)

La lécithine est un phospholipide rencontré dans de nombreux tissus animaux et végétaux notamment dans le jaune d'œuf et le soja. Il est considéré comme l'émulsifiant le plus utilisé en technologie alimentaire.

L'utilisation des lécithines repose sur les trois propriétés fondamentales suivantes :

- Elles réduisent la tension superficielle et facilite donc l'émulsion.
- Elles réduisent la viscosité des corps auxquels on les ajoute, elles facilitent l'incorporation de sucre au beurre de cacao et facilitent ainsi la cristallisation de la graisse en petits cristaux.
- La lécithine s'emploie à des doses très faibles et son pourcentage dépend de la quantité de matière grasse de la formule. Pour la lécithine pure, la dose d'emploi est de 1 à 2% de la matière grasse.

3.9. Technologie de fabrication

3.9.1. Le pétrissage

Le pétrissage constitue la première étape dans le diagramme de fabrication des pâtes. Il se compose de deux phases effectuées à l'aide d'un pétrin :

- Le frasage : consiste à mélanger les ingrédients à vitesse lente.
- Le pétrissage : cette deuxième phase se déroule à vitesse rapide.

Ces deux phases visent à développer le réseau glutineux, à structurer la pâte et à emprisonner l'air dans la pâte (**Autio et Laurikainen 1997**). Les particules de gluten gonflent pour devenir collantes et s'attachent les unes aux autres pour former le réseau de gluten (**Bloksma 1990**).

Lors du pétrissage différents phénomènes physico-chimiques ont lieu, ces phénomènes sont les suivants (**Bloksma 1990**) :

- La dispersion uniforme des ingrédients.
- La dissolution et d'hydratation des ingrédients, en particulier les protéines et les granules d'amidon endommagés de la farine.
- L'incorporation de bulles d'air dans la pâte qui sert de nucléo gazeux pour le dioxyde de carbone généré au cours de la fermentation par les levures.

3.9.2. La cuisson

La cuisson a pour but essentiel de gélatiniser l'amidon et de coaguler les protéines afin d'accroître leur digestibilité. Elle permet en plus d'assurer une durée de conservation convenable au produit par destruction des enzymes et des microorganismes (**Potus et Drapron 1990**).

4. Critères de qualité d'un biscuit

Dans les procédés industriels, dont font partie les industries de la biscuiterie, la productibilité des lignes dépend du respect des critères de qualité des produits fabriqués. Pour un biscuit, il s'agit de satisfaire à des contraintes dimensionnelles, de poids, de couleur, de goût et de texture. Cette dernière entre pour une part importante dans l'appréciation qualitative d'un biscuit sec par le consommateur (**Tharrault, 1997**).

Chapitre III : Fermentation

1. Définition

La fermentation est un processus souhaitable de modification biochimique de la matrice alimentaire primaire par des micro-organismes et leurs enzymes (**Kahajdova & Karovicova, 2007**). La fermentation est utilisée pour améliorer la bioaccessibilité et la biodisponibilité des nutriments de différentes cultures, y compris le maïs (**Hotz & Gibson, 2007**) et améliore les propriétés organoleptiques tout en prolongeant la durée de conservation (**Chaves-Lopez et al., 2014 ; Li, et al., 2007 ; Steinkraus, 1994**).

La fermentation rend les aliments sûrs non seulement en inhibant la croissance des bactéries pathogènes grâce à l'activité antimicrobienne de l'acide lactique (**Li et al., 2007 ; Sahlin, 1999**), mais aussi en détoxifiant l'aflatoxine (**Chaves-Lopez et al., 2014**). Avec ces avantages souhaitables, la fermentation a été considérée comme un moyen efficace de réduire le risque de carence minérale chez les populations, en particulier dans les pays en développement où les céréales et/ou les légumineuses non raffinées sont fortement consommées (**Kumar, Sinha, Makkar, & Becker, 2010**). Malheureusement, elle est également associée à la prolifération de micro-organismes tels que les levures et les moisissures qui peuvent poser des problèmes de sécurité alimentaire (**Omemu, 2011**).

2. Effet de la fermentation sur la qualité nutritionnelle et nutraceutique

2.1. Glucides

Le principal glucide des céréales est l'amidon qui fournit le plus de calories dans les pays en développement, La fermentation active des enzymes hydrolysant l'amidon comme l' α -amylase et la maltase qui dégradent l'amidon en maltodextrines et en sucres simples (**Osman, 2011**), respectivement. Des études ont montré une augmentation du glucose pendant les premiers stades de la fermentation en raison de l'effet hydrolysant de l'amidon de la maltase et de l' α -amylase activées (**El-Hag, El-Tinay, & Yousif, 2002 ; Osman, 2011**). Le glucose libéré pendant la fermentation est un substrat préféré des microorganismes qui fermentent l'aliment et pourrait expliquer en partie la diminution des glucides totaux après 24 h de fermentation (**Osman, 2011**).

Pendant la fermentation du millet perlé, les microorganismes ont préféré le glucose au fructose comme source d'énergie puisque le niveau de fructose est resté constant. En outre, la fermentation a réduit la teneur en amidon des variétés de millet, ce qui a entraîné une augmentation de la production de dioxyde de carbone et d'éthanol tout au long de la période de fermentation. De plus, le pH a été considérablement réduit (**El-Hag et al., 2002**).

2.2. Protéine

L'effet de la fermentation sur les protéines a donné des résultats contradictoires, probablement en raison des différents plans expérimentaux, de la durée des études et des variations du profil initial des protéines ou des acides aminés des aliments. Plusieurs études ont signalé une augmentation (**Chaven & Kadam, 1989 ; Doudu, Taylor, Belton, & Hamaker, 2003 ; El-Hag *et al.*, 2002 ; Pranoto, Anggrahini, & Efendi, 2013**), tandis que d'autres ont observé une diminution (**Osman, 2011 ; Pranoto *et al.*, 2013**) des protéines et/ou de certains acides aminés lors de la fermentation. Il semble que la plupart de ces effets ne reflètent pas des changements réels mais des changements relatifs dus à la perte de matière sèche résultant de l'hydrolyse et du métabolisme des glucides et des graisses par les micro-organismes comme source d'énergie. La combinaison de la fermentation avec d'autres méthodes de traitement présente plus d'avantage. Par exemple la fermentation suivie de la cuisson a permis d'augmenter la digestibilité des protéines de céréales, les amenant presque au même niveau que la viande (**khatarpaul et chauhan 1990, osman 2004, yossif et el Tinayi 2001,2003**). L'amélioration de ces protéines par la fermentation est due à la décomposition partielle des protéines de stockage complexes en forme plus soluble (**chavan, kadam 1998**). **Youssif et Tinayi (2001)** ont signalé que le sorgho après fermentation Donne une augmentation titrable des protéines de la digestibilité des protéines et des solides totaux , aussi la même augmentation a été enregistrée chez le millet perlé après 24h de fermentation avec la diminution des acides aminés spécifiques tels que la lysine la glycine et l'arginine (**Osaman, 2011**) .

2.3. Minéraux

Les céréales sont les principales sources de minéraux dans les pays en développement où elles sont largement consommées. Ces minéraux ont une biodisponibilité très faible car ils sont complexés avec des matières non digestibles telles que les polysaccharides de la paroi cellulaire (**Torre, Rodriquez, & Saura-Calixto, 1991**) ainsi que le phytate. Notamment, le potassium fait partie intégrante des molécules de phytate où il est lié de manière covalente, ce qui le rend inaccessible aux enzymes digestives. Les matrices complexes dans lesquelles ces minéraux sont piégés et liés sont largement responsables de leur faible biodisponibilité. La fermentation est l'une des méthodes de traitement utilisées pour libérer ces minéraux complexes et les rendre facilement biodisponibles (**Lopez, Gordon et Fields, 1983 ; Pranoto *et al.*, 2013**) Figure (1).

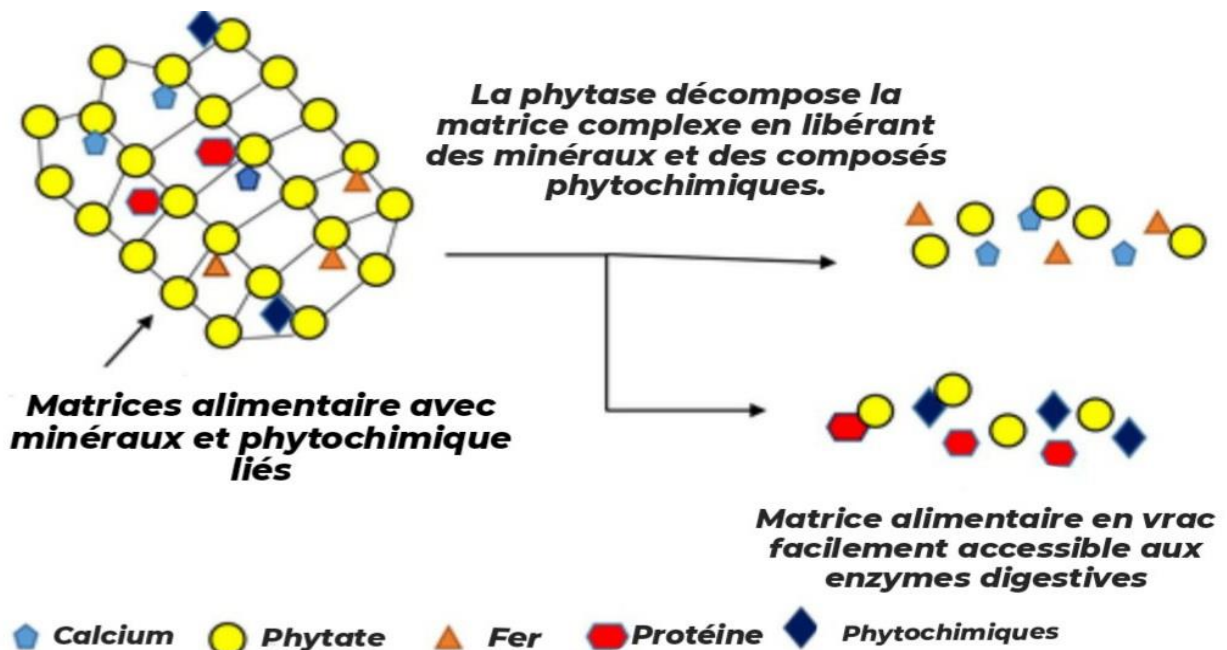


Fig.1.5 : Effet de la fermentation sur les minéraux

2.4. Les vitamines

La fermentation associée une réduction de la provitamine A et des caroténoïdes antioxydants (Ortiz, Nkbata, Buechler, Rocheford, & Ferruzzi, 2017), ainsi qu'à la perte d'entrée des vitamines et de minéraux (Hotz & Gibson, 2007).

2.5. L'activité antioxydante

Le traitement de fermentation influence des céréales par :

- L'augmentation des extraits flavonoïdes et des composés phénoliques
- Piégeage accru des radicaux de DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazul).

2.6. Digestibilité

L'efficacité de la fermentation dépend de l'activation de la phytase, (l'enzyme qui dégrade les phytates). Les graines à faible teneur en phytate comme le maïs, le riz et le millet nécessitent soit un temps de fermentation plus long, soit l'ajout de grains à forte teneur en phytase pour réduire significativement les phytates (Egli, Davidson, Juillerat, Barchay et Hurrell 2003).

Le millet perlé prend plus que 24h pour la réduction des inhibiteurs de trypsine et pour l'augmentation de la digestibilité des protéines (El hag *et al.*, 2002). Pour le sorgho nécessite que 24h de fermentation pour la réduction de l'acide phytique et des inhibiteurs de trypsine et des tanines, plus l'augmentation de la digestibilité *in vitro* des protéines (Osman 2004).

3. Fermentation et indice glycémique

La fermentation a un double effet sur l'indice glycémique (IG). Certaines études ont rapporté une augmentation (Ihediohanma, 2011 ; Ihekoronye & Ngoody, 1985) tandis que d'autres ont rapporté une diminution (Mlotha, Mwangwela, Kasapila, Siyame, & Masamba, 2016 ; Scazzina, Del Rio, Pellegrini, & Brighenti, 2008) de l'IG après la consommation d'aliments fermentés. L'IG faible des aliments fermentés a été attribué aux acides organiques à chaîne courte produits pendant la fermentation, tels que l'acide lactique, l'acide acétique et l'acide propionique (Ostman, Granfeldt, Persson et Bjorck, 2005). La consommation d'aliments fermentés à l'acide lactique réduit le pic de glycémie postprandial (Ostman, Nilsson, Liljeberg Elmstah, Molin, & Bjorck, 2002 ; Scazzina).

Il existe encore des lacunes dans les connaissances scientifiques sur l'augmentation de l'IG due aux produits à base de céréales fermentées.

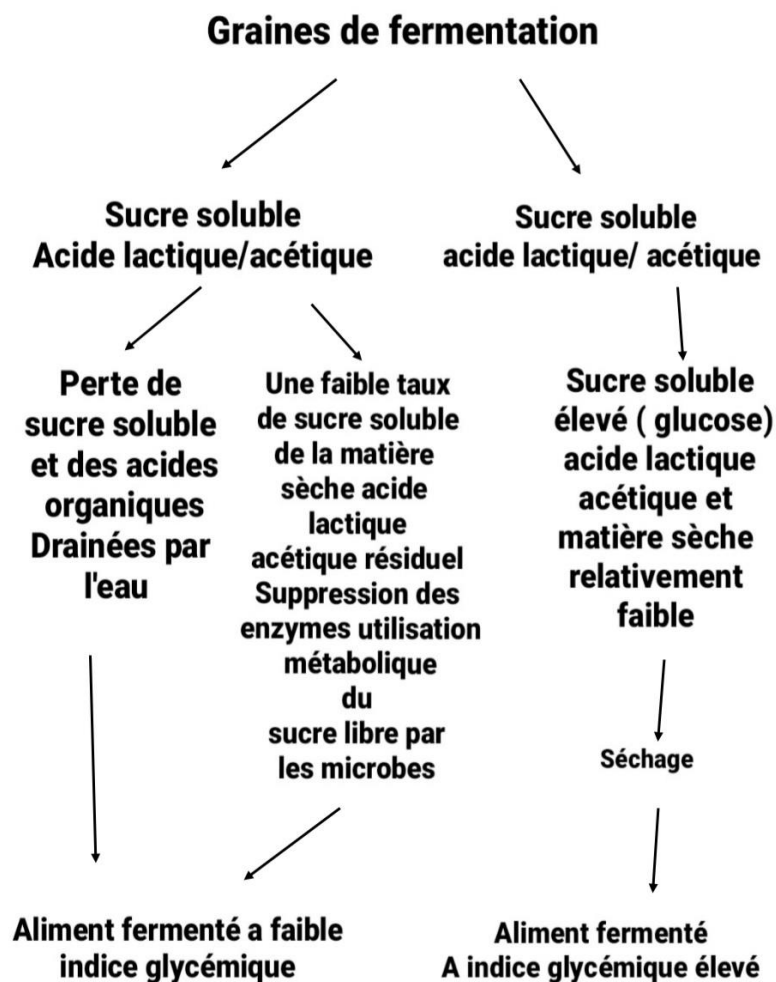


Fig.1.6 : Illustration montre comment la fermentation donne lieu à différents IG d'aliments fermentés.

Matériel et méthodes

1. Lieu de stage

Notre travail a porté sur 3 volets :

- Formation de biscuits à base de millet perlé fermenté et non fermenté en comparaison avec des biscuits préparés à base de farine blanche et complète de blé tendre. Cette partie a été réalisée au niveau de laboratoire d'analyse de la Nouvelle Biscuit de Cherchell, Cherchell (NBC) (début de stage : 22 avril 2021, fin de stage : 6 mai 2021) (**Annexe I**).
- Les analyses physico-chimiques et nutritionnelles ont été réalisés au niveau de Laboratoire de Contrôle de Qualité de Kolea (L.C.Q) (**Annexe II**).
- Les analyses des propriétés nutraceutiques ont été réalisé au niveau de laboratoire de Projets de Fin d'Etude, Faculté Science de la Nature et de la Vie, université Saad DAHLAB, Blida 1 (P.F.E) (**Annexe III**).

2. Matériel

2.1.Grains de millet perlé

Les grains de millet perlé ont été acheté au niveau d'un centre commerciale à Tipaza (El Manar), 1Kg pour 500DA. Il provient d'Oued Souf et sa production date de la fin de 2020.

2Kg ont été prélevés à partir d'un bac contenant 15 Kg de grains



Fig.2.1 : Grains de millet perlé

2.2.Farine blanche (Fb)

La farine blanche (T45) de marque « Mama » (Société des pâtes industrielle), procurée dans un magasin d'alimentation générale dans un emballage en papier de 1Kg pour 80DA.

2.3. Farine complète (Fc)

La farine complète (T150) utilisée de marque Mama (Société des pâtes industrielle) lot °13, acheter dans un magasin d'alimentation générale dans un emballage en papier de 1Kg pour 90DA.



« a »

« b »

Fig.2.2 : Farine blanche de blé « a » (T45) et farine complète de blé « b » (T150)

2.4. Matériel de laboratoire

Les verriers, petits matériel, appareillage sont détaillés dans **annexe IV**.

3. Méthodes

3.1. Fermentation des grains de millet perlé

Pour la fermentation des grains de millet perlé on a utilisé la fermentation naturelle par la flore endogène qui consiste à mettre les graines de millet perlé dans l'eau avec un rapport de 1:4 (1kg de graines de millet perlé dans 4l d'eau de robinet potable) et en laissant fermenter spontanément à 28°C pendant 3 jours (72h) (**Onweluzo & Nwabugwu 2009**).



Fig.2.3 : Fermentation par la flore endogène des grains de millet perlé

3.2.Séchage des grains de millet perlé fermenté

Les grains de millet perlé fermentés ont été égouttés ensuite mis sur du papier absorbant afin d'éliminer le maximum d'eau puis ils ont été mis dans l'étuve dans un plateau en aluminium et laisser sécher à 55°C pendant 24h puis à 45°C pendant 24h (Adebiyi *et al*, 2017).



Fig.2.4 : Séchage de millet perlé fermenté dans l'étuve.

3.3.Préparation des farines

Les graines de millet perlé fermenté (Mf) ou non fermenté (Mnf) ont été broyées à l'aide d'un broyeur électrique et tamiser à travers un tamis à 0,5 mm

3.4.Préparation des biscuits

3.4.1. La pâte biscuiterie

La pâte est préparée en 2 étapes (crémage puis pétrissage) :

Le crémage consiste à mélanger la matière grasse, le sucre, le glucose, le bicarbonate de soude, le bicarbonate d'ammonium, le pyrophosphate de sodium, la lécithine, le sel, le lactose et la vanille selon les quantités indiquées dans le tableau (4) grâce à un pétrin ordinaire pendant 10 minute.

Le pétrissage est utilisé avec l'ajout de la farine et de l'eau (tableau 4) dans le pétrin et en mélangeant le tout jusqu'à en avoir une pâte dure homogène.

3.4.2. Façonnage des biscuits

La pâte a été étalée à une épaisseur de 0,6 mm et mise en forme avec un moule (emporte-pièce) rond et denté en plastique de 3cm.

3.4.3. La cuisson

La cuisson a été réalisée dans un four électrique ventilé. Après la mise en forme de la pâte, les pièces ont été alignées sur un plateau en aluminium puis laisser cuire à une température de 200°C pendant environ 20 min et 17min pour les biscuits à base de millet fermenté et non fermenté.

Tableau 4 : Quantité des ingrédients utiliser pour la fabrication du biscuit

Composants	Quantité (g)	Percentage (%)
Farine	500	57,42
Sucre	91	9,9
Matière grasse	93	10,12
Glucose	10	1,1
Bicarbonate de soude	1,5	0,16
Bicarbonate d'ammonium	4,5	0,5
Pyrophosphate de sodium	2	0,21
Lécithine	1,7	0,3
Sel	3	0,32
Lactose	1	0,1
Vanille	1	0,1
Eau	100-110 ml	10,88-11,97
Total	918,7	100%

3.5.Caractéristiques physiques des biscuits

3.5.1. Humidité (H%)

Pour connaître l'humidité d'un biscuit avant cuisson on prend 2g de notre pate de biscuit et on la met dans le biscuit humidimètre. Apres la fin de chauffage on aura notre H% affiché sur l'écran.

Pour le biscuit après cuisson c'est la même méthode en broyant 2g de biscuit.

3.5.2. Ratio spread

Pour calculer le ratio spread, six biscuits ont été posés bord à bord pour les mesuré et avoir le diamètre puis tourné et mesuré à nouveau et la moyenne a été calculé. La même méthode à été utilisé pour avoir l'épaisseur où les six biscuits ont été empilés une sur l'autre.

La formule utilisée pour avoir le ratio spread est la suivante :

$$\text{Ratio spread} = \text{Diamètre}/\text{épaisseur}$$

L'épaisseur et le diamètre ont été déterminer grâce à un pied à coulisse à vernier et le poids a été déterminer avec une balance de précision électrique (Arun, 2015).

3.6. Caractéristiques chimiques des biscuits

3.6.1. Paramètres nutritionnels

a. Protéine

En utilisant le protocole **AOAC,992,23/1990** le taux de protéine est déterminé selon la méthode de Kjeldahl qui est une méthode de référence ; consiste à effectuer une minéralisation complète des molécules organiques, transformant l'azote présent en ammoniacque (**Hervé. 1986**).

- **1^{ère} étape : minéralisation**

La molécule organique est détruite par oxydation lors d'une ébullition avec de l'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré, en présence de catalyseur : le carbone s'élimine sous forme de dioxyde de carbone (CO_2), l'hydrogène sous forme d'eau et l'azote reste en solution sous forme d'ion ammonium (NH_4^+).

Le pH acide permet au sel d'ammonium d'apparaître sous sa forme acide de l'ammonium NH_4^+ . La dégradation de la matière organique azotée se fait à l'aide d'un catalyseur et de l'acide sulfurique à haute température ($450^\circ C$) pendant 2h.

- **2^{ème} étape : distillation**

La deuxième étape est la distillation à froid de l'ammonium par l'ajout d'un excès de soude : le but est de transformer l'ammonium sous sa forme volatile, l'ammoniac.

La soude est ajoutée en excès afin de changer le pH acide en un pH basique, ce qui a pour effet d'obtenir de l'ammoniac. L'ammoniac NH_3 est entraîné par la vapeur d'eau pendant la distillation. Les vapeurs d'ammoniac sont ensuite condensées au contact d'un réfrigérant. L'eau piège ainsi l'ammoniac sous forme d'hydroxyde d'ammonium.

- **3^{ème} étape : le titrage proprement-dit**

La troisième étape est le titrage colorimétrique direct de l'ammoniac complexé avec de l'acide borique par une solution titrante d'acide sulfurique.

Les vapeurs d'hydroxyde d'ammonium sont recueillies dans une solution contenant un indicateur coloré et de l'acide borique. L'acide borique est un acide faible qui se complexe avec l'hydroxyde d'ammonium (**Krame et al., 1973**).

La détermination des taux des protéines brutes est basée sur la multiplication de l'azote total (N) (Kjeldahl N) par un facteur de conversion de 6,25.

b. Lipide

Selon la méthode de référence d'AFNOR NF V 04-215 les lipides totaux sont déterminés en 2 étapes :

- L'extraction de la matière grasse par de l'hexane réalisée dans un appareil d'extraction de type SOXHLET pendant 5h.
- L'élimination de l'hexane par séchage de l'extrait lipidique dans une étuve à 50°C.

- **Expression de résultats**

La teneur en lipides en g pour 100g de produit sec est calculée par la formule suivante :

$$\text{Taux de lipides} = m \cdot (100/pe) \cdot [100/(100-H)]$$

Avec

m : Masse en g du résidu lipidique ;

pe : Masse en g de la prise d'essai ;

H : Teneur en eau de l'échantillon en % de la masse humide.

c. Glucide

Le dosage des sucres réducteurs est effectué après hydrolyse par la méthode de Bertrand. Le principe de cette méthode repose sur la réduction de la liqueur de Fehling, mélange d'une solution de sulfate de cuivre et de sel de Seignette (tartrate double de potassium et de sodium) en présence de soude, par les sucres présents dans le biscuit. Son principe repose sur la réduction de l'oxyde cuivrique CuO en petits grains rouges-brique d'oxyde cuivreux CU₂O (**Acourene et Tama, 2001**).

d. Cendres

Le taux des cendres est déterminé selon la norme **NA/732/1991** avec la méthode d'incinération au four à moufle à 1100°C. L'incinération du produit dans une atmosphère oxydante jusqu'à combustion complète de la matière organique. La teneur en cendre est déterminée par la pesée du résidu.

- **Expression des résultats**

Le taux de cendre exprimé en pourcentage en masse est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Teneur en cendre (\%)} = m1 \cdot (100/m0) \cdot (100/[100-h])$$

Avec :

m0 : La masse en gramme de la prise d'essai ;

m1 : La masse en gramme du résidu ;

h : La teneur en eau, exprimé en pourcentage, en masse de l'échantillon.

e. Valeur énergétique

Le calcul de la valeur énergétique est réalisé grâce à la multiplication de la valeur des glucides en X9 et la valeur des lipides et protéines en X4.

Loi

Valeur énergétique (Kcal) = Glucide (g) * 9 + Lipide (g) * 4 + Protéine (g) * 4

3.6.2. Paramètres nutraceutiques

3.6.2.1. Dosage des polyphénols et des flavonoïdes totaux

- Extraction

L'extraction par macération a été réalisée sur 1g de poudre de biscuit avec du méthanol à 80% à raison de (1:5) et avec agitation pendant une heure. L'opération est répétée une seconde fois et Les surnageant obtenus sont rassemblés.

a. Dosage de polyphénols totaux

Pour le dosage des polyphénols totaux nous avons utilisées la méthode de Folin-Ciocalteu.

Principe : La méthode de Follin Ciocalteu (**Li et al., 2007**) est utilisée pour doser les polyphénols totaux, l'extraction est faite avec du méthanol afin de récupérer le surnageant qui est ensuite traité avec le Follin-Ciocalteu et le carbonate de sodium. La lecture est faite à une longueur d'onde de 765nm, contre un blanc ne contenant pas de polyphénols appelés "standard" la concentration est déterminée par extrapolation sur courbe d'étalonnage réalisée au paravent.

Standard utilisé pour la droite d'étalonnage est l'acide gallique [**acide 3, 4,5-trihydroxy-benzoïque**].

Cette technique est utilisée pour doser la concentration des composés Phénoliques totaux, par spectrophotométrie.

Mode opératoire de dosage des polyphénols

D'abord on prend 100µl d'extrait avec lequel on Ajoute 500µl du réactif de Folin-Ciocalteu 10 fois dilué et on Agite et on le laisse incubé pendant 2 minutes. Ensuite on ajoute 2ml de carbonate de sodium à 20%, enfin on le laisse 30 minutes à l'obscurité et on mesure la densité optique à 765nm.

Lecture

On trace la courbe d'étalonnage $D_o = f(C)$, et par extrapolation on déduit la concentration des composés phénoliques à partir de la densité optique et on exprime le taux de polyphénols en équivalence g d'acide gallique/g de poudre.

b. Dosage des flavonoïdes

L'estimation de la teneur en flavonoïdes totaux contenus dans les extraits de *M. sylvestris* est réalisée par la méthode de **Bahorun *et al.* (1996)**.

Principe

Les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyle (OH) libre, en position 5 qui est susceptible de donner avec le groupement CO un complexe coloré avec le chlorure d'aluminium. Les flavonoïdes forment des complexes jaunâtres par chélation des métaux (fer et aluminium). Ceci traduit le fait que le métal (Al) perd deux électrons pour s'unir à deux atomes d'oxygène de la molécule phénolique agissant comme donneur d'électrons (**Ribéreau Gayon *et al.*, 1972**).

Mode opératoire

Mettre 1 ml d'extrait dans un tube à essai ; ajouter 1ml de chlorure d'aluminium à 2 %, incubé pendant 10 min à température ambiante et lire les absorbances à 415 nm.

La concentration des flavonoïdes contenus dans les extraits est calculée en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant la quercitrine comme standard.

Les résultats sont exprimés en mg équivalent en quercitrine par 100g de poudre.

-A partir de chaque dilution on prend 1ml

-Ajouté 1 de $AlCl_3$.

- Ainsi on prépare le blanc par 1.5ml de la Quercitine + 1.5ml de méthanol.

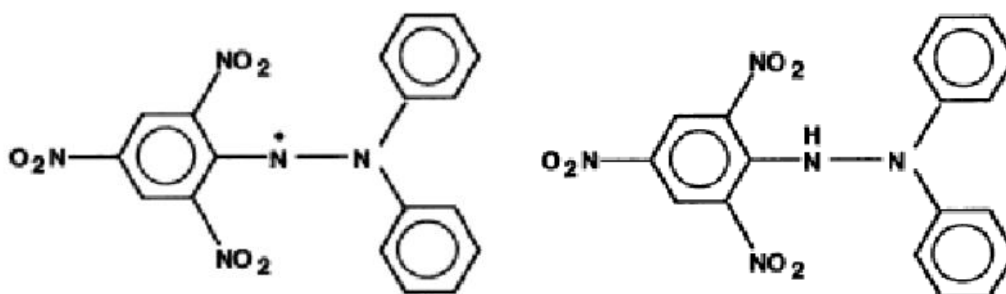
-Laisser agir 10 minutes

Puis faire passer dans un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 415nm.

c. Activité antioxydant

Principe

La capacité antiradicalaire des extraits a été évalué *in vitro* par la méthode de DPPH [2,2diphényl-1-picryl hydrazyl] rapporté par **Wahlandir *et al* (1979)**. Le DPPH* est un radical libre de couleur violette est réduit en un composé de couleur jaune en présence de composés antiradicalaire. L'intensité de la coloration, mesurée au spectrophotomètre, est inversement proportionnelle à l'activité antiradicalaire des composés dont nous souhaitons déterminer l'activité. (**Fig.2.5**)



Diphenylpicrylhydrazyl+Antioxydant-OH→ Diphenylpicrylhydrazine+antioxydant-O
 (Couleur violet) (couleur jaune)

Fig.2.5 : Réaction d'un antioxydant avec le DPPH (Molineux., 2004)

Ce radical libre présente une coloration violette, lorsqu'il est piégé par des substances antioxydants, la forme réduite confère à la solution une coloration jaune pâle, le virage de cette coloration et l'intensité de la décoloration de la solution dépendent de la nature, la concentration et la puissance de la substance antiradicalaire.

Mode opératoire :

Une solution de 4mg/ml de DPPH dans l'éthanol est préparée à partir de la solution mère de l'extrait, deux séries de dilutions d'un volume de 1 ml sont réalisées. Ajouter 1ml de la solution de DPPH à la première série et 1ml d'éthanol pour la deuxième. Après incubation de 30min la densité optique de la première série est lue à une longueur $\lambda=517\text{nm}$ contre la deuxième afin de soustraire l'absorbance de l'extrait pigmenté (qui est de couleur jaune à la base) contre un blanc qui l'éthanol (le solvant).

L'activité antiradicalaire de chaque concentration est calculée à partir de l'absorbance déduite par rapport à l'absorbance du témoin qui est la solution de DPPH utilisée (tableau 1.2et 3, annexe 1) selon la formule suivante :

$$A (\%) = (Do \text{ témoin} - Do \text{ échantillon} / Do \text{ témoin}) * 100$$

Le graphique $A\% = f([\text{extrait}])$ est tracé et la IC50 est déterminée (la concentration de l'extrait qui correspond à $A\% = 50\%$).

3.6.3. Analyse sensorielle

L'analyse sensorielle des biscuits a été faite par 3 catégories de dégustateurs :

- Panel 1 : Composé de 5 personnes adultes qualifiés et spécialisés dans le secteur agroalimentaire, leurs d'âge est entre [23-54] ans. La dégustation des produits (les 4 biscuits) a été réalisée selon un mode de distribution aléatoire (tableau 5). Chaque juge donne une note entre 0-9 pour chaque biscuit.
- Panel 2 : Composé de 4 personnes qui suivent un régime sans gluten, leurs âges est entre [14-40] ans. La dégustation a été réalisée selon un mode aléatoire (tableau 6). Chaque personne donne une note entre 0-5 pour chaque biscuit.

- Panel 3 : Composé de 5 personnes qui ne suivent aucun régime alimentaire, leurs moyenne d'âge est entre [19-60] ans. La dégustation a été réalisée selon une distribution aléatoire des biscuits (tableau 5). Chaque personne donne une note entre 0-9 pour chaque produit.

Tableau 5 : Distribution des échantillons pour le panel 1 et panel 3.

Rang \ Juges	R1	R2	R3	R4
J1	B1	B2	B3	B4
J2	B2	B3	B4	B1
J3	B3	B4	B1	B2
J4	B4	B1	B2	B3
J5	B1	B2	B3	B4

Tableau 6 : Distribution des échantillons pour le panel 2.

Rang \ Juges	R1	R2
J1	B1	B2
J2	B2	B1
J3	B1	B2
J4	B2	B1

Avec :

- B1 : Biscuit à base de farine de blé.
- B2 : Biscuit à base de farine de blé complète.
- B3 : Biscuit à base de farine de millet perlé non fermenté.
- B4 : Biscuit à base de farine de millet perlé fermenté.

Résultats et discussion

III- Résultats et discussion

1. Paramètres physiques

Les résultats des paramètres physiques des biscuits sont récapitulés dans le tableau (10).

Tableau 7 : Paramètres physiques de biscuit à base de (farine blé tendre, farine de blé complet, farine de millet fermenté et farine de millet non fermenté).

Paramètres physiques	Biscuit de farine blanche	Biscuit de farine complète	Biscuit de millet fermenté	Biscuit de millet non fermenté
Humidité % (pour 2g)	Avant: 22,2 Après: 1,8	Avant: 22,56 Après: 4,3	Avant: 23,05 Après: 2,86	Avant: 23,16 Après: 2,37
Épaisseur(mm)	Avant: 6,02 Après: 6,35	Avant: 6,07 Après: 6,61	Avant: 5,4 Après: 6,2	Avant: 5,4 Après: 6,2
Diamètre(mm)	Avant: 45 Après: 47,1	Avant: 45 Après: 47,7	Avant: 45 Après: 46	Avant: 45 Après: 46
Poids (g)	Avant: 8,8 Après: 7,1	Avant: 9,7 Après: 7,39	Avant: 7,3 Après: 9,3	Avant: 7,3 Après: 9,3
Volume (cm³)	44,25	47,24	41,21	41,21
Densité (kg/m³)	161,36 ×10 ³	155,94 ×10 ³	225,67 ×10 ³	225,67×10 ³
Ratio spread	7,42	7,22	7,42	7,42

a. L'humidité

Les taux d'humidité sont illustrés dans le tableau (10) et la figure (3.8).

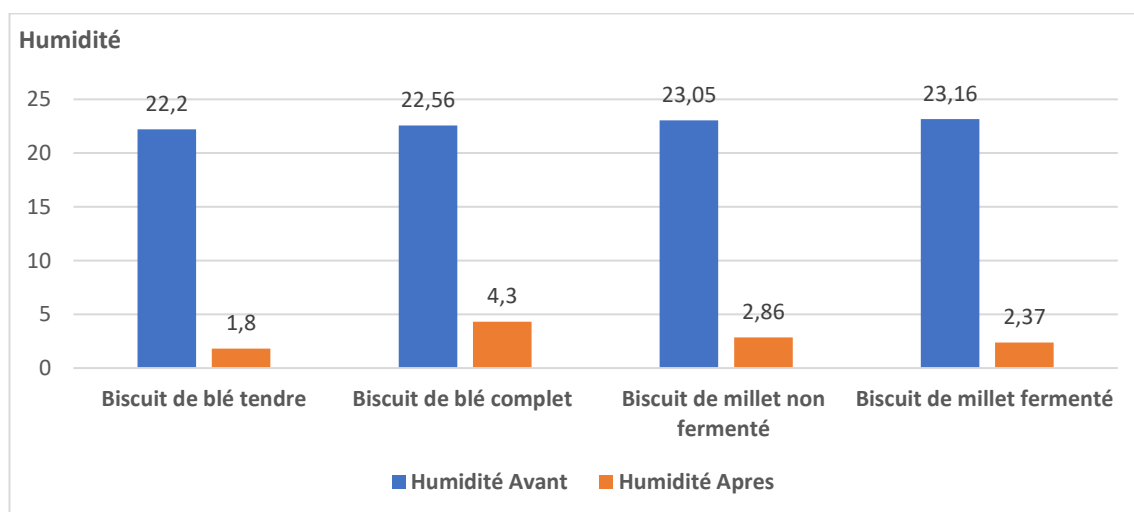


Fig.3.1 : Humidité (avant et après cuisson) de différents types de biscuits.

L'humidité de biscuit avant cuisson est presque la même entre le biscuit complet et à base de blé tendre est presque comparable de 22,56 et 22,2% respectivement par contre cette teneur est légèrement plus élevée pour les biscuits à base de millet non fermenté 23,05% et fermenté, 23,16.

Après cuisson le taux d'humidité le plus élevé est enregistrée chez le biscuit à base de blé complet 4,3% cette teneur diminue chez le biscuit a base de blé tendre 1,8%. Cette teneur est légèrement plus élevée chez le biscuit de millet fermenté et non fermenté. Après cuisson le biscuit de millet fermenté renferme moins d'humidité.

Des taux d'humidité plus élevés ont été rapporté par **Kulthe et al. (2018)** dans les biscuits de millet perlé de l'Inde (4.68%) et par **Adebiyi et al. (2017)** le biscuit de millet de Nigeria (5.77%). Ce qui signifie que notre biscuit peut se conserver plus longtemps.

b. Densité

Dans le tableau (10), les biscuits à base de millet fermenté et non fermenté sont de densité la plus élevée ($225,67 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ par rapport aux autres biscuits, notamment le biscuit à base de blé complet qui a eu la densité la plus faible ($55,94 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$).

La densité est un critère de qualité important pour un produit fini, et un moyen de contrôler la pureté, c'est un indicateur d'homogénéité. Le contrôle de l'épaisseur et de la densité des biscuits est un problème courant dans le conditionnement commercial des biscuits à pâte courte. Cette variabilité de l'étalement est évidemment liée à la consistance de la pâte (**Baltsavias, 1996**). On pense que le contenu solide de la graisse au moment du mélange affecte la densité de la pâte ; les pâtes avec une graisse solide sont plus faibles en air et ont des densités plus élevées (**Manly 1991**).

c. Ratio spread

Les résultats de ratio spread sont présentés dans la figure différence entre 6 biscuits de même type est réalisée sous forme de ratio (ratio spread) et illustré dans le (tableau 10) :

Spread ratio est un paramètre de mesurer la qualité de biscuit, il est souhaitable d'avoir un ratio plus élevé, plus le SR élevé plus le biscuit de bonne qualité (**Barak, Mudgil, & khatkar 2013**).

Les résultats obtenus ont montré que les 3 biscuits de farine blanche, millet non fermenté et fermenté ont le même SR de 7,42. Cependant, le biscuit à base de blé complet a donné un SR légèrement plus faible 7,22.

Deepak Mudjil shewata Barak B, S Khatkar ont préparés des biscuits supplémentés de poudre de noyau d'abricot, d'amidon résistant ou de fruits riche en fibres qui ont donné des SR de

5,71, 5,77 et 7,41 respectivement. Ce dernier a été plus riche en fibre et présentait le meilleur SR, par conséquence de meilleure qualité.

Par contre, d'autres études ont rapporté que l'enrichissement des farines avec des fibres par l'incorporation des grains complets diminuait le SR et augmente la dureté de biscuit (**Rajivet et al 2012**).

2. Analyses nutritionnelles

Les résultats des analyses nutritionnelles sont réalisés pour 100g de biscuit (Tableau 7) selon le Laboratoire de Contrôle de Qualité, Kolea.

Tableau 8 : Valeurs nutritionnelles pour 100g de biscuit sec à base de (farine blé tendre, farine de blé complet, farine de millet fermenté et farine de millet non fermenté).

Valeur nutritionnelle (g)	Biscuit de farine blanche	Biscuit de farine complète	Biscuit de millet fermenté	Biscuit de millet non fermenté
Graisses totales	14,34	15,05	16,85	16,84
Dont acides gras saturés	11,37	11,22	11,46	11,45
Glucides	65,01	61,81	66,25	67,74
Dont sucres	15,14	15,09	16,20	15,07
Protéines	6,60	9,48	7,91	7,83
Sel	0,50	0,46	0,53	0,53
Cendres	0,82	1,42	1,33	1,35
Énergie (kcal)	415,5 (1736,79kj)	420,61 (1758,15kj)	448,29 (1873,85kj)	453,84 (1897,05kj)

2.1. Graisses totales (dont acides gras saturés)

Les résultats de la graisse totale des acides gras saturés sont illustrés dans le (tableau 7) et la figure (3.1).

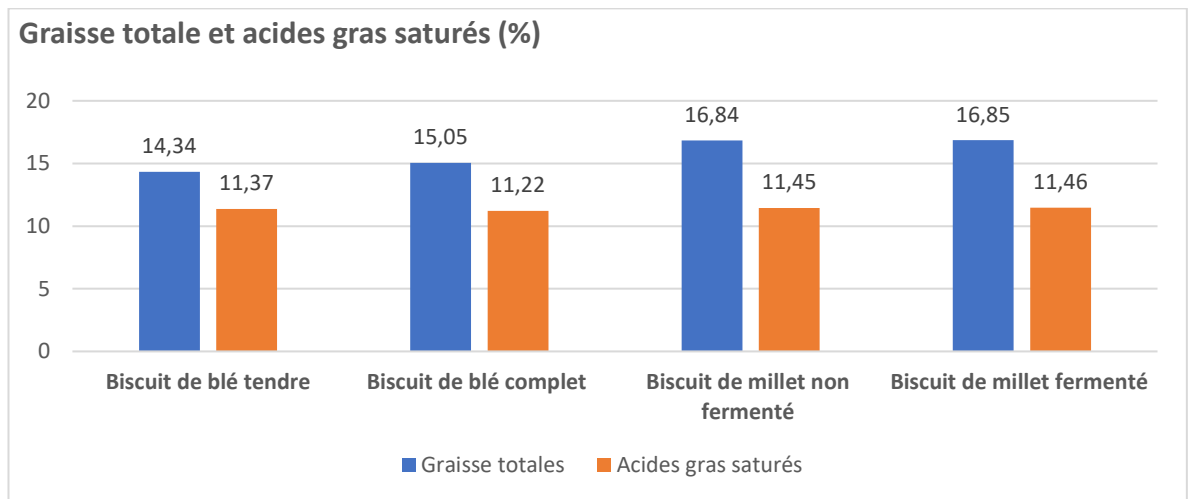


Fig.3.2 : Graisse totale et acides gras saturés des différents types de biscuits.

Le biscuit à base de farine complète renferme une teneur légèrement plus élevée en graisse totale par rapport au biscuit à base de farine blanche.

Cette teneur est encore plus importante dans les biscuits à base de millet fermenté et non fermenté, concernant les teneurs en acides gras saturés elles varient entre 11,22 et 11,45 respectivement dans les différents biscuits, cela veut dire qu'il n'y a aucune modification par la fermentation ni sur les acides gras saturés ni sur la graisse totale.

- **Adebiyi et al. (2017)** ont obtenu une valeur plus élevée de graisses totales de 18.77% dans les biscuits préparés avec 100% de farine du millet perlé du Nigeria. Selon le **CODEX STAN 256 – 2007** la matière grasse ne doit pas dépasser 80% ce qui signifie que notre biscuit répond aux normes standard.
- Le millet perlé est bien identifié pour sa teneur élevée en matière grasse par rapport à d'autres céréales comme le blé, le riz, etc. (**Abdalla et al., 1998, Jain et Bal, 1997**), et la teneur élevée en matières grasses pourrait également être due à l'ajout de matières grasses visibles dans la recette des biscuits et la région d'implantation du millet.

2.2. Glucides (dont sucres)

Les résultats des glucides et des sucres sont présentés dans le tableau (7) et dans la figure (3.2).

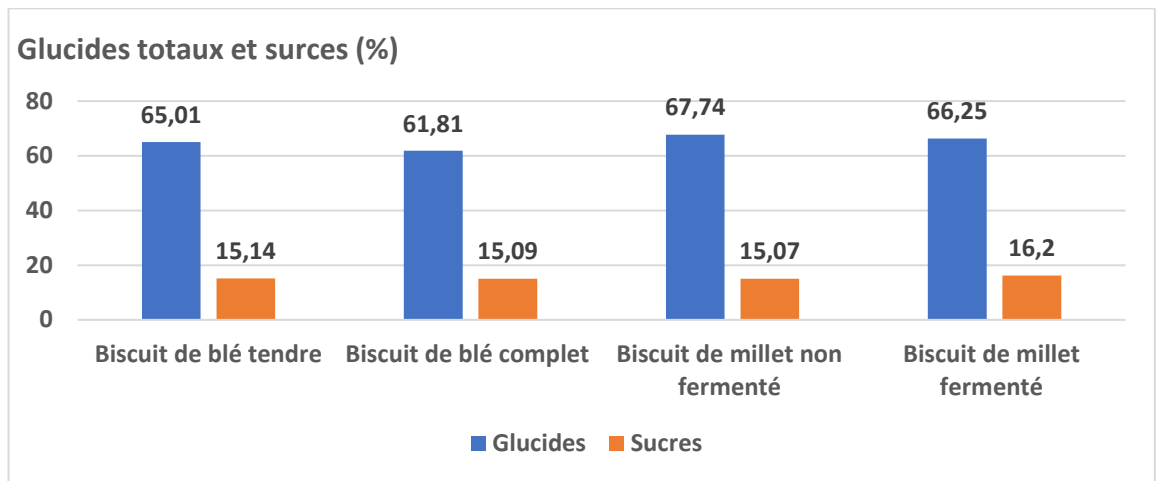


Fig.3.3 : Glucide et sucres des différents types de biscuits.

Le biscuit à base de farine blanche contient une quantité de glucides élevée par rapport le biscuit de blé complet, par contre les biscuits à base de millet non fermenté et fermenté contient presque la même teneur de 67,74 et 66,25 respectivement.

Cependant la teneur en sucre été comparable entre les 3 biscuit à base de farine blanche, blé tendre, millet non fermenté (15,4 15,09 15,07), il y a une augmentation qui est enregistré après la fermentation dans le biscuit de millet, ce qui montre que la fermentation augmente un peu la quantité des sucres dans le millet perlé

- Selon la norme **CXS 74-1981** notre biscuit à base de millet fermenté et non fermenté est légèrement élevé à la norme qui est de 7,5 g/100 kcal.

2.3.Protéines

Les résultats des protéines sont illustrés dans le tableau (7) et dans la figure (3.3) :

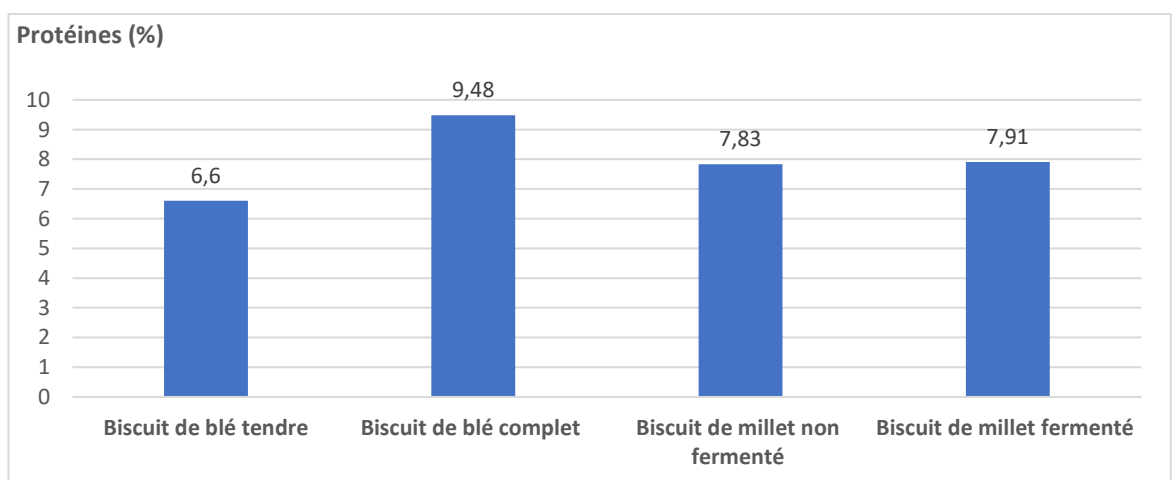


Fig.3.4 : Protéines des différents types de biscuits.

Le biscuit de blé complet renferme la teneur la plus élevée 9,48% g en protéines par contre la teneur la plus faible à été enregistrée chez le biscuit a base de farine blanche (6,6%) cela veut dire que le blé complet est plus riche en protéines par rapport au farine blanche a cause d'utilisation complète de blé. Le biscuit à base de millet non fermenté et fermenté a montré des teneurs comparables, qui sont 7,83 et 7,91% respectivement dans ce cas la fermentation ne modifie pas la quantité des protéines dans le millet perlé.

- Des études ont signalé que les protéines dans les biscuits à 100% de farine du blé est 10.73%, selon **Kendra. (2020)**.
- Selon **Adebiyi et al. (2017)** la valeur des protéines est de 8.1% dans les biscuits à 100% de farine de millet perlé nigérien.
- **Eneche. (1999)**, a trouvé 7.2% de protéines dans les biscuits préparés avec 100% de farine de millet perlé nigérien.
- D'autres références ont rapporté que la teneur des biscuits en protéines a été augmentée en raison de l'incorporation de farine de millet perlé native et dépigmentée (**Rathi et al., 2004**) et également de l'ajout de farine de millet perlé grillée dans les biscuits (**Florence et al., 2014**).

2.4.Cendres

Les résultats des cendres sont illustrés dans le tableau (7) et dans la figure (3.4) :

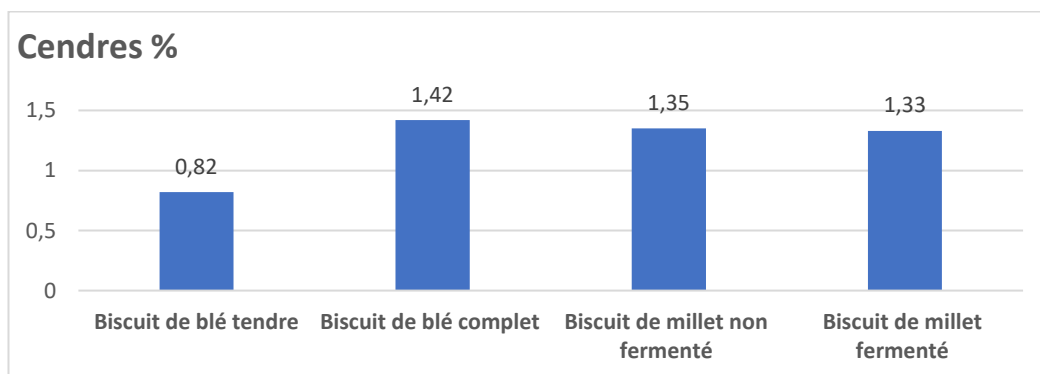


Fig.3.5 : Cendres dans différents types de biscuits.

Le biscuit à base de blé complet représente le taux le plus élevé de cendres (1,42g/100g), ce taux est moins élevé dans le biscuit à base de blé tendre.

Par ailleurs, le biscuit à base de millet non fermenté et fermenté est presque comparable par rapport au taux de cendre (1,35 et 1,33 respectivement), cela signifie que la fermentation n'a entraîné aucune modification sur la quantité des sels minéraux dans le millet perlé.

Les valeurs obtenues sont conformes à la norme puisqu'elles entrent dans la fourche de 1,2-2,4 % (**Hadimani et Malleshi, 1995**). En fait, une fluctuation, dans les valeurs des taux de cendre, est observée à travers les différents travaux :

- **Adebiyi et al. (2017)** ont trouvé que la teneur en cendre dans les biscuits avec 100% de farine du millet perlé est de 1.23%.
- D'après l'étude de **Eneche (1999)** qui a utilisé le millet nigérien la valeur de cendre dans le biscuit à 100% du millet est 1.5%.
- La différence entre les valeurs de cendre dans les biscuits de **Eneche (1999)**, **Florence, et al. (2014)**, **Adebiyi et al. (2017)** et **Kulthe et al. (2018)** est due à la région et la variété du millet utilisé, il semblerait de cette comparaison que le millet nigérien est plus riche en cendre que l'indien et l'algérien (notre biscuit).

2.5.Valeur énergétique

Les résultats des valeurs énergétiques sont illustrés dans le tableau (7) et dans la figure (3.5).

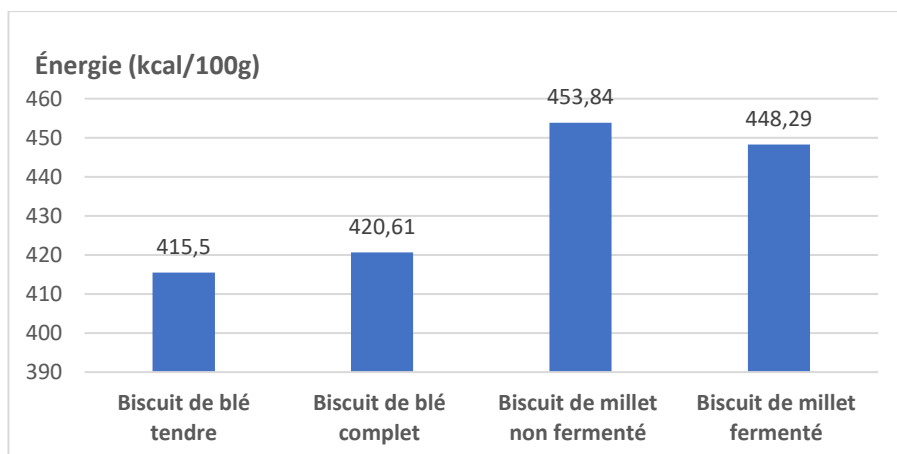


Fig.3.6 : Valeurs énergétiques des différents types de biscuits.

Les biscuits à base de millet non fermenté et fermenté sont les plus énergétiques 453,884 kcal et 448,29 kcal respectivement avec une diminution de cette teneur après la fermentation

Par contre on observe une diminution de cette teneur chez le biscuit à base de farine blanche et de blé complet. Des valeurs entre 450 et 500 kcal ont été rapportées dans la littérature par différents auteurs :

- Selon **Adebiyi et al. (2017)**, a trouvé 447kcal à 100% du millet.
- **Kulthe et al. (2018)**, a trouvé 499kcal à 50% du millet.
- **Florence et al. (2014)**, a trouvé 485kcal à 100% du millet.
- **Eneche. (1999)**, a trouvé 457.7kcal à 100% du millet.

Ces résultats signifient que notre biscuit répond aux normes standard (FAO,1995)

3. Paramètres nutraceutiques

Les résultats des paramètres nutraceutiques sont illustrés dans le tableau (8) pour les 4 types de biscuits.

Tableau 9 : Valeurs nutraceutiques de biscuit sec à base de (farine de blé tendre, farine de blé complet, farine de millet fermenté et farine de millet non fermenté).

Valeur nutraceutique	Biscuit de farine blanche	Biscuit de farine complète	Biscuit de millet non fermenté	Biscuit de millet fermenté
Flavonoïdes totaux (mg EQ/l)	42	45,85	56,75	85 ,66
Polyphenols totaux (mg Eag/l)	152,43	135,13	168,10	289,32

3.1.Flavonoïdes

La valeur des flavonoïdes totaux sont illustrés dans le (tableau 8) et dans la figure (3.6) :

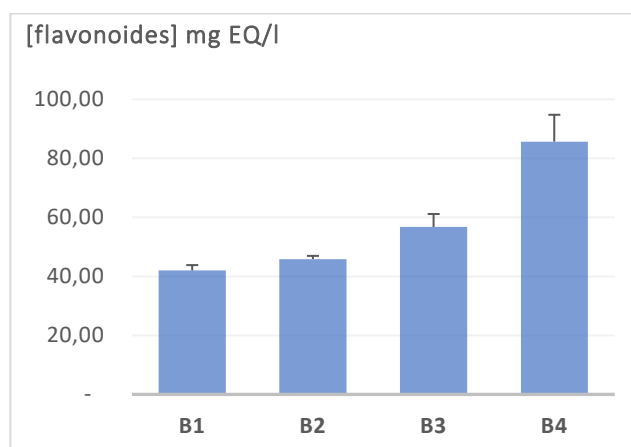


Fig.3.7 : flavonoïde de différents types de biscuits.

Le biscuit à base de farine blanche et de blé complet contient presque la même quantité des flavonoïdes totaux qui varient légèrement entre 42 et 45,85 mg EQ/l respectivement.

Le biscuit de millet fermenté contient la quantité la plus élevée de cette teneur 85,66 mg EQ/l par rapport au biscuit à base de millet non fermenté 56,75 mg EQ/l.

Cela veut dire que la fermentation augmente le taux des flavonoïdes dans le millet perlé.

- D'après **khalfallah (2013) et Adoum (2002)**, cette variation est reliée a des facteurs génétiques, structurelles ou physiologiques des céréales.
- Des études menées sur le profil phénolique de millet ont trouvé que la lutéoline, un flavone présente une activité antioxydante, anti inflammatoire et des préventif contre le cancer (**DUK, 1992**).

3.2.Polyphénols totaux

La valeur des polyphénols totaux sont illustrés dans le tableau (8) et dans la figure (3.7).

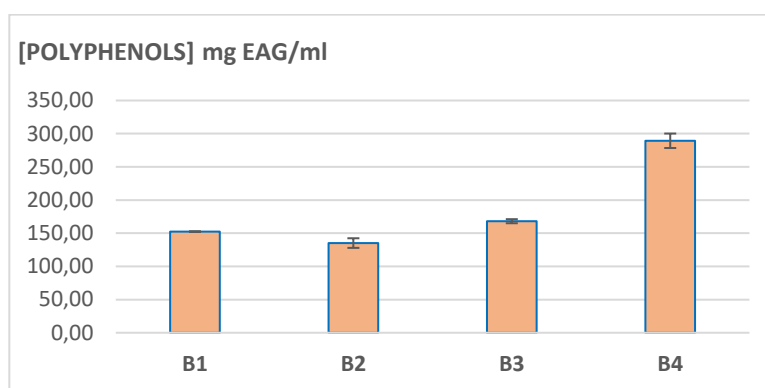


Fig.3.8 : polyphénols totaux des différents types de biscuits.

La quantité des polyphénols totaux chez le biscuit à base de farine blanche est de 152,43 mg EAG /l et de 135,13 mg EAG/l dans le biscuit de blé complet, ce dernier réagi moins bien que de farine blanche contre le mauvais cholestérol.

La teneur la plus élevée des polyphénols totaux a été enregistrée dans les biscuits à base de millet fermenté par une quantité de 289,32 mg EAG/l, cette teneur a été très faible avant la fermentation 168,10 mg EAG/l, ça confirme que la fermentation augmente les polyphénols totaux dans le millet perlé.

Les résultats obtenus par **bellebcir (2008)** sont un peu élevés à celle obtenue dans la présente étude (10,77 Eag/g) de 100 de poudre de blé tendre et complet celle trouvé par **Abderrahim et al (2012)** 1000mg Eag/100g de poudre.

- **Macheix et al (1990)** signalent que la concentration des polyphénols est très variable d'un espace à autre et d'une variété a une autre.
- Un autre travail a montré que les graines de millet cru contiennent environ de 2,58mg/Eag/g (**Ngoh Newilah et al 2005**)

Cela notre résultat concernant le biscuit de millet non fermenté est dans la norme standard.

3.3. Activité antioxydante

Les taux de l'activité antioxydante est évalué par la méthode de piégeage du radical libre DPPH*. Les IC50 de l'activité antiradicalaire est exprimé en mg EQ/l et mg EAG/l ; les valeurs obtenues sont regroupées dans le tableau (9).

Tableau 10 : Valeurs de IC50 exprimées en mg EQ/l et mg EAG/l en fonction de type de biscuit (formulé à base de farine blanche de blé tendre, farine de blé tendre complète, farine de millet fermenté et farine de millet non fermenté).

Valeur antioxydante	Biscuit de farine blanche	Biscuit de farine complète	Biscuit de millet non fermenté	Biscuit de millet fermenté	BHA	BHT
Ec 50% (mg EQ/l)	41,5	32	6,5	4,5	145.0	22.5
EC 50% (mg EAG/l)	150	93	37,5	10,7		

L'activité antioxydante basé sur l'activité d'élimination des radicaux du DPPH dans les 4 farines des biscuits varient de 10.7 à 150 Eag/l et de 4,5 à 41 Eag/g.

L'intensité de cette activité est plus forte dans le biscuit de millet fermenté avec une IC50 de 4,5 mg EQ/l. et 10,7 mg EAG/l. elle est plus faible par contre, dans le biscuit de blé à base de farine blanche avec une IC50 équivalente à 150 mg EAG/l et 41,5 mg EQ/l. nous remarquons également que l'activité antiradicalaire des composés phénoliques présents dans le biscuit de farine complète de millet est beaucoup plus importante que ceux contenus dans les biscuits de farine complète de blé tendre et que la fermentation a amélioré cette activité (tableau 7) probablement dû à l'amélioration de la qualité par la modification microbienne de la composition en composés phénoliques.

En comparant le pouvoir antioxydant des composés phénoliques des biscuits par apport au deux composés phénoliques synthétique BHT, BHA utilisés généralement dans les denrées alimentaires, nous avons déduit que le pouvoir antiradicalaire des flavonoïdes du biscuit de millet fermenté est 22 fois plus fort que celui du BHA et 5 fois plus fort que la BHT. En prenant en compte la IC50 exprimée par la concentration d'extrait en polyphénols totaux c'est-à-dire en mg EEAG/l on trouve que les polyphénols du biscuit fermenté sont presque 4 fois plus fort que le BHA et 11 fois plus fort que la BHT.

Par ailleurs, l'extrait de biscuit à base de farine blanche exerce une activité antioxydante similaire à celle exercé par le BHT (IC50 de de 150 EQ/g et 140 mg/l respectivement), et 6 fois plus faible que celle exercée par le BHA.

Par contre, l'extrait de biscuit de millet non fermenté a noté une IC50 d'activité de 37 mg EQ/l et 6,5 mg EAG/L traduisant une activité antioxydante plus forte que celle de BHA.

Les composés phénoliques sont considérés comme un groupe majeur de composés qui contribuent aux activités antioxydantes des céréales.

Plusieurs auteurs avaient démontré que le pouvoir antioxydant était fréquemment significativement corrélé au contenu et à la composition phénoliques dans les grains de sorgho, de millet et autres matières végétales (Ainsworth *et al.*, 2007 ; Mokrane *et al.*, 2010 ; Taylor *et al.*, 2004). En outre, Les flavonoïdes sont de puissants antioxydants qui peuvent inhiber la formation de radicaux libres et s'opposer à l'oxydation des macromolécules (Van Acker *et al.*, 1995 ; Dykes et Rooney, 2006 ; Sade *et al.*, 2009 ; Medini *et al.*, 2014). Pietta (2000) a indiqué que les flavonoïdes et leurs métabolites peuvent présenter une activité antioxydante *in vivo*.

4. Analyses sensorielles

Les propriétés organoleptiques des biscuits ont été effectués par 3 types de jurés :

4.1.Des jurés spécialisés dans le secteur agroalimentaire

Les résultats d'analyses sensorielles sont présentés dans les figures (3.9, 3.10, 3.11, 3.12).

Bb : Biscuit à base de farine blanche de blé

Bbc : Biscuit à base de farine de blé complète

Bm : Biscuit à base de farine de millet perlé non fermenté

Bmf : Biscuit à base de farine de millet fermenté

Biscuit à base de farine blanche : -il ressort de la figure 3.9 que tous les paramètres aspect, gout couleur odeur, texture et arrière-goût ont été jugé très bon avec des moyennes presque comparables de 7 à 8,8.

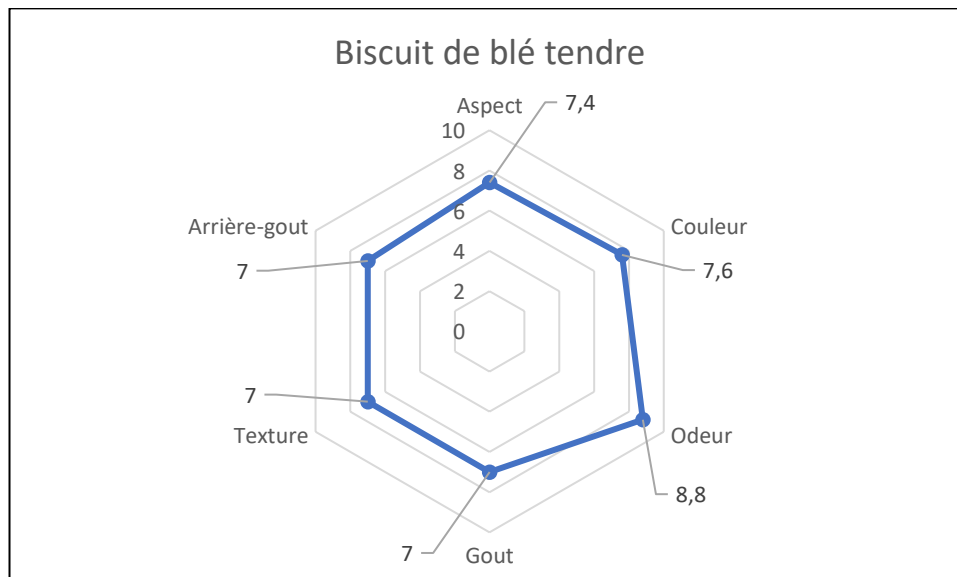


Fig.3.9 : Résultats de l'évaluation sensorielle de biscuit à base de farine blanche de par des jurés spécialisés dans le secteur agroalimentaire.

1.Biscuit à base de farine de blé complète : Il ressort de la figure 3.10 que la couleur, aspect odeur, goût et arrière-goût ont jugé avec des moyennes élevées.

Les dégustateurs ont révélé qu'ils ressentaient des particules dans la bouche cela dû à la texture de farine complète qui contient le son parfois pas très bien broyé et qui donne une couleur à la farine.

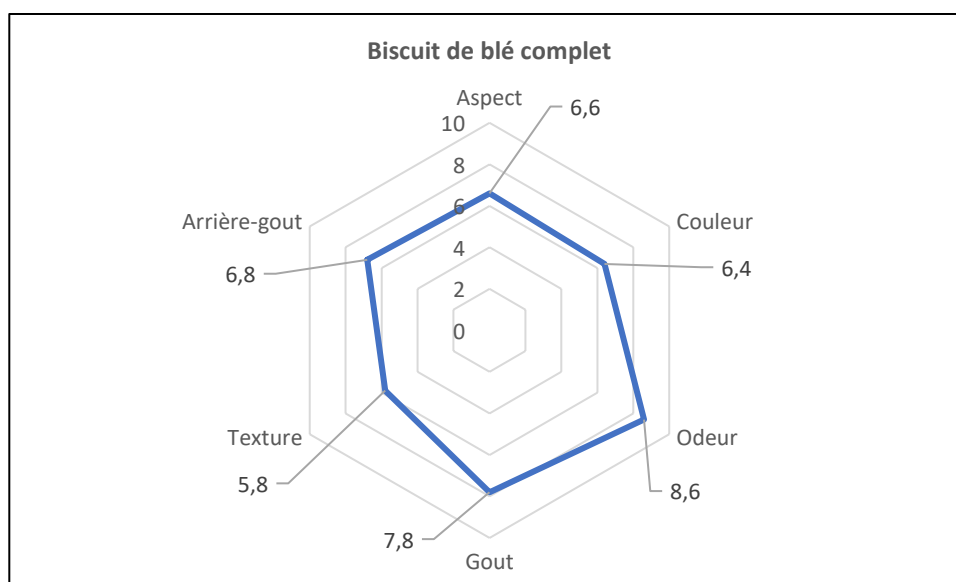


Fig.3.10 : Résultats de l'évaluation sensorielle de biscuit à base de farine de blé complète par des jurés spécialisées dans le secteur agroalimentaire.

2. Biscuit à base de farine de millet perlé :

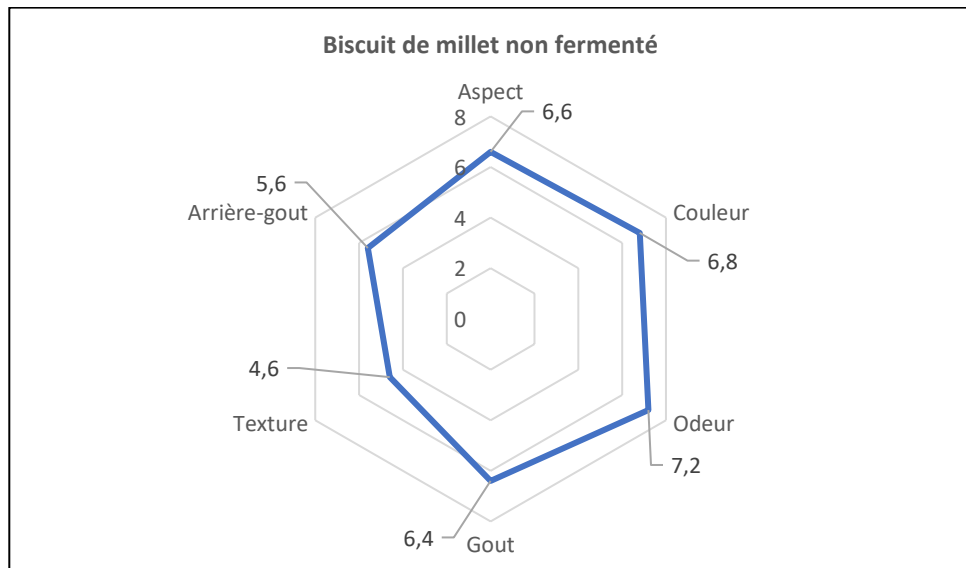


Fig.3.11 : Résultats de l'évaluation sensorielle de biscuit à base de farine de millet perlé non fermenté par des jurés spécialisés dans le secteur agroalimentaire.

3. Biscuit à base de farine de millet perlé fermenté : Il ressort de la figure 3.10 et 3.11 que :

La texture, l'aspect et la couleur sont presque identique dans les deux biscuits BMF et BM.

Les dégustateurs ont ressenti de particules un peu plus fines que celles de Bbc.

Le Bmf a un score moyen plus élevé 3,8 que Bm 5,6

Le goût amer est plus accentué que dans Bmf

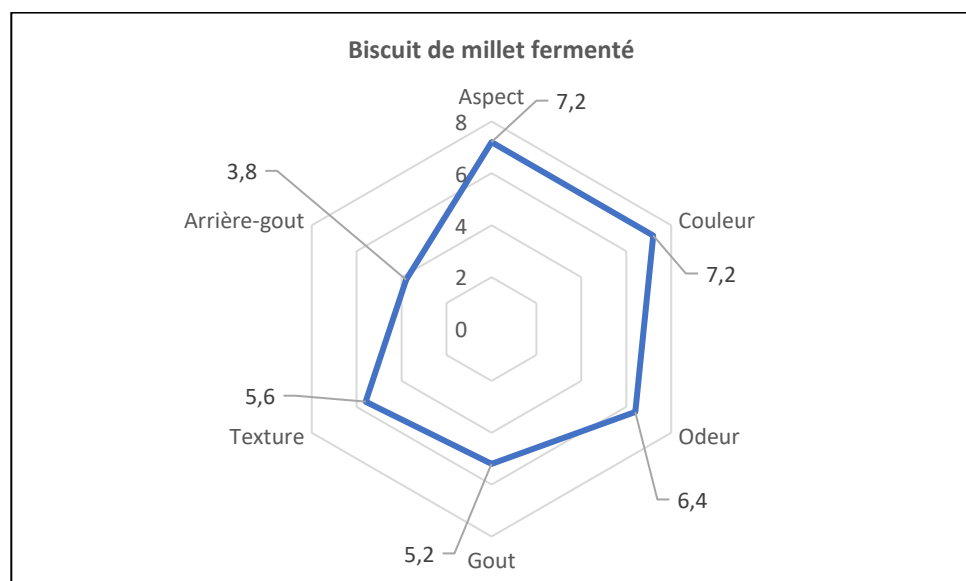


Fig.3.12 : Résultats de l'évaluation sensorielle de biscuit à base de farine de millet perlé fermenté par des personnes spécialisées dans le secteur agroalimentaire.

4.2.Des jurés qui ne suivent aucun régime alimentaire

Les résultats d'analyses sensorielles par les personnes qui ne suivent aucun régime alimentaire sont présentés dans les figures (3.13, 3.14, 3.15 et 3.16).

1.Biscuit à base de farine blanche : Il ressort de la figure (3.13) que tous les paramètres ont été jugés très bons avec des scores moyens presque comparables.

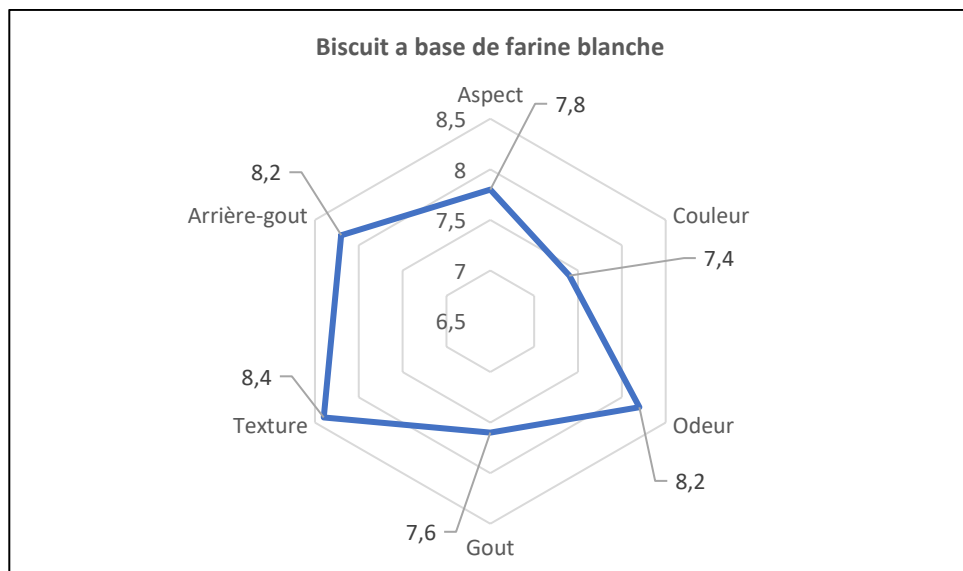


Fig.3.13 : Résultats de l'évaluation sensorielle de biscuit à base de farine blanche de blé par des jurés qui ne suivent aucun régime alimentaire

2.Biscuit à base de farine de blé complet : Il ressort de la figure (3.14) que le goût, l'arrière-goût, l'odeur ont été jugé très bons avec des scores moyens variant entre 7,4 et 7,6 ; par contre, ils ont révélé l'aspect et la texture non homogène (granuleuse) (farine complète).

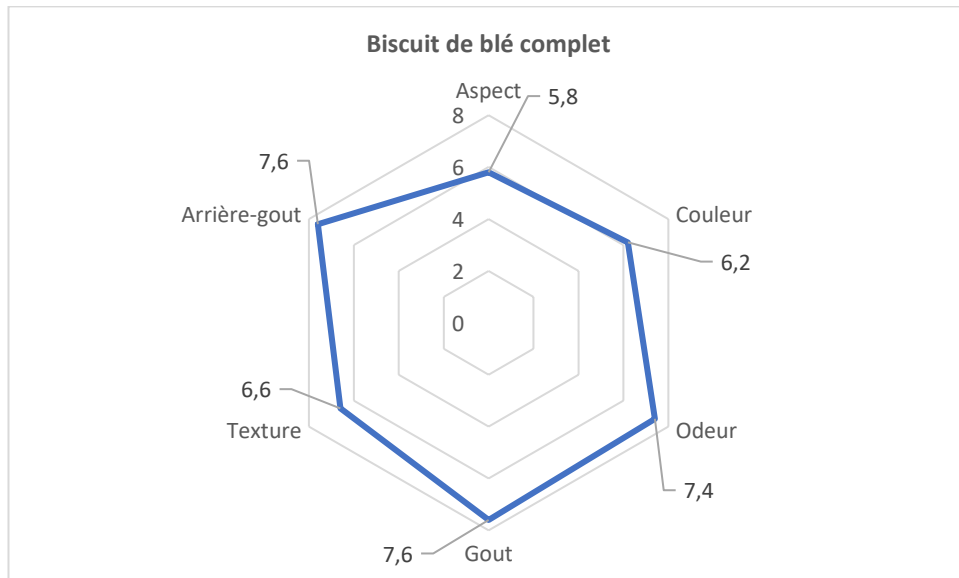


Fig.3.14 : Résultats de l'évaluation sensorielle de biscuit à base de farine de blé complet par des jurés qui ne suivent aucun régime alimentaire

3.Biscuit à base de farine de millet perlé non fermenté : Il ressort de figure (3.15) que l'aspect et la couleur, l'odeur et le goût ont été noté moyennement appréciables avec des scores moyens de 6,8/ 6/ 7,6 et 6,8.

- l'arrière-goût est très bon par rapport à Bmf.
- texture granuleuse à cause des particules de millet complet.

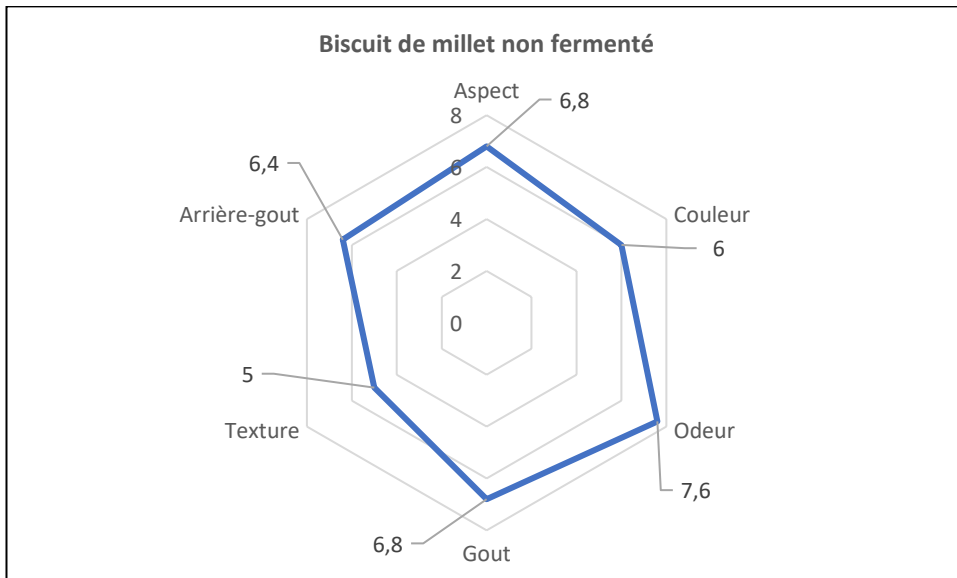


Fig.3.15 : Résultats de l'évaluation sensorielle de biscuit à base de farine de millet non fermenté

1.Biscuit à base de farine de millet perlé fermenté : Il ressort de figure (3.16) que l'odeur, la couleur et l'aspect ont été jugé bons avec des scores moyens de 7 ,2/ 6,4/6,2 respectivement.

L'arrière-goût est indésirable avec une moyenne très faible de 3.

Texture moins acceptable par rapport le biscuit standard.

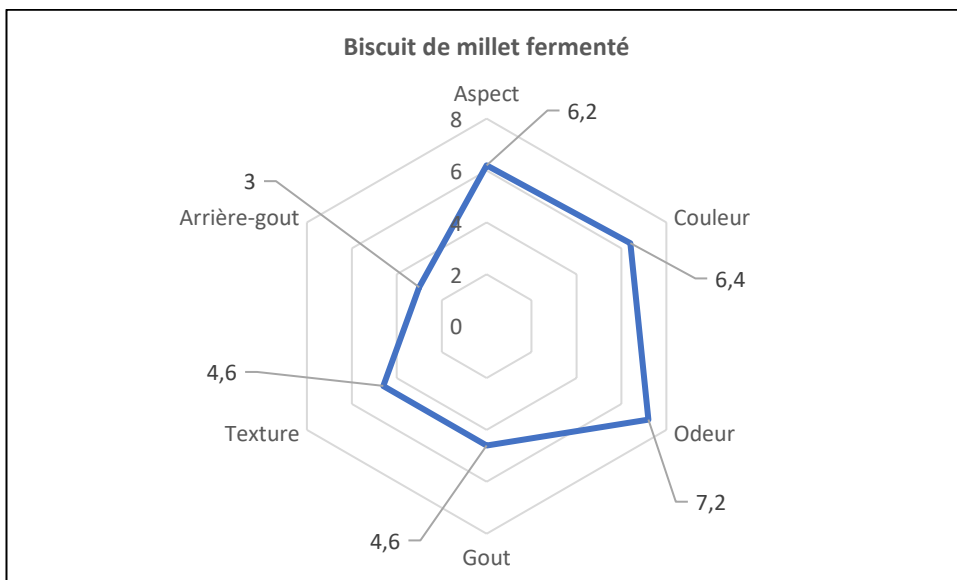


Fig.3.16 : Résultats de l'évaluation sensorielle de biscuit à base de farine de millet fermenté par des jurés qui ne suivent aucun régime alimentaire.

Choix des meilleures formules

Les résultats de la comparaison entre les 4 types de biscuits selon des personnes qualifié spécialisé dans le secteur agroalimentaire travaillant dans la Biscuiterie de "Cherchell" (panel 1) et des personnes qui ne suivent aucun régime alimentaire (panel 3) sont illustrés dans la figure (3.17).

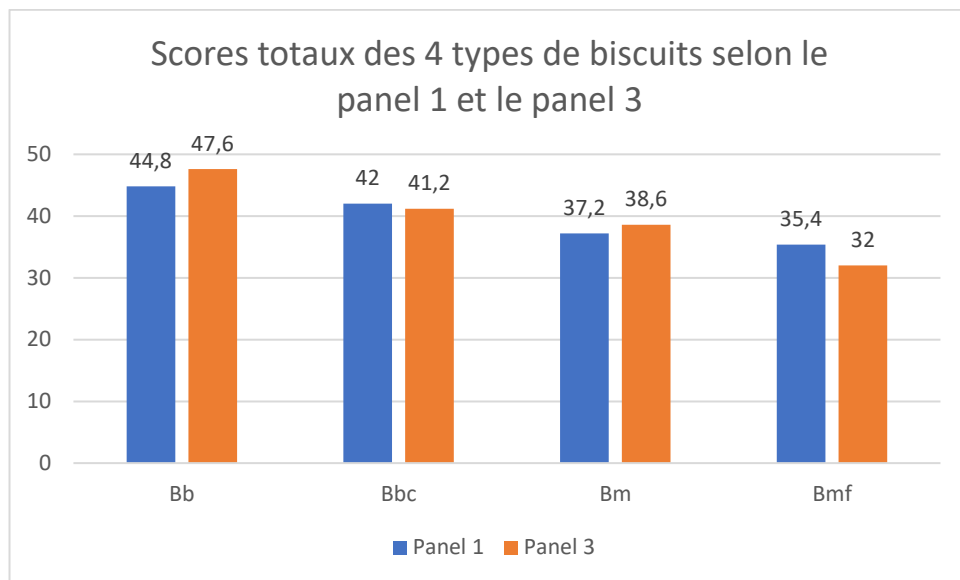


Fig.3.17 : Scores totaux des 4 types de biscuits selon les jurés qualifié spécialisés dans le secteur agroalimentaire et des personnes qui ne suivent aucun régime alimentaire

D'après les scores totaux des deux juries figure (3.17), il est clair que les dégustateurs ont préféré le gout auquel ils sont plus familiarisés, le Bb. Ceci peut signifier que ces dégustateurs n'ont pas l'habitude de manger ce genre de biscuits.

On remarque d'après ces histogrammes que la différence dans les scores des dégustateurs qualifié est plus faible entre Bb et Bbc d'une part et entre BM et BMF d'autre part. Les scores totaux de Bm et Bmf sont plus faible (37,2, 38,6 et 35,4, 32) par rapport à Bb et Bbc.

4.3.Des jurés ayant la maladie cœliaque

Les résultats d'analyses sensorielles sont présentés dans les figures (3.18 et 3.19).

2.Biscuit à base de millet non fermenté : Il ressort de la figure (3.18) que le gout, l'arrière-gout, la couleur, l'odeur, et la texture ont été jugés très bonnes avec une moyenne entre 4 et 4,62

- Le biscuit à base de millet non fermenté est déficitaire par rapport à aspect (3,25)
- Les dégustateurs ont avoir ressenti des particules dans la bouche, cela est dû à l'utilisation des farines complet qui contient des particules moins fines.

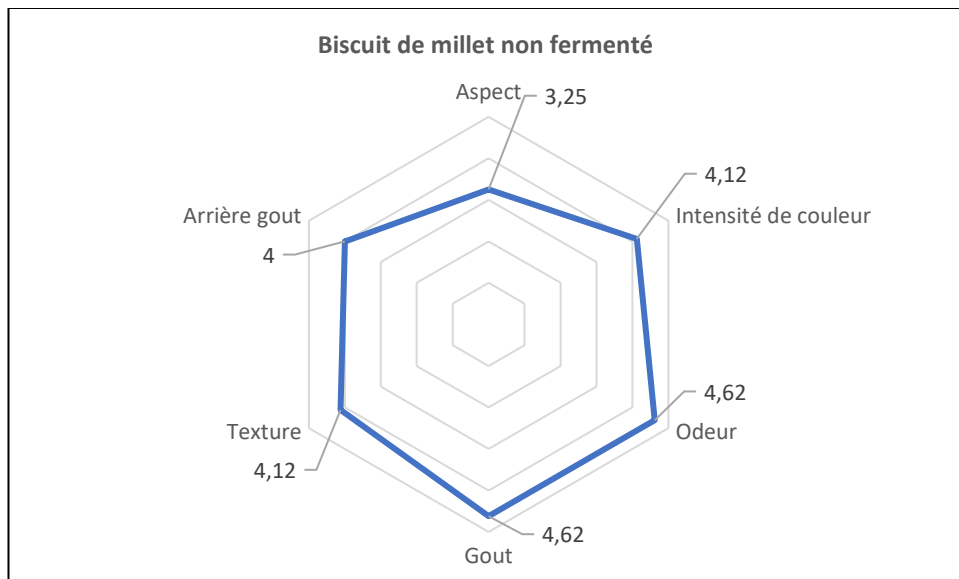


Fig.3.18 : Résultats de l'évaluation sensorielle de biscuit de millet non fermenté par des jurés ayant de maladie cœliaque.

3.Biscuit à base de millet fermenté : Il ressort de la figure (3.19) que la texture, l'aspect et la couleur des biscuits de millet sont presque identique au biscuit à base de millet non fermenté avec une moyenne de 4.

- Le biscuit à base de millet fermenté est moins apprécié avec une moyenne de 3 et 4.
- Les dégustateurs ont avoir ressentir un arrière-gout amer et ils ont jugé que ce biscuit effectivement contient moins de sucre que les autres biscuits

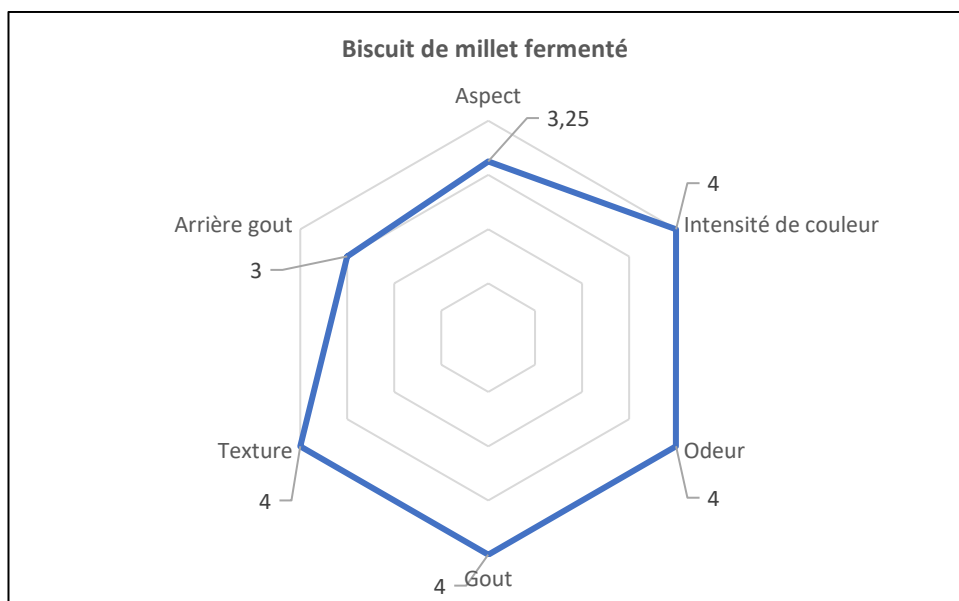


Fig.3.19 : Résultats de l'évaluation sensorielle de biscuit de millet fermenté par des jurés ayant de maladie cœliaque.

Choix de la meilleure formule

Les résultats de la comparaison entre les deux types de biscuits selon les jurés avec des malades cœliaque sont présentés dans le tableau (11).

- D'après les résultats de tableau (11) nous constatons que le biscuit à base de millet non fermenté a le meilleur score (24,73) en comparaison avec le biscuit fermenté.

Tableau 11 : Score total des deux types de biscuits selon les jurés ayant de maladie cœliaque.

Biscuits	Millet non fermenté	Millet fermenté
Scores totaux	24,73	22,62

Conclusion

Au terme de cette étude réalisée sur les effets de la substitution de la farine blanche de blé tendre par la farine complète du millet perlé, d'une part et de la fermentation du millet perlé, d'autre part, sur la valeur nutritionnelle, nutraceutique et sensorielle de biscuit, nous avons constaté les points suivants :

Concernant la composition nutritionnelle des biscuits à base de millet, les graisses et les glucides étaient plus importantes par rapport aux biscuits à base de farine complète de blé tendre. La fermentation a augmenté davantage les des graisses et des glucides or elle n'a pas affecté la teneur des biscuits en protéines. Néanmoins, la teneur des biscuits à base de millet étaient plus riches en protéine que les biscuits à base de blé tendre.

Les valeurs énergétiques ont été plus importantes chez le biscuit à base de millet avant et après fermentation.

La fermentation s'est avérée une bonne pratique pour augmenter le taux des polyphénols et des flavonoïdes qui sont de puissants antioxydants pouvant piéger et inhiber les radicaux libres.

Les analyses physiques et sensorielles ont également permis de constater une qualité physique acceptable de la pâte et du biscuit en termes de rapport d'étalement, Spread ratio et de densité. Ces attributs ont eu une influence positive sur la qualité sensorielle avec une plus grande croustillance, de meilleures caractéristiques de surface et une acceptable sensation en bouche.

Le biscuit à base de millet non fermenté a montré le meilleur score total d'acceptabilité par les différents panels des dégustateurs. Ainsi, le biscuit fabriqué à partir de millet fermenté a révélé un score un peu plus faible lié aux faibles notes données par les dégustateurs notamment pour évaluer la texture et l'arrière-gout. Des corrections de la formule sont indispensables afin d'améliorer les scores de ces derniers critères ; probablement par l'interférence avec un autres type de transformation, par modifications de la recette en ajoutant un ingrédient.

Pour conclure, la préparation d'un biscuit à base de millet fermenté et non fermenté donne un aliment á intérêt nutritionnel et nutraceutique satisfaisant et mérite plus de travail sur sa qualité organoleptique et l'étude d'autre paramètres tel que l'indice glycémique pour pouvoir le présenter aux consommateurs comme un produit de diète notamment pour les malades cœliaques, les diabétiques, obèses...etc.

Références

Abdel-aaa M.E. (2009). Functionality of Starches and Hydrocolloids in Gluten-Free Foods. In *Gluten-Free Food Science and Technology*, GALLAGHER E. Wiley-Blackwell. UK. Pp 200 – 224.

Abderrahim F., Huanatico E., Repo-Carrasco-Valencia R., Arribas S.M., Gonzalez M.C., Condezo-Hoyos L. (2012). Effect of germination on total phenolic compounds, total antioxidant capacity, Maillard reaction products and oxidative stress markers in canihua (*Chenopodium pallidicaule*). *Journal of Cereal Science*, 56 : 410-417

Acourence S., Buelguedj M., Taleb B. (2001). Caractérisation, évaluation de la qualité de la datte et identification des cultivars rares de palmier dattier de la région des Zibans. *Recherche Agronomique*, N°8. Ed. INRAA, pp19-39

Acourene, S., Tama M. (2001). Utilisation des dattes de faible valeur marchande (Rebutts de deglet-nour, tinissine et tantboucht) comme substrat pour la fabrication de la levure boulangère. *Revue des Energies Renouvelables.*, 1-10.

Adebiyi Marion O., Ajiboye Daramola O., Oladeji Florence O. (2017), "RFID-Based Human Tracking System in Tertiary Institution

Adebiyi J. A., Obadina A.O., Adebo, O.A., Kayitesi, E. (2017). Comparaison de la qualité nutritionnelle et de l'acceptabilité sensorielle de biscuits obtenus à partir de farine de millet perlé (*Pennisetum glaucum*) native, fermentée et maltée. *Food Chemistry*, 232(Supplement C), 210-217.

Adebiyi J., Obadina A., Adebo O., Kayitesi E. (2016). Produits fermentés et maltés à base de millet en Afrique : Expédition d'aliments traditionnels/ethniques vers des produits industriels à valeur ajoutée. *Critical reviews in Food Science and nutrition* (juste accepté), 00

Adebiyi J., Obadina, A., Adebo, O., Kayitesi, E. (2017). Comparison of nutritional quality and sensory acceptability of biscuits obtained from native, fermented, and malted pearl millet (*Pennisetum glaucum*) flour, *Food Chemistry* (2017).

Adekunle, A.A. (2012). L'innovation agricole en Afrique subsaharienne : expériences de multiples approches des parties prenantes. *Forum pour la recherche agricole en Afrique*, Ghana. ISBN 978-9988- 8373-2-4.

Adeola O., Orban A. (1994). Chemical composition and nutrient digestibility of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) fed to growing pigs. *J Cereal Science* 22, 177-184.

Ahmadi N., Chantereau J., Hekimian Lethève C., Marchand J.L., Ouendeba B. (2002). Le mil. In *Mémento de l'agronome: Les céréales*. CIRAD-GRET (ed). Ministère des Affaires étrangères ; 17-23.

Ainsworth E.A., Gillespie K.M. (2007). Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. *Nature Protocols*, 2, 875-877.

Amadou I., Mahamadou E.G., Guo-Wei L. (2013). Millets: Nutritional composition, some health benefits and processing - A Review. *Emir. J. Food Agric*, 25(7): 501-508. DOI: 10.9755/ejfa.v25i7.12045

Andrews D.J., Kumar K.A. (1992). Pearl millet for food, feed, and forage. *Advances in Agronomy* 48, 89-139.

Andrews D.J., Rajewski J.F., Kumar K.A. (1993). Pearl millet, New feed grain crop. In "News crops. Wiley, New York. J. Janick and J.E. Simon (éds)," pp. 198- 208.

Anonyme. (2004). Evaluation de l'impact de techniques d'intensification sur la production de mil à l'échelle du territoire du Niger, p. 186

Ardent E.K., Renzetti S., Dal Bello F. (2009). Dough Microstructure and Textural Aspects of Gluten-Free Yeast Bread and Biscuits. In *Gluten-Free Food Science and Technology*, GALLAGHER E. Wiley-Blackwell. UK. Pp 107 – 125.

Arun M., Satish S., Anima P. (2015) *Afr J Tradit Complement Altern Med*. 12(3):135-142

Aubert C. (1985). Les aliments fermentés traditionnels. Ed. Terre Vivante, Paris, 252p.

Bahorun T., Grinier B., Trotin F., Brunet G., Pin T., Luncky M., Vasseur J., Cazin M., Cazin C., Pinkas M. (1996). Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparations. *Arzneimittel-Forschung*, 46(11): 1086-1089.

Bekoye, B. M. (2011). "Caractérisation chimique et minérale des grains de mil [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] de Côte d'Ivoire." *International journal of biological and chemical sciences* 5(5): 2039-2044

Bouzou I.M. (2009). Evaluation de l'effet du compost enrichi avec des urines hygiénisées sur la culture du mil. Mémoire, Université de Niamey, Niamey, p.52.

Brooker B. R. (1993) The stabilization of air in cake batters - the role of fat. Food structure. 12: 285-296.

Brunken J. (1977). de Wet, J.M.J. & Harlan, J.R. The morphology and domestication of pearl millet. Econ Bot 31, 163–174

Cabrol C. (2006). Recueil pain et nutrition, pp08.

Campelo G.D.A., Teixeira Neto M.L., da Rocha C.M.C. (1998). Validação de plantio direto de soja sobre residuo de milheto. Embrapa Meio-Norte-Documentos

Chavan U.D., Chavan J.K., Kadam S.S. (1988). Effect of fermentation on insoluble protein and in vitro protein digestibility of sorghum, green gram and sorghum green blends. Journal of Food Science, 53, 1574– 1578.

Chaven J.K., Kadam S.S. (1989). Nutritional improvement of cereals by fermentation. Critical Reviews in Food Science Technology, 28, 349– 400.

Chaves-Lopez C., Serio A., Grande-Tovar C.D., Cuervo-Mulet R., Delgado-Ospina J., Paparella A. (2014). Traditional fermented foods and beverages from a microbiological and nutritional perspective: The Colombian Heritage. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 13, 1031– 1048.

Chen Z., Jiang J.C., Lin Z.G., Lee W.R., Baker M.E., Chang S.H. (1993). Site-specific mutagenesis of Drosophila alcohol dehydrogenase: evidence for involvement of tyrosine-152 and lysine-156 in catalysis. Biochemistry 32(13): 3342--3346.

Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR). 2004. Millet. [En ligne]: <http://www.cgiar.org/impact/research/millet.html>. (Page consultée le 15 août 2008).

Dendy D.A.V. (1995). Sorghum and millets: Production and importance. In: Dendy DAV. Sorghum and Millets: Chemistry and Nutrition. Minnesota(MN). American Association of Cereal Chemist. 11-16.

Dutordoir C.D. (2006). Impact de pratiques de gestion de la fertilité sur les rendements en mil dans le Fakara (Niger). Mémoire, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, p.214.

Dykes L., Rooney L. W. (2006). Sorghum and millet phenols and antioxidants. Journal of Cereal Science 44(1), 236–251.

Egli I., Davidsson L., Juillerat M. A., Barclay D., Hurrell R.F. (2003). Phytic acid degradation in complementary foods using phytase naturally occurring in whole grain cereals. *Journal of Food Science*, 68, 1855– 1859.

El hag M.E., El tinay A.H., Yousif N.E. (2002). Effect of fermentation and dehulling on starch, total polyphenols, phytic acid content and in vitro protein digestibility of pearl millet. *Food Chemistry*, 77, 193-196.

Eliasson A.C., Silverio J. (1997). Fat in baking. In, FRIBERG S. E., and LARSSON K. *Food emulsions* (3rd ed.). New York: Marcel Dekker.

Eneche E.H. (1999). Biscuit-making potential of millet/pigeon pea flour blends Department of Food Science & Technology, Federal Polytechnic, Idah Kogi State, Nigeria. *Plant Foods for Human Nutrition* 54: 21–27, 1999.

FAO (1995). Norme pour les préparations alimentaires utilisées dans les régimes alimentaires amaigrissants à valeur énergétique très faible CXS 203–1995.

FAOSTAT. (2018). FAO.doc_12_Mars_2018_12h12.doc. www.fao.org/faostat/fr/

FAOSTAT. (2020). FAO.doc_21_Décembre_2018_12h12.doc. www.fao.org/faostat/fr/

FEILLET P. (2000) Le grains de blé, composition et utilisation. INRA. Paris. 308p.

Florence Suma P, Urooj A, Asha MR, Rajiv J. (2014) Sensory, Physical and Nutritional Qualities of Cookies Prepared from Pearl Millet (*Pennisetum Typhoideum*). *J Food Process Technol* 5: 377. doi:10.4172/2157-7110.1000377.

Fourar R. (2005). Cours technologie des céréales, spécialité science alimentaire, département d’agronomie Université Blida.

Gallagher E, Gormley R, Arendt T.R. (2004 a). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science & Technology*, 15 : 143 – 152.

Gallagher E. (2008). Formulation and nutritional aspects of gluten-free cereal products and infant foods. In *Gluten Free Cereal Products And Beverages*, ARDENT E.K. & FABIO DAL BELLO. First Edition, Academic press, Elsevier, pp 321-341.

Gupta A. (2009). Functional dissection of the catalytic carboxyl-terminal domain of origin recognition complex subunit 1 (PfORC1) of the human malaria parasite *Plasmodium falciparum*. *Eukaryot Cell* 8(9):1341-51

Hadimani N, Ali S Malleshi N. (1995). Physico-chemical composition and processing characteristics of pearl millet varieties. *Journal of Food Science and Technology*. 32, 193-198.

Halilou M, Appl J. (2018). Gestion intégrée des foreurs de tiges du mil à Maradi, Niger.

Hamadou B.H. (2015). Evaluation de trois méthodes de lutte contre le mildiou du mil (*Sclerospora graminicola*): variété, densité et traitement. Mémoire, Université Dan Dicko Dankoulodo De Maradi (UDDM), Maradi ; p. 69.

Hamadou M, Idrissa S, Mahamadou C, Oumarou S, Valentin K. (2017). Potentialités fourragères du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br) : Revue de littérature. Journal of Animal & Plant Sciences, 34(2): 5424-5447. <http://www.m.elewa.org/JAPS>

Hanane S. (2013). Le pouvoir antioxydant des polyphénols de l'espèce *Pennisetum glaucum* (millet) du sud de l'Algérie, Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen, Algérie.

Hegde P.S, Rajasekaran N.S, Chandra T. (2005). Effets des propriétés antioxydantes des espèces de millet sur le stress oxydatif et l'état glycémique chez les rats induits par l'alloxan. Nutrition Research, 25(12), 1109-1120.

Hervé G., Pelissier J.P, Grappin R. (1986). Méthodes de dosage des protéines du lait de vache. Le Lait, INRA Editions, 66 (2), pp.143-175. fahal-00929062f

Hervé G. (1986). Distinct roles of endoplasmic reticulum cytochrome b5 and fused cytochrome b5-like domain for rat 6-desaturase activity

Hoffmann A., Sanson R.M.M. (2017). Pearl millet grain for beef cattle in croplivestock integration system: Intake and digestibility. Semina: Ciências Agrarias, 38(3), 1461–1472.

Hotz, C., Gibson R.S. (2007). Traditional food-processing and preparation practices to enhance the bioavailability of micronutrients in plants-based diets. Journal of Nutrition, 137, 1097– 1100.

IBPGR, ICRISAT. (1993). Descripteurs du mil pénicillaires [*Pennisetum glaucum* (L) R. Br]. Conseil international des ressources phytogénétiques, Rome, Italie; Institut International de Recherches sur les Culture des Zones Tropicales Semi-arides, Patancheru, Inde ; p. 49.

ICRISAT, Annual Report 2012. (2013). International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. Patancheru, Andhra Pradesh, India: 40 pp. ISSN 1017-9933

Ihediohanma, N.C. (2011). Determination of the glycemic indices of three different cassava granules (garri) and the effect of fermentation period on their glycemic responses. Pakistan Journal of Nutrition, 10, 6– 9.

Illiassou Y. (2009). Evaluation de l'effet de l'application périodique de l'urine hygiénisées sur la culture de mil (*Pennisetum glaucum*). Mémoire, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niamey ; p. 39.

Irén L. (2004). Sorghum and Millets, in Cultivated Plants, Primarily as Food Sources, [Ed. György Füleký]. In "Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)". UNESCO, Oxford, U.K.

Jayaraman K. (2002). Natural 'golden millet' rivals 'golden rice'. Science and Development Network (SciDevNet).

Kahajdova Z., Karovicova J. (2007). Fermentation of cereals for specific purpose. Journal of Food and Nutrition Research, 46, 51– 57.

Kendra I.K., (2020) Nutrient analysis and acceptability of different ratio pearl millet (*Pennisetum glaucum*) based biscuits, Indian Journal of Agricultural Sciences 90 (2): 428–30, ujwa, delhi 110 073, India.

Khelfallah A. (2013). Etude comparative du contenu phénolique et du pouvoir antioxydant de quelques plantes médicinales et des céréales alimentaires. Thèse de magister. Université Constantine

Kiger J.L., Kiger J.G. (1967) Techniques modernes de la biscuiterie, pâtisserie-boulangerie industrielles et artisanales et des produits de régime. Dunod. Tome 1. Paris. 696 p.

Kocer D., Hicsasmaz Z, Bayindirli A., Katnas S. (2007) Bubble and pore formation of the high-ratio cake formulation with polydextrose as a sugar-and fat-replacer. Journal of Food Engineering. 78 : 953-964.

Kramer R.A, Richter D.D, Pattanayak S, Sharma N.P. (1997). Ecological and economic analysis of watershed protection in Eastern Madagascar. Journal of Environmental Management 49: 277–295. DO

Kulthe, A.A., Thorat, S.S., Khapre, A.P. (2018) Nutritional and sensory characteristics of cookies prepared from pearl millet flour. TPI 2018

Kumar V., Sinha A. K., Makkar H. P. S., Becker K. (2010). Dietary roles of phytate and phytase in human nutrition: A review. Food Chemistry, 120, 945– 959.

Li Y. (2007) An enzyme-coupled assay for amidotransferase activity of glucosamine-6-phosphate synthase. Anal Biochem 370(2):142-6

Li S., Tayie F.A.K., Young M.F., Rocheford T., White W.S. (2007). Retention of provitamin A carotenoids in high β -carotene maize (*Zea mays*) during traditional African household processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 10744– 10750.

Loumerem M. (2004). Etude de la variabilité des populations de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) cultivé dans les régions arides tunisiennes et sélection de variétés plus performantes. Thèse, Université de Gen, Gen, p. 266.

Maache-Rezzoug Z., Bouvier J.M., Allaf K. Patras C. (1998a). Effect of Principal Ingredients on Rheological Behaviour of Biscuit Dough and on Quality of Biscuits. *Journal of Food Engineering*. 35 : 23-42.

Maache-Rezzoug Z., Bouvier J.M., Patras C. Allaf K. (1998 b). Study of mixing in Connection with the Rheological Properties of Biscuit Dough and Dimensional Characteristics of Biscuits. *Journal of Food Engineering*. 35 : 43-56.

Macheix J.J., Fleuriet A., Billot J. (1990).- Fruit phenolics. Boca Raton, 378p
Mani UV, Prabhu BM, Damle SS and Mani I: 1993. Glycemic Index of some commonly consumed foods in Western India. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 2, 111-114.

Manoharr. S., Rao P.H. (2002) Interrelationship between rheological characteristics of dough and quality of biscuits ; use of elastic recovery of dough to predict biscuit quality. *Food Research International*. 35 : 807-813.

Mathlouthi M.C. Roge B. (2003) Les produits de biscuiterie - pâtisserie. Dossier CDUS. Université de Reims. (consulté le 13-03-2006). 5 p.

Menard G., Emond S., Segin R., Bolduc R, Boudreau A., Marcous D, Painchaud M. et Poirier D. (1992) Le blé : éléments fondamentaux et transformation. Les presses de l'université Laval. Sainte-Foy. Canada : 287- 348. 439 p.

Mohtadji-Lamballais C. (1989). Les aliments. Editions Maloine. Paris. 203 p.

Mokrane H. (2010). Valorisation des matières protéiques de céréales locales : sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) et mil perlé (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br). Ecole nationale polytechnique (El-Harrach- Alger)2010.

Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity

Moumouni K.H. (2014). Construction d'une carte génétique pour le mil, *Pennisetum glaucum* (L.) R.Br, par une approche de génotypage par séquençage (GBS). Mémoire, Université de Laval de Québec, Québec, p. 111.

Nani A., Brixi-Gormat N., Bendimred-Hmimed S., Benammar C., Belarbi M. (2012). Étude de l'impact du millet (*Pennisetum glaucum*) sur le métabolisme glucidique et lipidique chez le rat diabétique. *Pharmacologie fondamentale et clinique*, 26, 53.

Netto D.A.M., Durães F.O.M. (2005). Milheto: Tecnologias de produção e agronegócio (1th ed.). Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Ngoh N. (2005). Processing and food uses of bananas and plantains in Cameroon. 2005

NIN. (2003). Nutritive value of Indian Foods, Ed Gopalan and Deosthale. (N. I. o. Nutrition, ed.). NIN, Hyderabad. www.trove.nla.gov.au/work/17516887 Okpara DA and Omaliko CPE: 1995. Forage

Omemu A.M. (2011). Fermentation dynamics during production of ogi, a Nigerian fermented cereal porridge. *Report and Opinion*, 3, 8– 17.

Onweluzo, J.C., Nwabugwu C.C. (2009). Fermentation of millet (*Pennisetum americanum*) and pigeon pea (*Cajanus cajan*) seeds for flour production: Effects on composition and selected functional properties. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8, 737-744. ex

Osman M.A. (2004). Changes in sorghum enzyme inhibitors, phytic acid, tannins and in vitro protein digestibility occurring during Khamir (local bread) fermentation. *Food Chemistry*, 88, 129– 134.

Osman M.A. (2011). Effect of traditional fermentation process on the nutrient and antinutrient contents of pearl millet during preparation of Lohoh. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 10, 1– 6.

Ostman E.M., Granfeldt Y., Persson L., Bjorck I.M.E. (2005). Vinegar supplementation lowers glucose and insulin responses and increases satiety after a bread meal in healthy subjects. *European Journal of Clinical Nutrition*, 59, 983– 988.

Ostman E.M., Nilsson M., Liljeberg-Elmstah H.G.M., Molin G., Bjorck, I.M.E. (2002). On the effect of lactic acid on blood glucose and insulin responses to cereal products: Mechanistic studies in healthy subjects and in vitro. *Journal of Cereal Science*, 36, 339– 346.

Partenaires de l'OMS et de l'ONU (2015). Statistiques par pays et estimations de la santé mondiale. Organisation mondiale de la santé. <http://www.who.int/gho/countries/bra.pdf/> ; <http://www.who.int/gho/countries/ind/en/> Consulté le 14.07.17.

Pranoto, Y., Anggrahini S., Efendi Z. (2013). Effect of natural and *Lactobacillus plantarum* fermentation on invitro protein and starch digestibilities of sorghum flours. *Food Bioscience*, 2, 46– 52.

Rachie K.A. (1975). Introduction. In: Rachie KA. Millets: Importance, Utilization and Outlook. Hyderabad (Andhra Pradesh). International Crop Research Institute for Semi-Arid crops.1, 2-4.

Ramulu P, Rao P.U (2003). Total, insoluble and soluble dietary fiber contents of Indian fruits. Journal of Food Composition and Analysis 16, 677-685.

Rathi A., Kawatra A, Sehgal S., Housewright B. (2004). Influence of depigmentation of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) on sensory attributes, nutrient composition and in vitro digestibility of biscuits. Lebensm. Wiss. Technol. 2004 ; 37:187-192

Ribéreau G., (1972). ÉVOLUTION DES COMPOSÉS PHÉNOLIQUES AU COURS DE LA MATURATION DU RAISIN

Revue Nature et Technologie (RNT). (2009). La production céréalière en Algérie. n°01 Juin 2009.

Réseau Ouest et Centre Africain de Recherche sur le Mil (Rocafremi). (2002). Sélection et Mise à Disposition des Paysans de Variétés et de Semences Appropriées. Des Résultats du Projet P1 : 1991-1996.

Rooney L., McDonough C. (1987). Food quality and consumer acceptance of pearl millet. In "International Pearl Millet Workshop, Patancheru, AP (India), 7-11 Apr 1986". ICRISAT.

Sade F.O. (2009). Proximate, antinutritional factors and functional properties of processed pearl millet (*Pennisetum glaucum*). Journal of Food Technology, 7(3), 92-97.

Serna-Saldivar S.O., Rooney L. (1995) Structure and chemistry of sorghum and millets, in Sorghum and Millets: Chemistry and Technology (ed. D.A.V. Dendy), American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, pp. 69–124.

Shan S., Li Z., Guo S., Li Z., Shi T., Shi J. (2014). Une peroxydase dérivée du son de millet inhibe la migration cellulaire en antagonisant la transition épithélio-mésenchymateuse à médiation STAT3 dans le cancer du côlon humain. Journal of Functional Foods, 10, 444-455.

Shan, S., Shi J., Li Z., Gao H., Shi T., Li Z., Li Z. (2015). Les activités anticancéreuses ciblées d'une peroxydase dérivée du son de millet ont été médiatisées par une production élevée de ROS. Food & function, 6(7), 2331-2338.

Soler C.M.T., Maman N., Zhang X., Mason S.C., Hoogenboom G. (2008). Determining optimum planting dates for pearl millet for two contrasting environments using a modelling approach. Journal of Agricultural Science, 146: 445-459. DOI: 10.1017/S0021859607007617

institut de recherche pour le developpement (IRD). (2009). Differentiation of the regioisomeric 2-, 3-, and 4-trifluoromethylphenylpiperazines (TFMPP)

Soumana I. (2001). Bilan diagnostic sur la production du mil et du Sorgho au Niger. Initiative pour le développement des mils et sorghos en Afrique de l'Ouest et du Centre: Un pilotage par l'aval", www.hubrural.org/IMG/pdf/mil-sorgho-niger.pdf

Srikanth S., Chen Z. (2016). Plant Protease Inhibitors in Therapeutics-Focus on Cancer Therapy. *Frontiers in Pharmacology*, 7.

STAUFFER C.E. (1998). Fats and oils in bakery products. *Cereal Foods World*. 43,3 : 120-126.

Tamang, J.P. (2010). Diversity of Fermented Foods. In *Fermented foods and beverages of the world*. 448. CRC Press/Taylor & Francis, Boca Raton, USA.

Taylor J.R.N. (2004). Millet: pearl. *Encyclopedia of Grain Science*, 2(1), 253-261.

Taylor J.R.N., Emmambux M.N. (2008). Products containing other speciality grains: sorghum, the millets and pseudocereals. Pages 281-335 in: *Technology of Functional Cereal Products*. B.R Hamaker, ed. Woodhead Publishing: Cambridge, England

Tharrault J. F. (1997). Qualité biscuitière des farines de blé tender: des blés biscuitiers pour une bonne maîtrise de la texture des biscuits. In, GODON B. et LOISEL W. *Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales*. Lavoisier. Tec. et doc. Paris. 819 p.

Torre M., Rodriquez R., Saura-Calixto F. (1991). Effects of dietary fiber and phytic acid on mineral availability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 30, 1– 22.

Tribunal Pénal International (TPI) (2018). prepared from pearl millet flour.; 7(4) : 908-913

Van Rensburg S. J. (1981). Preuves épidémiologiques et alimentaires d'une prédisposition nutritionnelle spécifique au cancer de l'œsophage. *Journal of the National Cancer Institute*, 67(2), 243-251

Annexes :

Annexe I

La NBC

La Nouvelle Biscuiterie de Cherchell est une entreprise algérienne qui fabrique des biscuits.

La NBC était une société publique lancée en 1974 par la SN SEMPAC et dont l'usine de 75000 m² a été inaugurée en 1982. En 1984 la société est transférée au groupe public ERIAD Alger. En 2001, dans le cadre de la restructuration des sociétés publiques, elle fera partie de la SGP CEGRO, une société de gestion des participations publiques regroupant des entreprises du secteur des céréales. En 2004, l'entreprise est privatisée au profit du groupe agroalimentaire Flashe Algérie. En février 2005 l'acquéreur s'associe au groupe turc qui achète 8 % des actions. Entre 2009 et 2010, des investissements sont faits dans la modernisation de l'usine qui se lance sous la marque Saveurs de Cherchell dans une diversification pour fabriquer des boissons, des flans et des soupes.

L'usine est constituée de :

Administration, unité de fabrication, station de pompage d'eau, chaudière ...etc.

C'est une entreprise de production de large gamme de biscuits de toute formes de différents goûts, il y a plusieurs lignes qui définissent produits dans cette Biscuiterie :

Ligne 1 et 3 : Biscuit de Cherchell.

Ligne 2 : Biscuit de Shoot.

Ligne 4 : Biscuit FENky.

Ligne 5 : Pain de guerre.

Ligne 6 : Biscuit Truta.

Annexe II

Le LCQ

Le LCQ est un laboratoire de contrôle qualité situé à Kolea, le laboratoire est autorisé par décision du ministre du commerce **N°346 du 12/03/2000** actualisé après changement d'adresse **N°164 du 23/06/2010**

Annexe III

Le laboratoire PFE est un laboratoire de projet de fin d'étude de l'université Saad DAHLAB, Faculté Science de la Nature et de la Vie, Blida 1. Il est réservé à l'étudiant pour la réalisation des analyses physicochimique.

Annexe IV

Matériels utilisés

Matériels utilisés pour la réalisation des biscuits :

Laboratoire de la Biscuiterie De Cherchell :

- Dessiccateur.
- Pétrin.
- Four.
- Spatule.
- Plateau.
- Balance de précision.
- Broyeur.

Laboratoire P.F.E :

- Bécher.
- Tube à essai.
- Support de tube à essai.
- Spectrophotomètre.
- Micropipette.
- Entonnoir.
- Ballon à fond plat.
- Balance de précision électrique.
- Etuve.
- Papier absorbant.

Annexe V

Tableau i : Moyennes et score totale des notes attribuées aux 4 type de biscuits par des personnes spécialisés dans le secteur agroalimentaire.

Critères Jugés	Aspect	Intensité de couleur	Odeur	Gout	Texture	Arrière- gout
Juge 1	Bb: 7 Bbc: 5 Bm: 7 Bmf: 7	Bb: 8 Bbc: 5 Bm: 7 Bmf: 7	Bb: 9 Bbc: 8 Bm: 8 Bmf: 4	Bb: 6 Bbc: 7 Bm: 7 Bmf: 3	Bb: 8 Bbc: 6 Bm: 5 Bmf: 4	Bb: 8 Bbc: 7 Bm: 5 Bmf: 2
Juge 2	Bb: 8 Bbc: 8 Bm: 5 Bmf: 8	Bb: 8 Bbc: 8 Bm: 6 Bmf: 8	Bb: 8 Bbc: 8 Bm: 3 Bmf: 8	Bb: 5 Bbc: 5 Bm: 2 Bmf: 7	Bb: 4 Bbc: 4 Bm: 2 Bmf: 8	Bb: 3 Bbc: 3 Bm: 2 Bmf: 7
Juge 3	Bb: 7 Bbc: 6 Bm: 7 Bmf: 7	Bb: 8 Bbc: 6 Bm: 7 Bmf: 7	Bb: 9 Bbc: 9 Bm: 8 Bmf: 7	Bb: 9 Bbc: 9 Bm: 7 Bmf: 4	Bb: 8 Bbc: 7 Bm: 6 Bmf: 6	Bb: 8 Bbc: 8 Bm: 7 Bmf: 2
Juge 4	Bb: 8 Bbc: 8 Bm: 7 Bmf: 7	Bb: 7 Bbc: 7 Bm: 7 Bmf: 7	Bb: 9 Bbc: 9 Bm: 8 Bmf: 7	Bb: 7 Bbc: 9 Bm: 8 Bmf: 6	Bb: 7 Bbc: 6 Bm: 5 Bmf: 5	Bb: 8 Bbc: 8 Bm: 7 Bmf: 4
Juge 5	Bb: 7 Bbc: 6 Bm: 7 Bmf: 7	Bb: 7 Bbc: 6 Bm: 7 Bmf: 7	Bb: 9 Bbc: 9 Bm: 9 Bmf: 6	Bb: 8 Bbc: 9 Bm: 8 Bmf: 6	Bb: 8 Bbc: 6 Bm: 5 Bmf: 5	Bb: 8 Bbc: 8 Bm: 7 Bmf: 4
Moyennes	Bb: 7,4 Bbc: 6,6 Bm: 6,6 Bmf: 7,2	Bb: 7,6 Bbc: 6,4 Bm: 6,8 Bmf: 7,2	Bb: 8,8 Bbc: 8,6 Bm: 7,2 Bmf: 6,4	Bb: 7 Bbc: 7,8 Bm: 6,4 Bmf: 5,2	Bb: 7 Bbc: 5,8 Bm: 4,6 Bmf: 5,6	Bb: 7 Bbc: 6,8 Bm: 5,6 Bmf: 3,8
Score totale	Bb: 44,8 Bbc: 42 Bm: 37,2 Bmf: 35,4					

Tableau ii : Moyennes et score totale des notes attribuées aux 4 type de biscuits par des personnes qui ne suivent aucun régime alimentaire.

Critères Jurés	Aspect	Intensité de couleur	Odeur	Gout	Texture	Arrière- gout
Juré 1	Bb:9 Bbc:5 Bm:8 Bmf:5	Bb: 8 Bbc: 8 Bm: 6 Bmf: 8	Bb: 8 Bbc: 3 Bm: 8 Bmf: 8	Bb: 7 Bbc: 6 Bm: 5 Bmf: 2	Bb: 8 Bbc: 6 Bm: 4 Bmf: 2	Bb: 8 Bbc: 6 Bm: 3 Bmf: 2
Juré 2	Bb: 8 Bbc: 5 Bm: 7 Bmf: 7	Bb: 8 Bbc: 5 Bm: 4 Bmf: 4	Bb: 9 Bbc: 9 Bm: 8 Bmf: 6	Bb: 9 Bbc: 9 Bm: 7 Bmf: 4	Bb: 9 Bbc: 8 Bm: 5 Bmf: 5	Bb: 9 Bbc: 8 Bm: 7 Bmf: 2
Juré 3	Bb: 8 Bbc: 8 Bm: 4 Bmf: 4	Bb: 8 Bbc: 7 Bm: 5 Bmf: 5	Bb: 8 Bbc: 8 Bm: 7 Bmf: 7	Bb: 8 Bbc: 7 Bm: 6 Bmf: 4	Bb: 8 Bbc: 6 Bm: 4 Bmf: 4	Bb: 8 Bbc: 8 Bm: 7 Bmf: 2
Juré 4	Bb: 7 Bbc: 6 Bm: 8 Bmf: 8	Bb: 6 Bbc: 5 Bm: 7 Bmf: 7	Bb: 8 Bbc: 8 Bm: 8 Bmf: 8	Bb: 7 Bbc: 7 Bm: 8 Bmf: 7	Bb: 8 Bbc: 7 Bm: 7 Bmf: 7	Bb: 8 Bbc: 7 Bm: 7 Bmf: 6
Juré 5	Bb: 7 Bbc: 5 Bm: 7 Bmf: 7	Bb: 7 Bbc: 6 Bm: 8 Bmf: 8	Bb: 8 Bbc: 9 Bm: 7 Bmf: 7	Bb: 7 Bbc: 9 Bm: 8 Bmf: 6	Bb: 9 Bbc: 6 Bm: 5 Bmf: 5	Bb: 8 Bbc: 9 Bm: 8 Bmf: 3
Moyennes	Bb: 7,8 Bbc: 5,8 Bm: 6,8 Bmf: 6,2	Bb: 7,4 Bbc: 6,2 Bm: 6 Bmf: 6,4	Bb: 8,2 Bbc: 7,4 Bm: 7,6 Bmf: 7,2	Bb: 7,6 Bbc: 7,6 Bm: 6,8 Bmf: 4,6	Bb: 8,4 Bbc: 6,6 Bm: 5 Bmf: 4,6	Bb: 8,2 Bbc: 7,6 Bm: 6,4 Bmf: 3
Score totale	Bb: 47,6 Bbc: 41,2 Bm: 38,6 Bmf: 32					

Tableau iii : Moyennes est score totale des notes attribuées aux biscuits de millet fermenté et non fermenté par des personnes ayant de maladie cœliaque.

Critères Jugés	Aspect	Intensité de couleur	Odeur	Gout	Texture	Arrière- gout
Jugé 1	Bm:3 Bmf:3	Bm:4 Bmf:4	Bm:4,5 Bmf:4	Bm:4,5 Bmf:3	Bm:4 Bmf:3,5	Bm:3,5 Bmf:2,5
Jugé 2	Bm:3 Bmf:3	Bm:3,5 Bmf:3	Bm:4,5 Bmf:4	Bm:4,5 Bmf:4	Bm:4 Bmf:4	Bm:4 Bmf:3
Jugé 3	Bm:4 Bmf:4	Bm:4,5 Bmf:4,5	Bm:5 Bmf:5	Bm:5 Bmf:5	Bm:4,5 Bmf:4,5	Bm:4,5 Bmf:3,5
Jugé 4	Bm:3 Bmf:3	Bm:4,5 Bmf:4,5	Bm:4,5 Bmf:4,5	Bm:4,5 Bmf:4	Bm:4 Bmf:4	Bm:4 Bmf:3
Moyennes	Bm:3,25 Bmf:3,25	Bm:4,12 Bmf:4	Bm:4,62 Bmf:4,37	Bm:4,62 Bmf:4	Bm:4,12 Bmf:4	Bm:4 Bmf:3
Score totale	Bm:24,73 Bmf:22,62					