



Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem  
**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**



**DEPARTEMENT DES SCIENCES ALIMENTAIRES**  
**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

**Présenté par**  
**AFGHOUL Nadia et CHOUARFIA Hasnia**

Pour l'obtention du diplôme de  
**MASTER EN SCIENCES ALIMENTAIRES**  
**Spécialité : Nutrition et Pathologie**

**THEME**

Biscuits nutritifs à base de fruits riches en vitamines « C », de  
farines sans gluten et de probiotiques.

**SOUTENUE LE 07/07/2025**

**Devant le Jury**

<b>Présidente</b>	<b>Mme KOUADRI BOUDJELTHIA N MCB</b>	<b>U. Mostaganem</b>
<b>Directrice</b>	<b>Mme ZIAR Hasnia</b>	<b>Professeur U. Mostaganem</b>
<b>Co-directrice</b>	<b>Mme KEDDAR Kawtar</b>	<b>Docteur U. Mostaganem</b>
<b>Examineur</b>	<b>Mme BELMOKHTAR F</b>	<b>MCA U. Mostaganem</b>

**Année universitaire : 2024/ 2025**

## **Dédicaces**

*À celui dont la sueur couvrait le front et qui m'a appris que le succès ne vient qu'avec la patience et les secrets, à la lumière qui a éclairé mon chemin et à celle qui ne s'éteindra jamais dans mon cœur, à celui qui a tant donné et qui est si précieux, à celui dont je porte le nom avec fierté et dont je tire ma force et mon estime de soi, mon cher père.*

*À celle qui a mis le paradis sous ses pieds et facilité l'adversité par ses prières, à celle qui m'a enseigné la morale avant que je ne l'apprenne, à la grande personne dont les yeux ont toujours souhaité me voir un jour comme celui-ci, ma chère et bien-aimée mère.*

*À ceux à qui Dieu a donné la bénédiction de leur présence, à ma côte stable, à l'espoir de mes jours, à la source de ma force, à ma terre ferme, au mur solide de mon cœur et à la prunelle de mes yeux, mes précieux frères et sœurs.*

*À ceux qui m'ont accompagné avec le cœur avant le chemin, à mes amis et compagnons, à tous ceux qui ont été une aide et un soutien sur ce chemin, à ceux qui m'ont aidé dans les moments d'adversité et de crise, à ceux qui m'ont prodigué leurs sentiments et leurs conseils sincères, et à ceux qui m'ont donné leurs sentiments et leurs conseils sincères.*

*A vous, ma famille, je dédie cette réalisation et le fruit de mon succès, que j'ai toujours espéré, me voici aujourd'hui, j'en ai achevé et accompli les premiers fruits par la grâce d'Allah, Louange à Allah pour ce qu'Il m'a donné et faites de moi une bénédiction et aidez-moi où que je sois, qui dit que je l'ai, je l'ai, et si je m'en éloigne, je viens avec, merci, amour et gratitude pour le début et la conclusion et le dernier appel est que je loue Allah, le Seigneur des mondes.*

*AFGHOUL Nadia*

## ***Dédicaces***

*Je dédie ce travail, fruit d'années d'efforts et de persévérance :*

*À ma chère mère, que Dieu ait pitié de son âme et lui accorde une place dans ses Vastes jardins. Son amour, ses prières et ses sacrifices m'accompagnent.*

*À mon père (Ahmed) et à sa femme, qui est comme une seconde mère pour moi, Pour leur générosité, leurs conseils et leur soutien constant.*

*À mes frères et sœurs (Amel, Charef, Mansour, Khaira, Adda), pour leur gentillesse et leurs encouragements constants.*

*À ma tante, Fatiha, pour sa compassion et son soutien chaleureux tout au long de ce parcours.*

*À mes fidèles amis et compagnons, pour leur patience, leur sollicitude et leurs Encouragements sincères.*

*À tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à mon développement personnel et académique.*

*Que Dieu les récompense tous.*

*Merci du fond du cœur*

*CHOUARFIA Hasina*

## Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre de notre mémoire de fin d'études, portant sur le thème : Biscuits nutritifs à base de fruits riches en vitamines « C », de farines sans gluten et de probiotiques, a été réalisé au sein du Laboratoire des Micro-organismes Bénéfiques, des Aliments Fonctionnels et de la Santé (LMBAFS) de l'Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre directrice de mémoire, Pr. Hasnia ZIAR, pour sa confiance, son accompagnement scientifique rigoureux, sa bienveillance et ses conseils précieux tout au long de ce travail. Son expertise et sa disponibilité ont grandement contribué à l'aboutissement de ce projet.

Nos sincères remerciements vont également à notre co-directrice, Dr. KEDDAR, pour son encadrement attentif, ses orientations pertinentes et son soutien tout au long de cette étude. Son aide a été précieuse à chaque étape de ce travail.

Nous tenons à remercier le MCB KOUADRI BOUDJELTHIA Nassima de l'université de Mostaganem pour avoir accepté de présider le jury. Je suis honorée par sa présence

Nous tenons également à remercier MCA BELMOKHTAR Faiza à l'université de Mostaganem, pour avoir accepté d'examiner ce modeste travail.

Nous remercions également l'ensemble de l'équipe du laboratoire LMBAFS pour leur accueil, leur aide technique, ainsi que pour l'ambiance de travail agréable.

Enfin, nous adressons nos remerciements à tous ceux qui nous ont soutenus, de près ou de loin, dans la réalisation de ce mémoire : nos enseignants, camarades, amis et familles.

## Résumé

Dans un contexte de recherche croissante d'aliments fonctionnels adaptés aux besoins nutritionnels actuels, ce travail s'est intéressé à la valorisation de la farine de teff (*Eragrostis tef*), un ingrédient sans gluten riche en éléments nutritifs, pour le développement de cookies nutritifs à base de fruits et de légumes riches en vitamine C, de farines sans gluten et de probiotiques.

La première partie du mémoire est consacrée à l'analyse de la farine de teff. Cette farine se distingue par sa haute teneur en fibres alimentaires, en protéines de bonne qualité, ainsi qu'en minéraux essentiels tels que le fer, le calcium, le magnésium et le zinc. Elle est également naturellement exempte de gluten, ce qui la rend adaptée aux régimes des personnes atteintes de la maladie cœliaque. Une analyse physico-chimique approfondie a été réalisée pour évaluer sa composition nutritionnelle ainsi que ses propriétés fonctionnelles (capacité de rétention d'eau, texture, granulométrie), essentielles à la panification et à la pâtisserie. La seconde partie de l'étude porte sur la formulation et la préparation de cookies enrichis à la farine de teff. Différentes recettes ont été développées en combinant la farine de teff avec un fruit riche en vitamine C (l'orange) et un légume également riche en vitamine C (la citrouille), ainsi qu'avec l'ajout de souches probiotiques SL42. L'impact de ces ingrédients sur la qualité nutritionnelle et sensorielle des cookies a été évalué à travers des analyses en laboratoire (teneurs en vitamines, minéraux, fibres, protéines, viabilité des probiotiques) et des tests sensoriels auprès d'un panel de dégustateurs.

Les résultats obtenus montrent que les cookies à base de farine de teff présentent une meilleure densité nutritionnelle, une teneur accrue en fibres et en minéraux, ainsi qu'une bonne acceptabilité sensorielle. La présence de vitamine C et de probiotiques a permis d'enrichir le produit tout en maintenant des caractéristiques organoleptiques favorables.

Cette étude démontre que l'utilisation de la farine de teff, combinée à des ingrédients fonctionnels, permet de produire des biscuits innovants, sains et adaptés à une alimentation moderne et équilibrée

**Mots clefs :** Teff, farine sans gluten, cookies diététiques, vitamine C, Probiotique.

## Abstract

Against a backdrop of increasing research into functional foods adapted to today's nutritional needs, this work focused on the valorization of teff flour (*Eragrostis teff*), a nutrient-rich gluten-free ingredient, for the development of nutritious cookies based on vitamin C-rich fruits and vegetables, gluten-free flours and probiotics.

The first part of the thesis is devoted to the analysis of teff flour. This flour is distinguished by its high content of dietary fiber, high-quality protein and essential minerals such as iron, calcium, magnesium and zinc. It is also naturally gluten-free, making it suitable for the diets of people with celiac disease. An in-depth physico-chemical analysis was carried out to assess its nutritional composition as well as its functional properties (water retention capacity, texture, granulometry), essential for bread-making and pastry-making. The second part of the study concerns the formulation and preparation of cookies enriched with teff flour. Different recipes were developed by combining teff flour with a vitamin C-rich fruit (orange) and a vitamin C-rich vegetable (pumpkin), as well as with the addition of SL42 probiotic strains. The impact of these ingredients on the nutritional and sensory quality of the cookies was assessed through laboratory analyses (vitamin, mineral, fiber and protein content, probiotic viability) and sensory tests with a panel of tasters.

The results show that cookies made with teff flour have better nutritional density, increased fiber and mineral content, and good sensory acceptability. The presence of vitamin C and probiotics enriched the product while maintaining favorable organoleptic characteristics.

This study shows that the use of teff flour, combined with functional ingredients, makes it possible to produce innovative, healthy cookies suited to a modern, balanced diet.

**Keywords:** Teff, gluten-free flour, dietary cookies, vitamin C, probiotic.

## ملخص

على خلفية تزايد البحوث في مجال الأغذية الوظيفية التي تتكيف مع الاحتياجات الغذائية الحالية، بحث هذا العمل في قيمة دقيق التيف (Eragrostis teff) ، وهو مكون خالٍ من الغلوتين وغني بالمواد المغذية، لتطوير الكعك المغذي القائم على الفاكهة والخضروات الغنية بفيتامين C ، والدقيق الخالي من الغلوتين والبروبيوتيك.

الجزء الأول من الأطروحة مخصص لتحليل دقيق التيف. يتميز هذا الدقيق باحتوائه على نسبة عالية من الألياف الغذائية والبروتين عالي الجودة والمعادن الأساسية مثل الحديد والكالسيوم والمغنيسيوم والزنك. كما أنه خالٍ من الغلوتين بشكل طبيعي، مما يجعله مناسبًا للأشخاص الذين يعانون من مرض الاضطرابات الهضمية. تم إجراء تحليل فيزيائي كيميائي متعمق لتقييم تركيبته الغذائية وكذلك خصائصه الوظيفية (القدرة على الاحتفاظ بالماء، والقوام، وقياس الحبيبات)، وهي ضرورية لصنع الخبز والمعجنات. ركز الجزء الثاني من الدراسة على صياغة وتحضير البسكويت المدعم بدقيق التيف. وقد تم تطوير وصفات مختلفة من خلال الجمع بين دقيق التيف مع فاكهة غنية بفيتامين C (البرتقال) وخضروات غنية أيضًا بفيتامين C (البقطين)، ومع إضافة سلالات البروبيوتيك SL42. تم تقييم تأثير هذه المكونات على الجودة الغذائية والحسية للبسكويت من خلال التحاليل المخبرية (محتوى الفيتامينات والمعادن والألياف والبروتينات، وصلاحية البروبيوتيك) والاختبارات الحسية مع لجنة من المتذوقين.

أظهرت النتائج أن البسكويت المصنوع من دقيق التيف يتمتع بكثافة غذائية أعلى، وزيادة في الألياف والمحتوى المعدني، بالإضافة إلى قبول حسي جيد. وقد أدى وجود فيتامين C والبروبيوتيك إلى إثراء المنتج مع الحفاظ على خصائصه الحسية المواتية. تُظهر هذه الدراسة أن استخدام دقيق التيف مع المكونات الوظيفية يجعل من الممكن إنتاج بسكويت مبتكر وصحي يتناسب مع نظام غذائي حديث ومتوازن.

**الكلمات المفتاحية:** تيف، بسكويت دايت، بروبيوتيك، مضادات الأكسدة، فيتامين سي، دقيق خالٍ من الغلوتين.

## Liste des abréviations

---

### Liste des abréviations

.SL42 : Lacticaseibacillus rhamnosus

BD : Densité en vrac

WAI : Indice d'absorption d'eau

OAC : Capacité d'absorption de l'huile

CM : Capacité de moussage

.MRS : Man, Rogosa, Sharpe. Milieu utilisée pour la culture des Lactobacillus

MH : Mueller-Hinton. Un milieu standardisé pour l'étude de la sensibilité aux antibiotiques

## Liste des tableaux

---

### Liste des tableaux

Tableau 1 : composition nutritionnelle.....	26
Tableau 2: composition en protéines brutes et en acides aminés du teff comparée à celle du blé, du riz et du sorgho.....	33
Tableau 3 : teneur en vitamine c dans différents fruits et légumes.....	53
Tableau 4 : les souches pathogènes utilisé.....	75
Tableau 5 : teneur de macronutriment de teff.....	81
Tableau 6 : teneur de micronutriment de grains de teff.....	82
Tableau 7 : zones d'inhibition en (mm) des souches pathogènes.....	91
Tableau 8 : Paramètres physico-mécaniques des cookies formulés.....	92

Liste des figures

Figure 1 : Représentation des différentes parties de la plante de Teff.....	24
Figure 2: graine de teff.....	25
Figure 3: Plante de teff.....	31
Figure 4: les craquelins.....	38
Figure 5: diagramme de flux de processus typique pour le mélange et la fermentation des craquelins sont généralement des processus par lots, la formation, le support, le refroidissement sont des processus en ligne continue.....	39
Figure 6: biscuits mi- sucrés.....	40
Figure 7: diagramme de flux de processus pour les biscuits semi-sucrés typiques.....	41
Figure 8: biscuit à pâte brisée.....	42
Figure 9: diagramme de flux de processus pour les biscuits à pate courte typique.....	43
Figure 10: cookies.....	44
Figure 11 : diagramme de flux de processus pour les cookies.....	45
Figure 12: farine de teff.....	48
Figure 13 : emballage commercial de graines de teff –kg.....	63
Figure 14: diagramme d'extraction.....	72
Figure 15: diagramme de préparation de biscuits.....	77
Figure 16 : grains de teff.....	81
Figure 17 : diagramme en bâtons comparant la capacité d'absorption d'eau (WAI) et D'huile (OAC) de la farine de teff.....	84
Figure 18 : résultats d'évaluation de l'activité prébiotique. ....	86
Figure 19 : Extraction hydro-éthanolique.....	87
Figure 20 : diagramme en bâtons de teneur composé phénols totaux.....	88
Figure 21 : diagramme en bâtons de comparaison de l'activité antioxydant frappe entre L'acide ascorbique et l'extrait de la farine de teff.....	90
Figure 22: zones d'inhibition en (mm) des souches pathogènes.....	92

## Table des matières

---

### Table des matières

Remerciements

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Listes des figures

### INTRODUCTION

Introduction générale.....19

### PARTIE I : Synthèse Bibliographique

#### Chapitre I : La farines de teff

I.1 Présentation et origine de teff .....24

I.2 Composition nutritionnelle de teff .....25

I.2.1 Caractéristique nutritionnelle physiques du grain de teff .....25

I.2.2 Composition nutritionnelle et bienfaits pour la santé des grains de teff

.....26

*I.2.2.1 Protéine* .....27

*I.2.2.2 Fibres brutes* .....27

*I.2.2.3 Glucide* .....28

*I.2.2.4 Matières gras* .....28

*I.2.2.5 Micronutriment*.....28

I.3 Propriétés fonctionnelles de teff .....29

I.3.1 Propriétés biologiques du teff .....29

I.3.2 Caractéristiques probiotiques des produits à base de teff ferments et leurs  
potentiel prebiotique.....30

## Table des matières

---

I.4 Transformation du teff .....	30
I.5 Comparaison avec d'autres farines sans gluten.....	31
I.5.1 Riz.....	31
I.5.2 Sorgho (Sorghum bicolor) .....	32
I.5.3 Blé.....	32
I.5.4 Éléments essentiels dans les céréales.....	34
I.5.4.1 <i>Macronutriments dans les céréales</i> .....	34
I.5.4.2 <i>Micronutriments essentiels dans les céréales</i> .....	34
I.6 Bienfaits du teff et des produits à base de teff.....	34
I.6.1 Carence en fer.....	34
I.6.2 Maladie cœliaque.....	35
I.6.3 Maladie cœliaque.....	35

## Chapitre II : Technologies biscuitières

II.1 Application dans les technologies biscuitières.....	37
II.1.1 Histoire biscuits .....	37
II.1.2 Définition des biscuits.....	37
II.1.3 Catégories de biscuits.....	37
II.1.3.1 <i>Craquelins</i> .....	37
II.1.3.2 <i>Biscuits mi- sucrés</i> .....	40
II.1.3.3 <i>Pâte brisée : Biscuits moulés par rotation</i> .....	41
II.1.3.4 <i>Les cookies</i> .....	43
II.1.4 Généralités sur les cookies.....	45

## Table des matières

---

II.2	Importance des biscuits dans la consommation moderne .....	46
II.3	Composition classique des cookies .....	47
II.3.1	La farine de blé.....	47
II.3.2	Sucre .....	47
II.3.3	La matière grasse .....	47
II.3.4	Bicarbonate de sodium (NaHCO <sub>3</sub> ) .....	47
II.3.5	Sel .....	47
II.3.6	Des arômes .....	48
II.4	Composition moderne des cookies .....	48
II.4.1	Farine de teff .....	48
II.4.2	Citrouille.....	48
II.4.3	Orange .....	49
II.4.4	Maïs.....	49
II.5	Limitations nutritionnelles des cookies classiques .....	50
II.5.1	Teneur élevée en sucres ajoutés.....	50
II.5.2	Richesse en acides gras saturés et en gras trans .....	50
II.5.3	Utilisation de farines raffinées pauvres en fibres.....	50
II.5.4	Faible densité nutritionnelle .....	50
II.5.5	Additifs et agents conservateurs.....	50
II.6	La vitamine c dans les produits alimentaire .....	50
II.6.1	Définition de vitamine c .....	50
II.6.2	Rôle de vitamine c dans l'organisme .....	51
II.6.3	Sources alimentaires de vitamine c.....	51

## Table des matières

---

II.6.4 Techniques pour préserver la vitamine c dans les produits de boulangerie	54
II.7 Les probiotique et leur intégration dans les produits de panification	54
II.7.1 Définition et rôle des probiotique	54
II.7.2 Souches probiotique les plus utilisées	55
II.7.2.1 Les bactéries du genre <i>Lactobacillus</i>	55
II.7.2.2 Les bactéries du genre <i>Bifidobacterium</i>	56
II.7.2.3 <i>Streptococcus thermophilus</i>	56
II.7.2.4 <i>Lactocuccus lactis</i>	57
II.7.2.5 <i>Saccharomyces cerevisiae var boulandi</i>	57
II.7.2.6 <i>Lactobacillus salivarius S142</i>	58
II.8 Défis d'incorporation dans des matrices cuites	58
II.9 Technique de protection	58

## Partie II : La partie expérimentale

### Chapitre III : Matériels et méthodes

III.1 L'objectif	62
III.2 Présentation de site d'étude	62
III.3 Méthodologie	62
III.3.1 Matériels biologique	62
III.3.2 Matériel non biologique	63
III.4 Détermination de la composition globale	64

## Table des matières

---

III.4.1	Détermination Teneur en eau.....	64
III.4.2	Teneur en cendres.....	64
III.4.3	La teneur en protéines totales.....	65
III.4.4	La teneur en lipides totaux.....	66
III.5	Caractéristiques rhéologiques de la farine de Teff.....	67
III.5.1	Densité en vrac (BD).....	67
III.5.2	Indice d'absorption d'eau (WAI).....	67
III.5.3	Capacité d'absorption de l'huile (OAC) .....	67
III.5.4	Capacité de moussage .....	68
III.5.5	Rendement en gluten .....	68
III.5.6	Évaluation de l'activité prébiotique.....	68
III.5.7	Propriétés des farines et des amidons.....	69
III.6	Screening Phytochimique de la plante étudié.....	69
III.6.1	Test des polyphénols .....	69
III.6.2	Test des flavonoïdes .....	70
III.6.3	Test des tanins .....	70
III.6.4	Test des alcaloïdes .....	70
III.6.5	Test des saponosides .....	70
III.7	Détermination de contenu physico-chimique .....	71
III.7.1	Préparation de l'extrait .....	71
III.7.2	Détermination de contenu dosage des phénols et flavonoïdes .....	73
III.7.2.1	<i>Dosage de phénols</i> .....	73

## Table des matières

---

III.7.2.2	Dosage des flavonoïdes .....	73
III.8	Evaluation de l'activité antioxydants .....	73
III.8.1	Test de DPPH .....	73
III.8.2	Test de FRAP .....	74
III.9	Evaluation de l'activité antimicrobienne .....	75
III.10	Fabrication des biscuits .....	75
III.10.1	Préparation de la farine de teff .....	75
III.10.2	Préparation des cookies .....	76
III.10.3	Analyse de l'aspect et de la texture .....	78
III.10.4	Analyse sensorielle .....	78
III.10.5	Analyse statistique .....	79

### Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1	Caractéristiques physiques et composition nutritionnelle du grain de teff .....	81
IV.1.1	Caractéristiques physiques .....	81
IV.1.2	Composition nutritionnelle .....	81
IV.2	Résultats de caractéristiques rhéologiques de la farine de Teff .....	82
IV.2.1	Densité en vrac (BD) .....	83
IV.2.2	Indice d'absorption d'eau (WAI) et La capacité d'absorption d'huile (OAC) .....	84
IV.2.3	La capacité de moussage (CM) .....	85
IV.2.4	Le rendement en gluten .....	85

## Liste des tableaux

---

IV.2.5	Évaluation de l'activité prébiotique.....	85
IV.2.6	Propriétés des farines et des amidons et les autres composants.....	86
IV.3	Détermination du contenu physico-chimique.....	86
IV.3.1	Résultats de l'extraction.....	86
IV.3.2	Teneur de phénols.....	87
IV.3.3	Flavonoïde.....	88
IV.4	Evaluation de l'activité antioxydant.....	89
IV.4.1	Test de piégeage du radical libre DPPH.....	89
IV.4.2	Test de la réduction du fer (FRAP) .....	90
IV.5	Détection de l'activité antimicrobienne.....	91
IV.6	Analyse de l'aspect et de la texture .....	92
IV.7	Discussion générale .....	93
	Concluions.....	96
	Annexe.....	98
	Référence bibliographie .....	103

# **Introduction**

## Introduction

---

### Introduction générale

Les produits de boulangerie, notamment les biscuits, occupent une place importante dans les habitudes alimentaires contemporaines, tant pour leur accessibilité économique que pour leur facilité de consommation. Grâce à leur longue durée de conservation, leur prix modéré et leur disponibilité étendue, les biscuits sont devenus l'un des produits alimentaires les plus consommés à travers le monde (**Yisak et al., 2024**). Ils sont particulièrement populaires auprès des enfants, des adolescents et des adultes comme en-cas rapide et pratique. Toutefois, bien qu'ils soient très appréciés, la plupart des biscuits disponibles sur le marché sont formulés à partir de farine de blé raffinée, de sucre et de matières grasses, ce qui limite leur valeur nutritionnelle. Ces produits sont généralement pauvres en protéines, en fibres et en micronutriments essentiels (**Bala et al., 2015 ; Janssen et al., 2021**).

L'un des enjeux majeurs liés à la consommation de biscuits traditionnels est leur dépendance à la farine de blé, riche en gluten. Cette protéine végétale est problématique pour les personnes atteintes de la maladie cœliaque, pour celles souffrant d'allergie au blé ou encore présentant une sensibilité au gluten non cœliaque. L'intolérance au gluten est une pathologie de plus en plus diagnostiquée dans le monde, ce qui a conduit à une hausse significative de la demande pour des produits de boulangerie sans gluten (**Sibian et amp; Riar, 2021 ; Hopman et al., 2008**). En réponse à cette tendance, l'industrie agroalimentaire explore des alternatives aux céréales contenant du gluten. Plusieurs farines issues de plantes naturellement sans gluten, telles que celles de riz, de sarrasin, de maïs, de pois chiche ou encore d'amande, sont utilisées dans la formulation de produits adaptés à ces régimes alimentaires spécifiques (**Ahmed et al., 2019 ; Badalino et al., 2016**).

Parmi ces alternatives, le teff (*Eragrostis teff*), céréale ancestrale cultivée principalement en Éthiopie et en Érythrée, attire une attention croissante en raison de ses qualités nutritionnelles exceptionnelles. Naturellement dépourvu de gluten, le teff est une source importante de protéines végétales, de fibres alimentaires, de fer, de calcium et de magnésium, ainsi que de composés bioactifs tels que les flavonoïdes et les acides phénoliques, qui lui confèrent un fort potentiel antioxydant (**Zaid et al., 2012 ; Woldewhanis et al., 2022 ; Bultosa & Taylor, 2004**). Ces éléments font du teff une céréale fonctionnelle, adaptée non seulement aux personnes souffrant de troubles liés au gluten, mais aussi aux

## Introduction

---

Consommateurs soucieux de leur santé. Sa petite taille, sa haute densité nutritionnelle, s'abonne capacité d'absorption d'eau et d'huile, ainsi que ses qualités technologiques intéressantes, le rendent particulièrement apte à être transformé en produits de boulangerie, notamment en biscuits (Callejo *et al.*, 2019 ; Gebremariam *et al.*, 2014).

Le teff présente également des propriétés bénéfiques pour la régulation de la glycémie et la gestion du poids, en raison de son faible indice glycémique et de sa libération d'énergie progressive (Nascimento *et al.*, 2018 ; Sridhara *et al.*, 2021). Ces caractéristiques sont particulièrement intéressantes pour les sportifs, les enfants en période de croissance ou les personnes atteintes de troubles métaboliques. Par ailleurs, des recherches récentes ont montré que la fermentation du teff peut renforcer son activité probiotique, favorisant la croissance de bactéries bénéfiques pour la flore intestinale. Ce processus permet non seulement d'améliorer la digestibilité de la céréale, mais aussi d'enrichir ses qualités fonctionnelles en modulant sa composition phénolique et en augmentant la biodisponibilité des nutriments (Mezimer, 2015 ; Carbone *et al.*, 2020 ; Alemneh *et al.*, 2021 ; Duenas *et al.*, 2021).

L'incorporation de probiotiques dans les aliments de consommation courante constitue une stratégie de plus en plus répandue pour améliorer la santé intestinale et renforcer le système immunitaire. Toutefois, la survie des probiotiques dans les matrices alimentaires et leur efficacité dépend grandement de l'environnement dans lequel ils sont intégrés. Il a été démontré que certains cofacteurs nutritionnels, comme la vitamine C, peuvent jouer un rôle synergique en améliorant la stabilité et l'efficacité des probiotiques, notamment en augmentant leur absorption au niveau intestinal et en protégeant les cellules contre le stress oxydatif (Saad *et al.*, 2013). La combinaison du teff fermenté avec des probiotiques et de la vitamine C pourrait ainsi donner naissance à un biscuit fonctionnel innovant, associant qualités nutritionnelles, digestives et sensorielle.

Dans ce contexte, cette thèse s'inscrit dans une démarche de valorisation du teff dans une formulation alimentaire fonctionnelle destinée à un large public, incluant des individus intolérants au gluten, des enfants d'âge scolaire et des personnes soucieuses de leur santé digestive. Les objectifs spécifiques de cette étude sont les suivants : caractériser les propriétés physico-chimiques, nutritionnelles et fonctionnelles de la farine de teff non fermentée et

## Introduction

---

fermentée ; formuler et optimiser des biscuits sans gluten à base de teff, enrichis en vitamine C et probiotiques, en veillant à leur stabilité et à leur acceptabilité sensorielle ; et évaluer les effets potentiels de ces biscuits sur la santé digestive, notamment par l'analyse du maintien de la viabilité des probiotiques et l'amélioration de l'équilibre microbien intestinal. À travers cette approche, ce travail vise à proposer une alternative nutritionnelle durable et innovante, répondant à la fois aux besoins spécifiques de certaines populations et aux exigences croissantes du marché alimentaire en matière de produits santé.

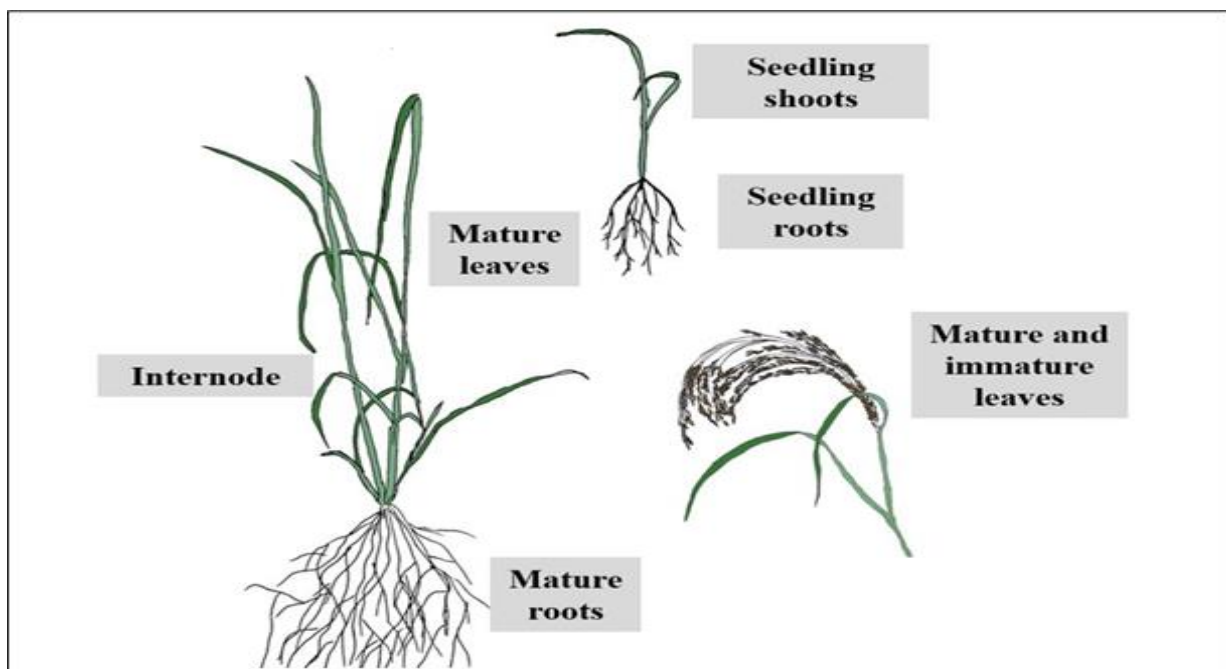
**PARTIE I :**  
**SYNTHESE**  
**BIBLIOGRAPHIQUE**

# **Chapitre I :**

## **La farines de teff**

### I.1 Présentation et origine de teff

Le teff (*Eragrostis tef*) est la seule espèce de son genre cultivée pour la consommation humaine (grains) et l'alimentation animale (paille) (Zeid *et al.*, 2012). Originaire d'Éthiopie, sa culture remonte à 3 000 ans avant J.-C., ce qui en fait une culture ancienne. Sa résistance à la sécheresse est reconnue grâce à sa plantation pendant les saisons chaudes (Miller, 2014). La majeure partie (environ 90 %) de la production mondiale de teff est produite en Éthiopie. Il est considéré comme la culture la plus importante du pays en termes de superficie (environ 3 millions d'hectares) et de production (1 664 tonnes par hectare), représentant 20 % de la production céréalière éthiopienne. L'intérêt pour le teff a augmenté ces dernières années en raison de ses bienfaits nutritionnels reconnus, ce qui a conduit à sa culture dans d'autres pays comme l'Amérique du Nord, la Chine, l'Inde, l'Australie, Royaume-Uni et autres pays d'Afrique (par exemple, le Cameroun et l'Ouganda) (Abraham, 2015). Le teff est également économiquement supérieur en Éthiopie, où il se vend à un prix plus élevé que les autres céréales, tandis que dans d'autres pays, la demande d'aliments plus sains incite les consommateurs à payer des prix plus élevés pour les produits à base de teff (Lee, 2018).



**Figure1** : Représentation des différentes parties de la plante de teff (VanBuren *et al.*, 2020).

## I.2 Composition nutritionnelle du Teff

### I.2.1 Caractéristiques physiques du grain de teff

Le teff est probablement la plus petite céréale, avec une longueur moyenne d'environ 1 mm (Adebowale *et al.* , 2011). La petite taille des grains de teff a implications nutritionnelles et technologiques. Par exemple, comme Les grains de teff sont difficiles à décortiquer, tout comme les céréales complètes contribue à améliorer la qualité nutritionnelle pour les consommateurs. La couleur du teff peut varier du blanc au brun foncé (**figure 2**) selon la variété. En Éthiopie, trois grands. Les catégories peuvent être identifiées : blanc (nech), rouge (quey) et mixte (sergegna). Il est également courant que les grossistes subdiviser en teff blanc en très blanc (magna) et blanc (nech). Le teff blanc ne pousse généralement qu'en Éthiopie. Les hautes terres nécessitent des conditions de croissance relativement bonnes. Cependant, ces dernières années, le teff rouge, que l'on croit être plus nutritif, gagne également en popularité auprès des professionnels de la santé consommateurs conscients en Éthiopie.



**Figure 2:** graine de teff rouge (quey).

### I.2.2 Composition nutritionnelle et bienfaits pour la santé des grains de teff

Comparativement aux céréales couramment consommées comme le maïs, le riz, le sorgho et le blé, la composition nutritionnelle et les bienfaits pour la santé du teff sont moins étudiés. Cependant, sa consommation a augmenté ces dernières années, en raison de l'intérêt croissant pour son application dans la recherche sur les aliments sans gluten. Une attention accrue est désormais portée à sa composition nutritionnelle et à ses bienfaits pour la santé, ainsi qu'à leur importance dans le développement de nouveaux produits. Le (tableau1) présente quelques-uns des principaux composants nutritionnels des grains de teff. (Akansha *et.*, Chauhan 2018).

**Tableau 1** : composition nutritionnelle du tableaux (Akansha *et.*, Chauhan 2018).

Composants principaux			
Humidité (g)	11	Calcium (mg)	159
Énergie alimentaire (Kc)	336	Chlorure (mg)	13
Protéines (g)	9,6	Chrome (mg)	250
Glucides (g)	73	Cuivre (mg)	0,7
Matières grasses (g)	2	Fer (mg)	5,8
Fibres (g)	3	Magnésium (mg)	170
Cendres (g)	2,9	Manganèse (mg)	6,4
Vitamine A (RE)	8	Phosphore (mg)	378
Thiamine (mg)	0,3	Potassium (mg)	401
Riboflavine (mg)	0,18	Sodium (mg)	47
Niacine (mg)	2,5	Zinc (mg)	2
Vitamine C (mg)	88		

Les grains de teff contiendraient entre 9 et 11 % de protéines, une quantité légèrement supérieure à celle du sorgho, du maïs ou de l'avoine classiques. Cependant, des échantillons testés aux États-Unis ont systématiquement montré des taux de protéines encore plus élevés : 14 à 15 %.

La digestibilité des protéines est probablement élevée car les principales fractions protéiques – albumine, glutéline et globuline – sont les plus digestibles. La fraction albumine

est particulièrement riche en lysine. À en juger par la réaction des Américains allergiques au blé, le teff est pratiquement exempt de gluten, la protéine qui fait lever le pain. Néanmoins, le teff utilisé dans l'injera « lève » (Akansha *et al.*, Chauhan 2018).

### I.2.2.1 Protéines

Les protéines sont l'un des macronutriments essentiels à l'organisme humain. Comparé au blé et au maïs, le teff présente une teneur moyenne en protéines brutes similaire, de 8 à 11 %. La plupart des fractions protéiques du teff sont classées comme des prolamines, bien que différentes méthodes d'extraction puissent donner des résultats différents (Bekele *et al.*, 1995 ; Tatham *et al.*, 1996 ; Adebowale *et al.*, 2011).

Les acides aminés essentiels sont ceux que l'organisme humain ne peut synthétiser et qui ne sont obtenus qu'en incluant des aliments riches en acides aminés essentiels dans l'alimentation. La composition globale en acides aminés du teff est bien équilibrée et supérieure à celle de la plupart des céréales. Le pourcentage de lysine (3,7 %), un acide aminé important pour la croissance et le renouvellement musculaires, est également plus élevé dans le teff. Le tableau 2 présente la teneur en protéines brutes et en acides aminés du teff par rapport au blé, au riz et au sorgho. Un autre avantage du teff est l'absence de formation de gluten dans les farines de teff lors de l'hydratation. Ces dernières années, son utilisation dans le pain sans gluten a été largement étudiée pour son enrichissement sensoriel et dans les muffins de riz sans gluten pour son enrichissement nutritionnel (Minarovicov *a et al.*, 2019 ; Viellet *et al.*, 2020).

### I.2.2.2 Fibres brutes

La teneur en fibres brutes du teff (3,0 g/100 g) est bien supérieure à celle des autres céréales, qu'elles contiennent ou non du gluten. La consommation de fibres alimentaires présente de nombreux bienfaits pour la santé. La teneur en fibres du teff (8,0 g/100 g) est élevée par rapport à celle de certains fruits, noix, légumineuses et céréales comme le maïs et le riz (Saturniet *et al.*, 2010). Des études ont révélé qu'une alimentation riche en fibres prévient de nombreuses maladies humaines comme le cancer du côlon, les maladies coronariennes et le diabète (Anderson *et al.*, 2009).

### I.2.2.3 Glucides

Les glucides sont la principale source d'énergie pour l'homme et jouent un rôle essentiel dans le maintien du métabolisme et de l'homéostasie. Ils constituent environ 80 % du grain de teff, avec une teneur en amidon d'environ 73 %. L'amidon est le principal glucide du teff, dont la teneur en amylose est d'environ 20 à 26 % (**Bultosa, 2007**).

### I.2.2.4 Matières grasses

Bien que la teneur en matières grasses des céréales soit relativement faible, celles-ci constituent généralement un aliment de base de l'alimentation humaine. L'intégration de céréales dans l'alimentation peut contribuer à fournir des quantités substantielles d'acides gras essentiels nécessaires à l'organisme. Les acides gras peuvent être bénéfiques pour la santé en réduisant le risque de maladies cardiovasculaires, d'inflammations, de cancer et d'autres maladies (**Simopoulos, 2001**). Concernant les bienfaits des acides gras pour la santé, la teneur en matières grasses des céréales peut être essentielle à leur valeur nutritionnelle. Le teff a une teneur en matières grasses brutes de 2,5 %, un niveau moyen par rapport à d'autres céréales comme le blé et le riz. Cependant, ces céréales sont souvent raffinées, ce qui réduit leur teneur en matières grasses brutes. Le teff, quant à lui, est produit sous forme de farine complète, ce qui permet de conserver la teneur en matières grasses initialement présente dans le grain. De plus, le teff a une teneur en acides gras insaturés plus élevée (par exemple, l'acide oléique et l'acide linoléique) que les autres céréales, qui ont une valeur nutritionnelle plus élevée que les graisses saturées (**El-Alfyet *al.*, 2012**).

### I.2.2.5 Micronutriments

D'autres micronutriments, notamment les minéraux et les composés phytochimiques, sont également essentiels à l'évaluation nutritionnelle du teff. La teneur en minéraux du teff varie en fonction de plusieurs facteurs, tels que les conditions climatiques et les espèces. Cependant, toutes les espèces de teff sont connues pour avoir une teneur en minéraux nettement supérieure à celle du blé, du maïs et du riz. Les minéraux peuvent être utilisés dans le métabolisme et absorbés par l'intestin grêle (**Fairweatheret Tait, 2002**). Quant aux composés phytochimiques comme les phytates et les tanins, les variétés de teff pigmentées présentent des teneurs en composés phytochimiques supérieures à celles des

autres céréales, essentielles à la santé grâce à leurs propriétés antidiabétiques et anticancéreuses (**Schlemmer et al., 2009**).

Les minéraux sont des micronutriments essentiels à de nombreuses fonctions physiologiques, notamment le métabolisme et le transport de l'oxygène. Un apport adéquat en minéraux est essentiel pour soutenir la santé globale et prévenir les troubles associés à leur carence (**Goodswellet et al., 2020**). Le teff contient une gamme de minéraux qui améliorent sa valeur nutritionnelle et ses bienfaits pour la santé. Les études de **Bultosa (2007)**, **Gebremariam et al., (2014)**, **Bai (2018)** et **Barreto et al., (2021)** ont exploré la teneur en minéraux du teff, confirmant son importance en tant que source principale de minéraux essentiels tels que le fer, le calcium, le zinc, le cuivre et le magnésium. Le teff est une source alimentaire majeure de ce minéral (**Saini et al., 2016**). La consommation de teff a été associée à des taux plus faibles d'anémie ferriprive, en particulier en Éthiopie, où le teff est un aliment de base (**Gebruet et al., 2020 ; Owolachu, 2020a**). De plus, le calcium, essentiel à la santé des os, est abondamment disponible dans le teff. L'incorporation du teff dans l'alimentation peut atténuer la carence en calcium et favoriser la santé osseuse (**Gebremariam et al., 2014 ; Errol et al., 2022**). Les besoins quotidiens en fer, calcium et zinc peuvent être satisfaits en consommant des produits alimentaires appropriés à base de **teff** (**Baye, 2014 ; Gebremariam et al., 2014 ; Olacho, 2020a**). De plus, le zinc, essentiel à la fonction immunitaire, à la cicatrisation des plaies et à la synthèse de l'ADN, est abondant dans le teff.

### **I.3 Propriétés fonctionnelles de teff**

#### **I.3.1 Propriétés biologiques du teff**

Le teff est riche en macro et micronutriments, contient une gamme de métabolites bioactifs non essentiels et sa teneur élevée en phénols est en grande partie due à ses niveaux élevés d'acides phénoliques et de flavonoïdes (**Ananth et al., 2023**). Les recherches sur la phytochimie du fenouil mettent souvent en évidence les composés phénoliques en raison de leur potentiel à réduire le risque de maladies chroniques (**Jabroet et al., 2020 ; Duenaset et al., 2021 ; Sliwinski et al., 2021 ; Isaket et al., 2022**).

Ils ont également constaté que l'ébullition améliorerait considérablement la digestibilité du teff, les échantillons cuits présentant une digestibilité 20 % supérieure à celle du teff non cuit. De **Kotaskova et al., (2016)** ont rapporté que les fractions phénoliques libres des grains de teff, en particulier le teff brun, présentaient une teneur plus élevée en

flavonoïdes et en polyphénols, ainsi qu'une activité antioxydante plus forte. plus, **Gebru et al., 2021** ont rapporté que les grains de teff ont une teneur en phénols et une activité antioxydante plus élevées que les grains couramment consommés. De plus, **Duenas et al., 2021** ont identifié 59 composés phénoliques dans le teff, les flavones représentant 97 à 99 % de la teneur phénolique totale.

### **I.3.2 Caractéristiques probiotiques des produits à base de teff fermenté et leur potentiel prébiotique**

Il existe une demande croissante de produits alimentaires fermentés riches en probiotiques, en particulier ceux fabriqués à partir de céréales. Cette tendance découle de la recherche par les consommateurs d'options alimentaires alternatives, notamment des aliments fermentés non laitiers riches en probiotiques. L'ajout de prébiotiques favorise la croissance de bactéries bénéfiques dans l'intestin (**Aleminiet al., 2023**).

De plus, (**Mesmer, 2015**) a mis en évidence l'association de *Lactobacillus plantarum* avec des aliments végétaux fermentés à l'acide lactique, en particulier le teff fermenté éthiopien. L'injera, un aliment de base en Éthiopie, est une source alimentaire majeure pour la fermentation des *bactéries lactiques* (LAB), *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis* et *Lactobacillus fermentum* étant les espèces dominantes à la fin de la fermentation du teff, *L. plantarum* étant la plus répandue.

### **I.4 Transformation du teff**

Le teff est récolté dès que ses parties végétatives jaunissent (**figure 3**), signe de maturité. Cela peut se produire dès 45 jours après la plantation, selon les conditions environnementales. Le moment de la récolte est crucial pour le contrôle de la qualité, car une récolte tardive peut entraîner une décoloration et un éclatement du grain (**Bultosa, 2004**). La récolte est généralement effectuée manuellement à la faucille dans les petites exploitations, tandis que certains producteurs plus importants utilisent des machines de récolte. Les plantes sont ensuite battues pour séparer les graines de leurs tiges, puis les balles sont séparées des graines. Après la récolte, les grains de teff sont généralement stockés pour permettre leur maturation et la levée de la dormance. Les pertes de grains sont généralement élevées (25 à 30 %) lors de la récolte manuelle traditionnelle, car les grains sont légers (poids moyen de 0,264 g pour mille grains) et peuvent être facilement emportés par le vent.

En Éthiopie, les grains de teff sont plus couramment utilisés dans l'alimentation, car ils entrent dans la composition de divers produits extrudés et cuits au four (Seyfu, 1997 ; Satheeshet Fanta, 2018). En raison de ses bienfaits nutritionnels reconnus, son utilisation comme ingrédient alimentaire a augmenté ces dernières années. Comme d'autres céréales, les grains de teff sont généralement moulus en farine avant d'être utilisés comme ingrédient. En raison de la petite taille des grains de teff, la séparation efficace de l'endosperme des autres composants du grain est difficile ; c'est pourquoi des farines complètes sont souvent produites (Nascimento *et al.*, 2018). Avant la mouture, les grains de teff sont vieillis après la récolte afin d'augmenter leur indice de chute (F.N.), car leur valeur après récolte est très faible (Lukowet *al.*, 1995 ; Hidetoshi, 2001). Les grains de teff dont la teneur en matière grasse est supérieure à 250 µg conviennent généralement à la boulangerie (Gebremariamet *al.*, 2014).

Le processus de mouture du teff suit les mêmes étapes que celui des grains conventionnels : nettoyage, tempérage, mouture et tamisage sont nécessaires pour produire une farine complète. Les grains de teff sont également utilisés comme ingrédient dans la fabrication de boissons alcoolisées, car ils sont principalement riches en amidon, ce qui en fait un substrat idéal pour la fermentation alcoolique (Zarnkowet *al.*, 2008). Le teff est un ingrédient alimentaire avantageux, car il contient des quantités plus élevées de protéines et de micronutriments, ce qui peut être bénéfique pour la nutrition (Gebruet *al.*, 2020).



**Figure 3 :** Plante de teff (Institut indien de recherche sur le mil, 2023).

## **I.5 Comparaison farines du teff avec d'autres farines**

### **I.5.1 Riz**

La farine de riz est sans conteste la farine la plus utilisée sur le marché et dans la littérature, probablement en raison de ses protéines hypoallergéniques, de sa saveur douce et

de son incolore. Les protéines de riz présentent des propriétés fonctionnelles relativement médiocres pour la transformation alimentaire. En raison de leur nature hydrophobe,

les protéines de riz sont insolubles et incapables de former la pâte visqueuse et élastique nécessaire à la rétention du dioxyde de carbone produit par la levure lors de la panification. Ce qui donne un produit au faible volume spécifique et à la mie très ferme (Arendt et Bello, 2008).

### I.5.2 Sorgho (*Sorghum bicolor*)

Le développement de variétés de sorgho dites « comestibles » a permis la production d'une farine blanche au goût doux à partir de grains de sorgho. Cette farine est utile dans les produits alimentaires car elle ne confère pas de couleurs étranges ni de saveurs prononcées et peut être préférée à la farine de maïs pour ces raisons (Taylor *et al.*, 2006). Comme d'autres céréales, le sorgho est principalement composé de glucides sous forme d'amidon (Rooney *et Waniska*, 2000). La composition chimique du sorgho est similaire à celle du maïs (Benn *et Filler*, 1982).

### I.5.3 Blé

Le blé est la principale source de calories et de protéines pour un tiers de la population mondiale (Anonyme, 2021).

La valeur énergétique de 100 grammes de germe de blé est estimée à 360 calories. Le blé dur est important en raison de sa haute valeur nutritionnelle, car il contient un pourcentage élevé de protéines et de gluten, ce qui confère aux pâtes de meilleures propriétés de cuisson. Le blé dur est utilisé dans la production de pâtes, de couscous et de nombreux autres plats tels que le pain, le farik et les gâteaux (Troccoliet *al.*, 2000).

**Tableau 2 :** Composition en protéines brutes et en acides aminés du teff comparée à celle du blé, du riz et du sorgho

Composition	Teff	Blé	Riz	Sorgho
Protéines brutes (%)	3,70	2,10	7,30	3,80
Acides aminés (g/16 g N)				
Lysine	3,70	2,10	3,70	0,30
Isoleucine	4,10	3,70	4,50	0,70
Leucine	8,50	7,00	8,20	2,10
Valine	5,50	4,10	6,00	0,80
Phénylalanine	5,70	4,90	5,50	0,90
Tyrosine	3,80	2,30	5,20	0,70
Tryptophane	1,30	1,10	1,20	0,20
Thréonine	4,30	2,70	3,70	0,50
Histidine	3,20	2,10	2,30	0,40
Arginine	5,20	3,50	8,50	0,60
Méthionine	4,10	1,50	2,70	0,30
Cystine	2,50	2,40	1,80	0,30
Asparagine	6,40	5,10	9,00	-
Sérine	4,10	5,00	5,00	0,80
Glutamine + acide glutamique	21,8	29,5	17,0	-
Proline	8,20	10,2	5,00	1,30
Glycine	3,10	4,00	4,50	0,50
Alanine	10,1	3,60	5,50	1,60

Les grains de teff contiendraient entre 9 et 11 % de protéines, une quantité légèrement supérieure à celle du sorgho, du maïs ou de l'avoine classiques. Cependant, des échantillons testés aux États-Unis ont systématiquement montré des taux de protéines encore plus élevés : 14 à 15 %.

La digestibilité des protéines est probablement élevée car les principales fractions protéiques – albumine, glutéline et globuline – sont les plus digestibles. La fraction albumine est particulièrement riche en lysine. À en juger par la réaction des Américains allergiques au blé, le teff est pratiquement exempt de gluten, la protéine qui fait lever le pain. Néanmoins, le teff utilisé dans l'injera « lève ».

Composition en protéines brutes et en acides aminés du teff comparée à celle du blé, du riz et du sorgho. Adapté de Teff : composition nutritionnelle et bienfaits pour la santé (Baye,2014).

#### I.5.4 Éléments essentiels dans les céréales

Les éléments essentiels sont essentiels à diverses fonctions biologiques du corps humain (Fraga, 2005). Selon les quantités dont l'organisme a besoin, les éléments essentiels peuvent être classés en macronutriments et micronutriments. Macronutriments tels que le calcium, le magnésium, le sodium et le potassium (Glinskeet *al.*, 2018). Micronutriments tels que le fer, le cuivre et le zinc (Fraga, 2005).

#### I.5.5 Macronutriments dans les céréales

**Calcium (Ca) :** Les concentrations de calcium dans les échantillons de teff étaient 3,5 et 34 fois plus élevées que celles du blé et du maïs (Abebeet *al.*, 2007 ; Kibatuet *al.*, 2017 ; Koubováet *al.*, 2018).

**Magnésium (Ma) :** Les concentrations de magnésium sont élevées dans le teff, suivi du blé, puis du maïs (Kibatu *et al.*,2017).

**Potassium (K) :** La teneur en potassium du blé est plus élevée.Comparé au teff et au maïs (Suchowilskaet *al.*, 2012).

**Sodium (Na) :** Le teff a une concentration en sodium plus élevée que le maïs et le blé (Mengesha, 1966 ; Dame, 2018 ; Zhu, 2018).

#### I.5.6 Micronutriments essentiels dans les céréales

**Fer (Fe) :** Les concentrations en fer sont plus élevées dans le teff que dans le maïs et le blé. Ces données ont été rapportées par Mengesha(Abebeet *al.*, 2007) ; Bai *et al.*, 2014 ; et Kibatoet *al.*, 2017).

**Manganèse (Mn) :** Le teff a une teneur en manganèse moyennement élevée par rapport au maïs et au bléKopovaet *al.*, 2018).

**Cuivre (Cu) :** Les concentrations de cuivre diminuent dans l'ordre teff>blé >maïs (Kibatuet *al.*, 2017).

### I.6 Bienfaits du teff et des produits à base de teff

#### I.6.1 Carence en fer

La carence en fer est la déficience en micronutriments la plus répandue dans le monde, touchant plus de 2 milliards de personnes (Zimmermann et Hurrell., 2007).

Elle entraîne un retard de croissance, des troubles du développement et une baisse des performances physiques et mentales (**Georgieff, 2011**)

Le teff, riche en fer, peut être une bonne alternative au blé pour améliorer l'apport en fer, surtout dans les pays à faibles revenus (**Gebre-Medhinet *et al.*, 1976 ; Adishet *et al.* 1999 ; Alaunyteet *et al.*, 2012**). En ajoutant 30 % de farine de teff au pain, la teneur en fer peut doubler. La biodisponibilité du fer dépend cependant du mode de transformation, notamment la fermentation (**Umetaet *et al.*, 2005 ; Baye *et al.*, 2014**). Si elle est confirmée, cette biodisponibilité rendrait le teff bénéfique pour les patients atteints de maladies comme la maladie cœliaque, en raison de son absence de gluten et de sa richesse en fer (**Pasricha *et al.*, 2013**).

### **I.6.2 Maladie cœliaque**

La maladie cœliaque touche entre 0,6 % et 1 % de la population mondiale (**Gujral *et al.*, 2012**). Elle résulte d'une réponse anormale aux protéines du gluten présentes dans le blé, l'orge, le seigle et parfois l'avoine. Les symptômes incluent diarrhée, douleurs abdominales et complications extra-intestinales telles que l'ostéoporose ou le cancer (**Hansen *et al.*, 2005**)

Le seul traitement reste un régime strict sans gluten (**Fasano et Catassi, 2001**), ce qui est difficile à cause de la large disponibilité des aliments contenant du gluten. Ainsi, les aliments sans gluten mais riches en nutriments comme le teff sont recommandés (**Halletet *et al.*, 2002 ; Thompson *et al.*, 2005**). Le teff, naturellement sans gluten, est riche en fibres, minéraux et antioxydants, et présente un faible indice glycémique, utile notamment chez les diabétiques cœliaques (**Vijilamata *et al.*, 2005**)

### **I.6.3 Le diabète**

Le teff, riche en fibres et en polyphénols, joue un rôle protecteur, surtout lorsqu'il est consommé entier. Sa faible charge glycémique permet un meilleur contrôle de la glycémie après les repas (**Walter *et al.*, 2013 ; Post *et al.*, 2012**). Il contient également des antioxydants qui peuvent réduire le stress oxydatif, associé à la résistance à l'insuline et au diabète (**Abebeet *et al.*, 2007 ; Mikuriyaet *et al.*, 2013**). Cependant, les études sur les effets antidiabétiques du teff restent limitées.

# **Chapitre II :**

# **Technologies biscuitières**

## II.1 Les biscuits (cookies) dans l'industrie agroalimentaire

### II.1.1 Histoire d'apparition du biscuit

La consommation de biscuits s'est répandue dans le monde entier ces dernières années (**Okpalaet al., 2013**). Cela s'explique par leur goût sucré, leur praticité, leur prix abordable et leur longue conservation (**Sudha et al., 2007 ; Vujicet al., 2014**). Leur origine remonte à des milliers d'années, lorsque la bouillie de céréales fut transformée en pain plat, le premier aliment condensé pouvant être conservé (**Zhou, 2014**). Les marins médiévaux emportaient de la farine, des œufs et de l'eau pour cuire leurs aliments pendant leurs voyages, et le mélange était cuit deux fois pour le conserver. C'est ainsi qu'ils ont inventé le terme (**Manley, 2000**).

### II.1.2 Définition des biscuits

Le mot biscuit est dérivé du Latin « panis biscotis » qui signifie le « pain cuit deux fois ». C'est parce que le processus original consistait à cuire les biscuits dans un four chaud puis à sécher dans un autre à température plus basse. D'abord pour définir la structure, puis pour réduire la teneur en humidité (**Serrem, et Zhou, 2014**).

Les biscuits normaux sont cependant seulement cuits une fois. Les biscuits se distinguent des autres produits de boulangerie par leur faible taux d'humidité ce qui les rend peu susceptibles de subir une altération microbienne (**Serrem, 2010**). Le terme biscuit fait référence aux produits de boulangerie cuits au four contenant trois principaux ingrédients, à savoir la farine de blé tendre, le sucre et la matière grasse avec autres ingrédients mineurs tels que le lait, sel, agent aromatisant et les agents d'aération (**Devi et Khatkar, 2016; Mamatet Hill, 2014**). Les ingrédients sont mélangés et la pâte est découpée en morceaux de la taille souhaitée puis cuite pendant quelques minutes (**Ansari et Kumar, 2012**).

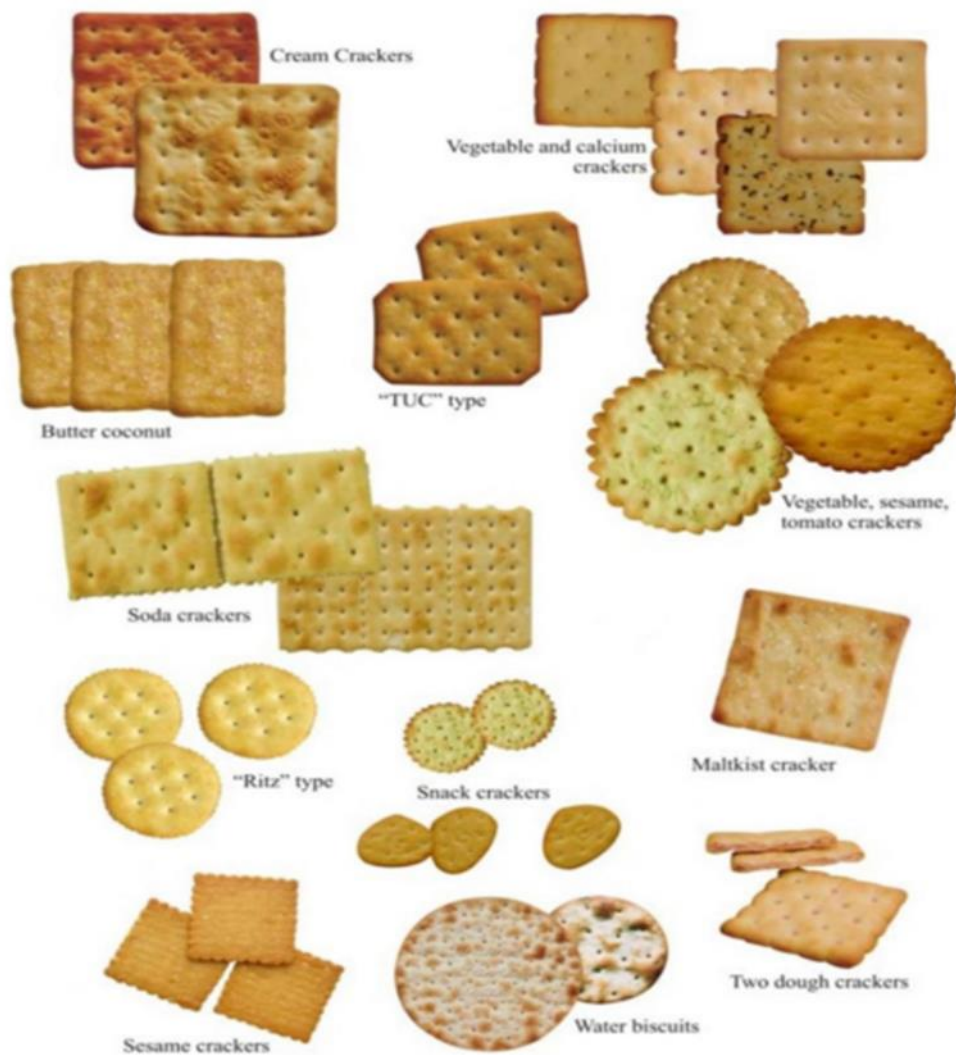
### II.1.3 Catégories de biscuits

Les biscuits se répartissent en quatre grandes catégories, différenciées par leurs recettes et leur procédé de fabrication : crackers, biscuits mi-sucrés, biscuits sablés et cookies (y compris les cookies fourrés). Chaque catégorie et chaque type de produit nécessite un procédé de mélange, de formage et de cuisson spécifique (**Lain, 2024**).

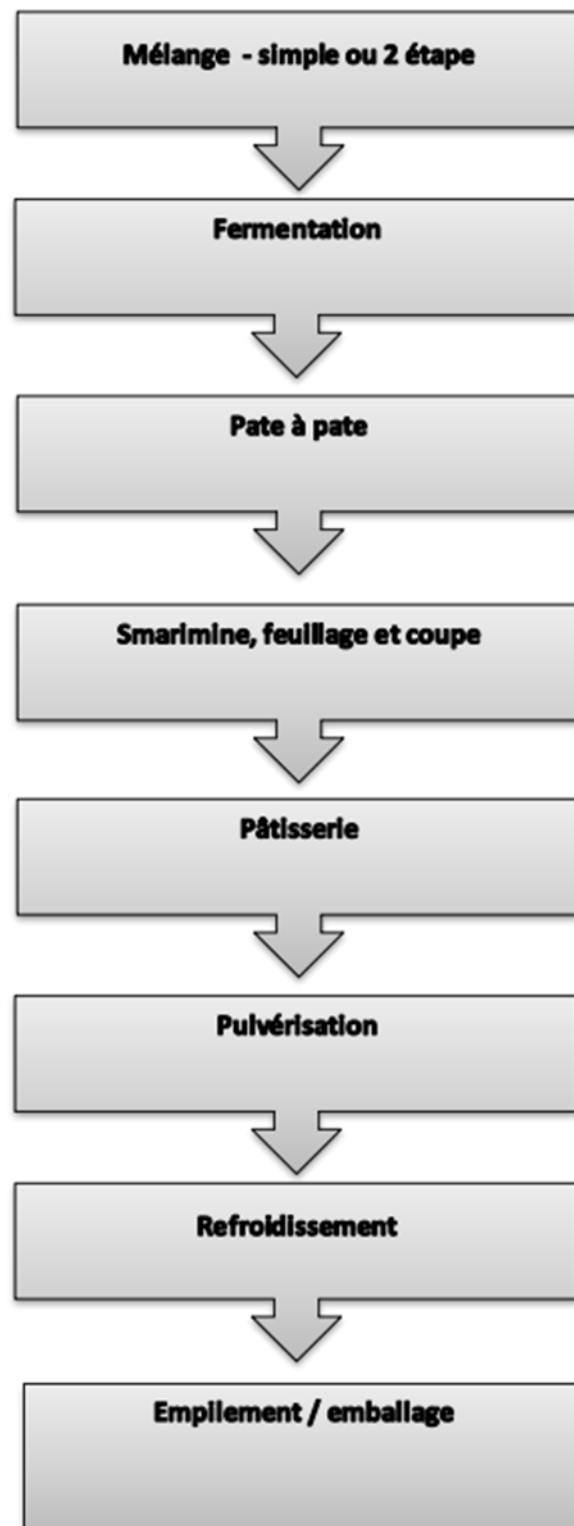
#### II.1.3.1 Craquelins

Les craquelins se caractérisent par leur texture croquante et leurs saveurs délicieuses.

Parmi ces produits, on trouve : les crackers soda et salés, les crackers à la crème, les crackers snack, les biscuits à l'eau, les biscuits feuilletés, les crackers maltext (craquelins enrobés de sucre), les crackers TUC, les crackers Ritz et les crackers aux légumes et au calcium (**figure 4**). Le diagramme (figure 5) de flux de processus typique pour le mélange et la fermentation des craquelins sont généralement des processus par lots, la formation, le support, le refroidissement sont des processus en ligne continue (**Lain,2024**).



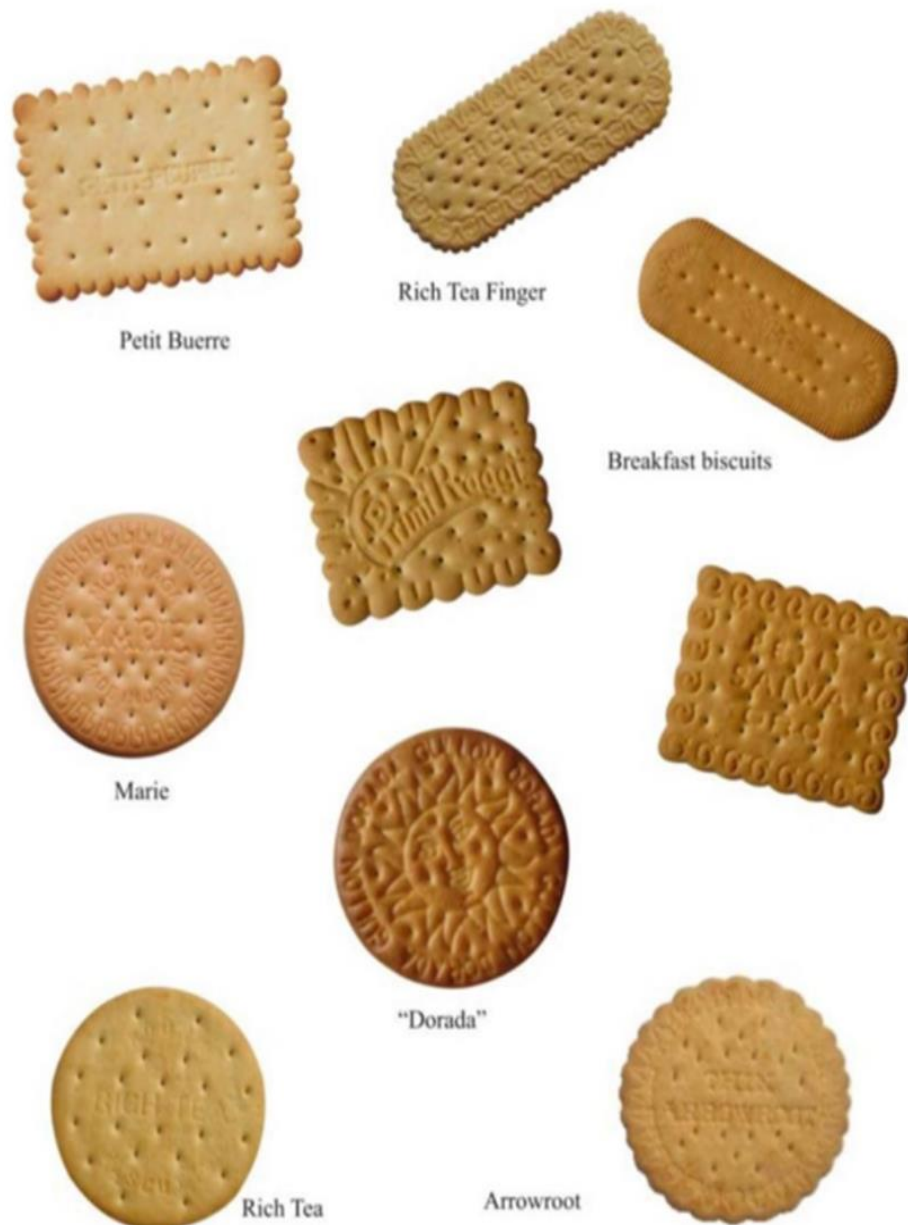
**Figure 4** : Les craquelins (Lain , 2024)



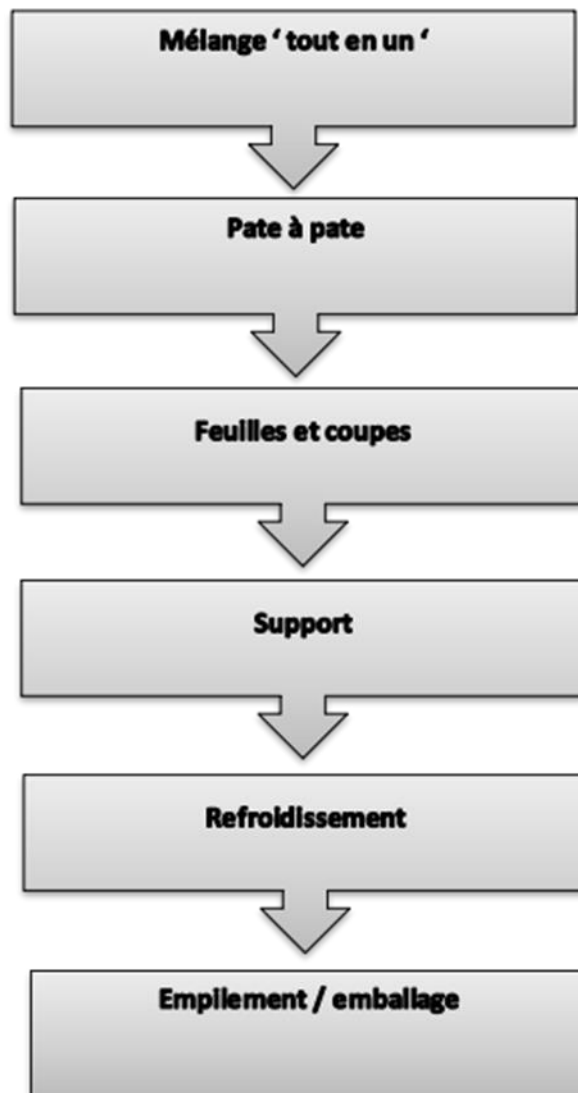
**Figure 5:** diagramme de flux de processus typique pour le mélange et la fermentation des craquelins sont généralement des processus par lots , la formation , le support, le refroidissement sont des processus en ligne continue (Lain,2024)

### II.1.3.2 Biscuits mi-sucrés

Parmi les exemples de biscuits mi-sucrés, on peut citer les Marie, Petit Beurre, Thé Riche, Arrowroot et Biscuits Petit-Déjeuner. Ils se caractérisent par une couleur et une texture uniforme et attrayante, ainsi que par un bon volume (**Figure 6**). Le diagramme (**figure 7**) de flux de processus pour les biscuits semi-sucrés typiques (**Lain, 2024**).



**Figure 6:** biscuits mi- sucrés(Lain , 2024)



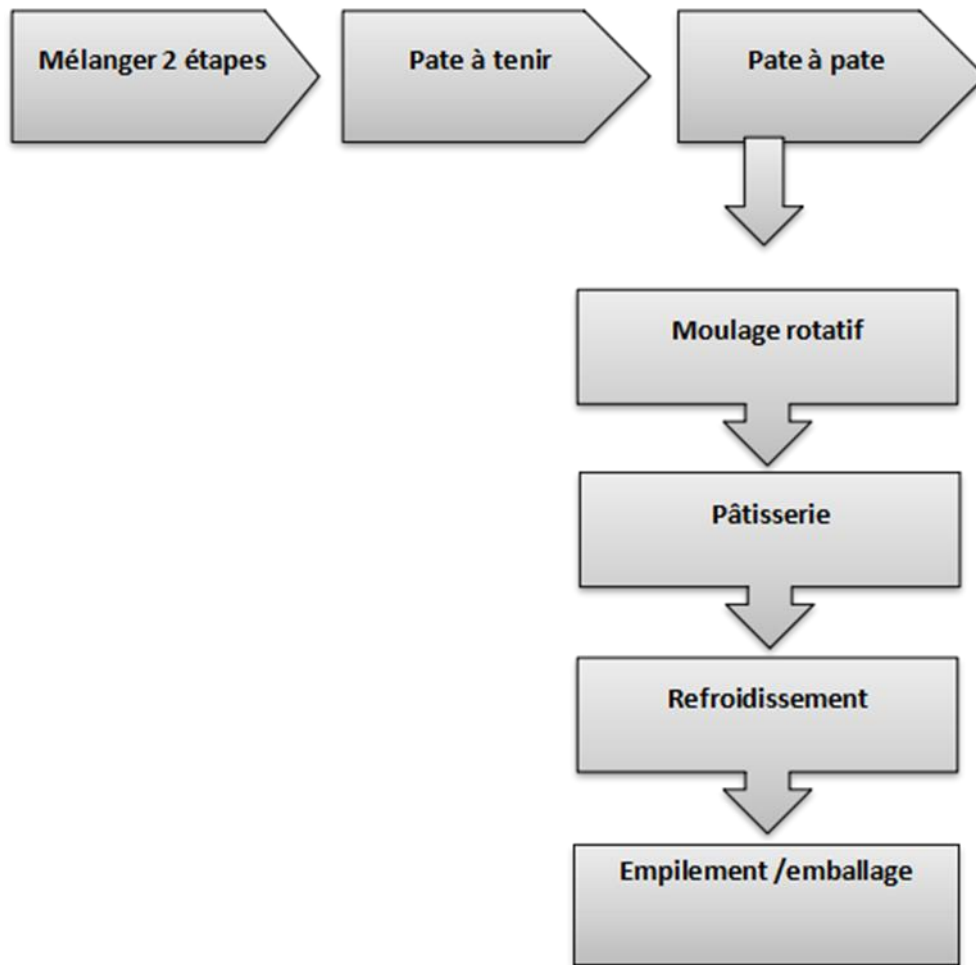
**Figure 7:** diagramme de flux de processus pour les biscuits semi-sucrés typiques (Lain, 2024)

### II.1.3.3 Pâte brisée : Biscuits moulés par rotation

Il s'agit d'une autre vaste catégorie de biscuits aux formes variées. Leur pâte brisée a une teneur en matières grasses et en sucre plus élevée que les biscuits croustillants et les biscuits mi-sucrés. Cette catégorie est la plus simple du procédé de moulage par rotation, ce qui explique sa production massive, souvent en grandes quantités. La liste des produits typiques est assez longue. Les pâtes brisées sont souvent enrichies en vitamines et minéraux, ce qui en fait un aliment pratique et nutritif. Elles sont également largement utilisées dans les sandwiches (Figure 8). Le diagramme (figure 9) de flux de processus pour les biscuits à pâte courte typique (Lain, 2024)



**Figure 8:** biscuit à pâte brisée (Lain, 2024).



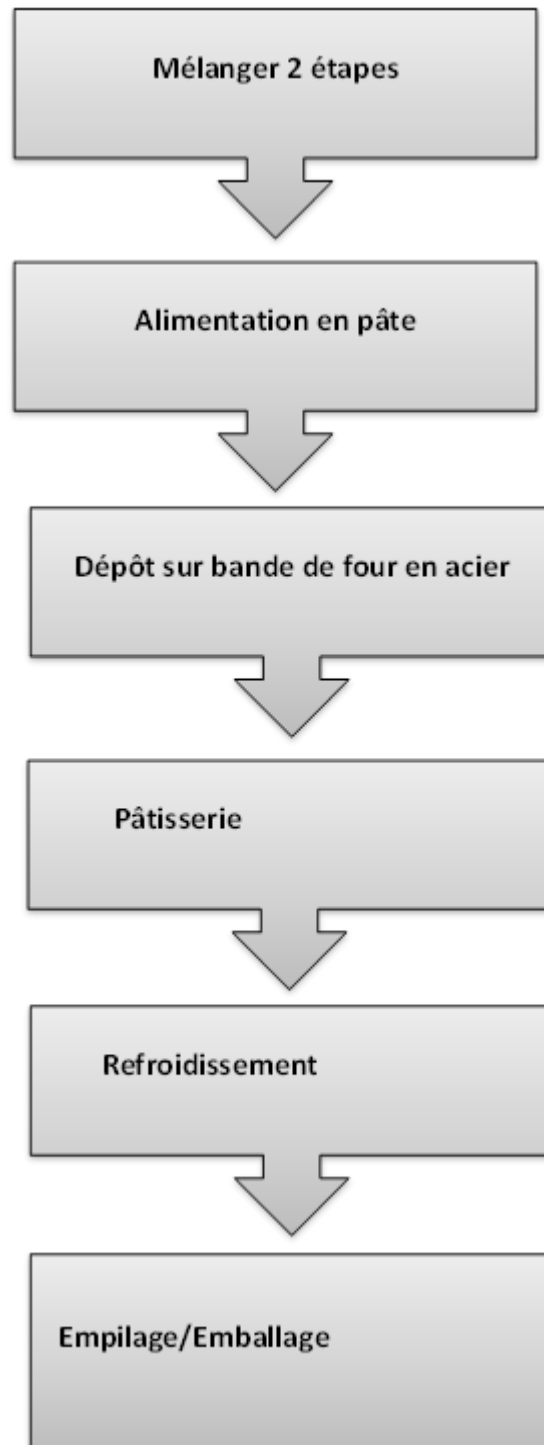
**Figure 9:** diagramme de flux de processus pour les biscuits à pâte courte typique (Lain, 2024).

#### II.1.3.4 Les cookies

Comprennent les cookies aux pépites de chocolat, les biscuits au beurre, les biscuits à double pâte, les biscuits fourrés au centre, les doigts de figes, les doigts de fruits, les biscuits extrudés et les biscuits contenant de nombreux types de garnitures telles que des noix, des raisins secs, de la noix de coco et des pépites de chocolat (figures 10). Le diagramme (figure 11) de flux de processus pour les cookies (Lain, 2024).



**Figure 10:** cookies (Lain , 2024).



**Figure 11** : diagramme de flux de processus pour les cookies (Lain, 2024)

#### II.1.4 Généralités sur les cookies

Les cookies sont des en-cas prêts à consommer, ce qui les a rendus populaires (Farhinna *et al.*, 2015). Ils se caractérisent par leur facilité d'utilisation, leur longue conservation et leur capacité à fournir des nutriments essentiels (Ajibola *et al.*, 2015). Leur teneur en humidité est inférieure à celle des biscuits (Okaka, 2009) et leur texture est plus moelleuse (Eves, 2005). Ils peuvent être préparés à partir de pâte dure, de pâte dure sucrée ou de pâte molle (Olawuyi *et al.*, 2007 ; Nwosu, 2013 ; Farhinna *et al.*, 2015).

Les cookies se caractérisent par une composition riche en sucre et en matières grasses et pauvre en eau. Ils se distinguent des autres produits de boulangerie comme le pain et les gâteaux par leur faible teneur en humidité, ce qui les rend relativement peu sujets à la dégradation microbienne et leur longue conservation (Hanan, 2013). Les principaux ingrédients des biscuits sont la farine, la matière grasse (margarine), le sucre et l'eau, auxquels peuvent s'ajouter d'autres ingrédients tels que le tuf, des agents aérants, des agents émulsifiants et des arômes. Ils peuvent également être enrichis d'autres ingrédients pour répondre à des besoins nutritionnels ou thérapeutiques spécifiques (fruits secs : graines oléagineuses et fruits secs) (Ajibola *et al.*, 2015). La qualité et la quantité des ingrédients incorporés dans la pâte à biscuits déterminent les propriétés sensorielles recherchées par le consommateur en termes d'aspect visuel (couleur de la croûte et croquant), de goût (douceur, moelleux en bouche, etc.), d'arôme, mais aussi de propriétés de conservation (Rada, 2004 ; Slade *et al.*, 2014).

## II.2 Importance des biscuits dans la consommation moderne

Les biscuits sont un produit alimentaire populaire (Mamat *et Hill*, 2018). Le marché mondial des biscuits est en plein essor, et la récente tendance vers les plats préparés a stimulé le marché des biscuits, qui constitue un critère d'achat majeur pour les consommateurs (Anonyme, 2024). Le lancement fréquent de nouvelles formules, telles que les biscuits faibles en matières grasses, sans gluten, à faible teneur en glucides, biologiques et riches en fibres, attire les consommateurs et stimule la croissance du marché. En 2024, la taille du marché des biscuits était estimée à 122,87 milliards USD. Elle devrait atteindre 156,59 milliards USD d'ici 2029 (Anonyme, 2024). Les biscuits industriels contiennent généralement des additifs destinés à rendre le produit final plus savoureux ou plus attrayant (Vandevijvere, 2020a).

---

Il existe un débat croissant sur le lien entre notre santé et la qualité nutritionnelle de notre alimentation d'une part, et la transformation des aliments d'autre part, en particulier son type, sa densité et son objectif (**Vandevijvere, 2020b**).

### **II.3 Composition classique des cookies**

#### **II.3.1 La farine**

La farine de blé est la plus couramment utilisée en raison de sa teneur en amidon et en gluten qui fournit la structure et la texture du produit final (**Pareyt et Delcour, 2008**).

#### **II.3.2 Sucre**

Il joue un rôle important dans le processus de cuisson. En plus de la douceur, il ajoute aussi de la texture, de la couleur, et agit comme un conservateur. Selon le niveau et le type, le sucre influe les différents paramètres rhéologiques de la pâte à biscuit. (**mamat et hill, 2014**).

#### **II.3.3 La matière grasse**

Elle peut être soit liquide (huile), soit semi-solide à des températures ambiantes (beurre, margarine). Sur le plan organoleptique, le corps gras communique au produit, lorsque celui-ci ne contient aucun parfum surajouté, sa saveur et son arôme. En outre, il faut rappeler la grande valeur alimentaire des corps gras tant au point de vue source de vitamines que de calories, dont l'apport au mélange sucre-farine fait que les biscuits sont des produits nutritionnellement bien équilibrés. Tant dit que sur le plan technologique, 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 (**Kigeret a l., 1967**).

#### **II.3.4 Bicarbonate de sodium alimentaire (NaHCO<sub>3</sub>)**

C'est la substance chimique de levée, cette poudre blanche, cristalline, inodore, à saveur salée, est assez peu soluble dans l'eau. Le bicarbonate de sodium soumis à une température (à partir de 20°C) ou mélangé avec l'acide dans la levure chimique, dégage du dioxyde de carbone, ce qui rend les produits meilleurs et plus digestibles, et il favorise la levée des pâtes (**Sofia, 2016 ; Redjem et Derghal, 2016**).

#### **II.3.5 Sel**

Le sel alimentaire (NaCl) est présent dans la plupart des produits de boulangerie à raison de 2% du poids de la farine. C'est un exhausteur de goût, diminue les arrière goûts et

ralentit l'activité de la levure. Il a aussi une tendance à limiter la disponibilité de l'eau et donc il améliore la conservation. Le sel solubilisé dans l'eau crée des liaisons ioniques avec les protéines de la farine en améliorant la capacité d'absorption d'eau. Le sel favorise également la coloration de la croûte, qui reste pâle en son absence (Menasra, 2020).

### II.3.6 Des arômes

Tels que la vanille, le chocolat ou les fruits secs pour améliorer les propriétés sensorielles du produit sans en modifier la structure (Pinho et Macedo, 2005).

## II.4 Composition moderne des cookies

### II.4.1 La farine

La farine de teff est un ingrédient essentiel dans la fabrication de pains de type crêpes (figure 12), ainsi que d'autres produits alimentaires tels que la bouillie, les gâteaux, les pâtes, les aliments de sevrage, les puddings, les pains, les biscuits et les gâteaux, ce qui lui confère une douceur distinctive semblable à celle de la mélasse (Barreto *et al.*, 2020 ; Lacey et Llewellyn, 2005).



Figure 12 : farine de teff

### II.4.2 Citrouille

C'est une plante connue dans plusieurs régions et porte différents noms : citrouille (français) (Lim, 2012) et courge (arabe) (Goetz et Jeune, 2010). La citrouille est utilisée comme ingrédient principal dans les tartes et les pains (Ghamdiet *al.*, 2020) et est particulièrement consommée dans les soupes ou comme légume cuit (Bosman *et al.*, 2019). La citrouille est considérée comme bénéfique pour la santé en raison de ses nombreux composants biologiques et chimiques (Ratnam *et al.*, 2017). Ces composants chimiques, représentés par des oligo-éléments tels que le cuivre, le zinc, le manganèse et le sélénium, jouent un rôle important en tant que cofacteurs enzymatiques, qui ont un effet protecteur

contre le stress oxydatif (**Cartes et al., 2005**). Français Alors qu'il contient du manganèse (0,5mg/kg), du fer (1,37 mg/kg), du plomb (0,29 mg/kg), du nickel (0,5 mg/kg), du phosphore (11,38 mg/kg), du calcium (179 mg/kg), du magnésium (190 mg/kg), du sodium (159 mg/kg) et du potassium (160 mg/kg) (**Malla et Kurian,2016**). Parmi les composants chimiques, on trouve des glucides (66 %) et leur activité biologique antidiabétique (une forte diminution de la glycémie), et des protéines (3 %) et leur activité biologique anticancéreuse (**Malla et Kurian,2016**)

#### II.4.3 Orange

Les oranges sont des agrumes, également appelés hespéridés, caractérisés par une peau dure qui protège la partie comestible du fruit (**Davies et Albrigo, 1994**) Selon le Codex Alimentarius (1992), le terme « jus d'orange » désigne le jus extrait mécaniquement de l'écorce interne d'une orange, caractérisé par sa couleur, son arôme et son goût distinctifs. Le jus d'orange est un produit complexe dont les propriétés physiques, chimiques et sensorielles évoluent au cours du processus de fabrication, l'eau représentant la plus grande proportion (86 %) (Fredot, 2005). Selon Hendricks et Reed (1995), environ 76 % des solides hydrosolubles du jus d'orange sont principalement constitués de glucides et 21 % d'acides organiques et aminés, de sels minéraux, de vitamines et de lipides. Les 3 % restants sont constitués d'un grand nombre de composés divers, notamment des flavonoïdes, des composés volatils, des caroténoïdes et d'autres, qui influencent considérablement les propriétés sensorielles de ce produit. (vierling, 2003).

#### II.4.4 Maïs

Le maïs est une culture de base pour la consommation humaine (**Ho et Schmidhalter ,2005**). C'est la céréale la plus cultivée au monde. La production mondiale de maïs est en constante augmentation (**Lobel et Costa, 2011**). Les grains de maïs sont utilisés à diverses fins (cuits, rôtis, en salades et en soupes). La transformation du maïs permet d'obtenir divers produits tels que la semoule, la farine utilisée pour la fabrication de pâtes et de crêpes, et les grains d'orge pour la production de farine fermentée, traditionnellement utilisée comme farine de base pour la préparation de divers types de bouillies d'acacia (**Mayblin et al. , 2012**). Pour fabriquer de la farine de maïs, il faut : des grains de maïs triés, lavés à l'eau distillée et séchés au four à 55 °C pendant 24 heures. Après séchage, ces grains sont torréfiés et moulus, et la farine de maïs est obtenue après tamisage du matériau moulu (maille de 250 µm) (**Sika et al., 2019**).

## **II.5 Limitations nutritionnelles des cookies classique**

Les cookies classiques, bien qu'appréciés pour leur goût et leur texture, présentent plusieurs inconvénients sur le plan nutritionnel. Ces limitations sont principalement liées à leur composition riche en sucres, matières grasses saturées, et farines raffinées, ce qui peut avoir un impact négatif sur la santé, surtout en cas de consommation fréquente.

### **II.5.1 Teneur élevée en sucres ajoutés**

Les cookies classiques contiennent souvent une quantité importante de sucres simples, contribuant à une consommation excessive de sucre, associée à un risque accru de diabète de type 2, obésité, et maladies cardiovasculaires. (WHO, 2015)

### **II.5.2 Richesse en acides gras saturés et en gras trans**

Ils sont souvent fabriqués avec du beurre ou des margarines industrielles riches en graisses saturées et parfois en acides gras trans, qui peuvent augmenter le cholestérol LDL (mauvais cholestérol) et réduire le HDL, favorisant les maladies cardiovasculaires (Mozaffarian *et al.*, 2006).

### **II.5.3 Utilisation de farines raffinées pauvres en fibres**

La farine de blé blanche utilisée est appauvrie en fibres, vitamines et minéraux par rapport aux farines complètes ou alternatives. Cela contribue à une charge glycémique élevée et une faible satiété, favorisant le grignotage (Slavin, 2004).

### **II.5.4 Faible densité nutritionnelle**

Malgré leur apport énergétique important, les cookies classiques sont pauvres en micronutriments essentiels (vitamines, minéraux, antioxydants). Ils fournissent des calories vides sans bénéfices nutritionnels réels (Drewnowski, 2005)

### **II.5.5 Additifs et agents conservateurs**

Les produits industriels peuvent contenir additifs alimentaires (émulsifiants, arômes artificiels, conservateurs) qui, à long terme, pourraient être liés à des troubles digestifs ou à des déséquilibres du microbiote intestinal (Chassaing *et al.*, 2015)

## **II.6 vitamines c dans les produits alimentaires Vitamine C ou acide ascorbique**

### **II.6.1 Définition de vitamine c**

La vitamine C peut être considérée comme un dérivé cyclique des hexoses, et elle existe sous trois états différents d'oxydation et de réduction : la forme réduite, ou acide ascorbique ; et la forme oxydée, ou acide déhydro-ascorbique (Allen, 2000).

### II.6.2 Rôle de vitamine c

La vitamine C, ou acide ascorbique, joue un rôle dans la synthèse du collagène, de l'élastine, des catécholamines et de la carnitine en tant que coenzyme, neutralisant les radicaux libres et inhibant la formation de nitrosamines (composés cancérigènes qui peuvent être absorbés directement par l'alimentation ou produits par l'organisme à partir de nitrates et de nitrites alimentaires ; cependant, la vitamine C n'a aucun effet sur les nitrosamines déjà formées).

**Métabolisme du fer :** Le fer alimentaire est composé de fer hémique et non hémique, ce dernier étant la source la plus importante mais la moins absorbée. La vitamine C

Rôle de vitamine c

La vitamine C, ou acide ascorbique, joue un rôle dans la synthèse du collagène, de l'élastine, des catécholamines et de la carnitine en tant que coenzyme, neutralisant les radicaux libres et inhibant la formation de nitrosamines (composés cancérigènes qui peuvent être absorbés directement par l'alimentation ou produits par l'organisme à partir de nitrates et de nitrites alimentaires ; cependant, la vitamine C n'a aucun effet sur les nitrosamines déjà formées).

Convertit le fer ( $Fe^{3+}$ ) en fer ( $Fe^{2+}$ ), augmentant son absorption. C'est également une réponse immunitaire anti-absorptive et anti-infectieuse. (Dilmi et Boras, 2004) Elle intervient dans la biosynthèse des glucocorticoïdes et transporte les ions hydrogène nécessaires à la synthèse du collagène. (Alice *et al.*, 2008).

La vitamine C joue un rôle important dans le soutien du système immunitaire en stimulant l'activité des neutrophiles, en améliorant leur chimiotaxie, leur phagocytose et la production d'espèces réactives de l'oxygène pour détruire les agents pathogènes (Carr et Majini, 2017). Elle renforce la réponse immunitaire adaptative en activant les lymphocytes T et B. Elle protège également les cellules immunitaires du stress oxydatif grâce à son puissant pouvoir antioxydant et permet la régénération de la vitamine E, qui contribue à la stabilité des membranes cellulaires (Himila, 2017). La vitamine C maintient l'intégrité des barrières épithéliales, telles que la peau et les muqueuses, formant une première ligne de défense contre les infections (Carr et Majini, 2017).

### II.6.3 Sources de vitamine C

La vitamine C est présente dans tous les végétaux (**tableau 3**) en quantités importantes, atteignant 50 mg pour 100 grammes de portion comestible. On la trouve également en forte concentration dans les jus d'agrumes, contrairement au lait qui en contient une faible quantité. Cependant, le lait maternel en contient suffisamment pour couvrir les besoins d'un nourrisson (**Frenot et Verling, 2002**).

Parmi les autres sources alimentaires, on trouve : le kiwi, les fraises, les épinards, les agrumes (oranges, citrons et mandarines), le chou-fleur, le foie, la pastèque, les nectarines, les pommes de terre nouvelles et les tomates. Les fruits et légumes représentent environ 70 % des apports quotidiens recommandés. La vitamine C est plus fragile, notamment sous l'effet de la chaleur et de l'oxydation (les pertes à la cuisson peuvent atteindre 90 % de la valeur initiale). De plus, elle est hydrosoluble, ce qui entraîne des pertes supplémentaires lors de certaines cuissons (Frenot, 2007).

**Tableau 3** : Teneur en vitamine c dans différents fruits et légumes

<b>Aliments</b>	<b>milligramme (mg) de vitamine c/100g de poids frais</b>
Acérola ou cerise des Indes occidentales	<b>1745</b>
Baie d'églantier (cynorrhodon ou gratte-cul)	<b>1250</b>
Coriandre	<b>570</b>
Piment rouge	<b>370</b>
Goyave	<b>275</b>
Piment vert	<b>235</b>
Persil	<b>140–200</b>
Cassis	<b>130–220</b>
Choux de Bruxelles	<b>115</b>
Brocoli	<b>60–110</b>
Chou vert	<b>100</b>
Kiwi	<b>100</b>
Fenouil	<b>95</b>
Papaye	<b>80</b>
Cresson	<b>60</b>
Pamplemousse	<b>35</b>
Groseille, framboise	<b>30–35</b>
Ail	<b>30</b>
Radis, épinard, tomate, myrtille	<b>20–25</b>
Melon, mûre	<b>15–20</b>
Pomme de terre (vieilles, nouvelles)	<b>15–40</b>
Tomate	<b>25</b>
Abricot, banane, cerise, raisin	<b>10</b>
Pomme, poire, prune	<b>5</b>
Lait vache	<b>0,5–5</b>

#### II.6.4 Techniques pour préserver la vitamines c dans les produits de boulangerie

La vitamine C est très sensible à la chaleur, à l'oxygène, à la lumière et au pH alcalin, ce qui rend sa stabilité difficile dans les produits de boulangerie. Cependant, des stratégies technologiques existent pour réduire sa dégradation, comme l'encapsulation de la vitamine C dans une matrice protectrice (maltodextrine, gomme arabique, liposomes) afin de la protéger des conditions thermiques difficiles et de l'oxydation (**Augustin et Sanjuansri, 2015**). Alternativement, réduire la température et le temps de cuisson, ou utiliser des préparations sans cuisson, peut être utilisé pour réduire sa perte (**Lee et Cader, 2000**). Des antioxydants naturels, tels que des extraits de plantes riches en polyphénols (thé vert, curcuma, romarin), peuvent également être ajoutés, créant une synergie avec la vitamine C et ralentissant son oxydation (**Nimsi et Pal, 2015**). Ou maintenir l'acidité (pH) dans la formule, en ajoutant de l'acide citrique ou des ingrédients acidifiants (**Gregory, 1996**). Et le stockage après cuisson, car l'utilisation d'emballages opaques et de barrières à l'oxygène, ainsi que le stockage au froid, contribuent à augmenter la conservation de la teneur en vitamine C (**Camiloglu et al., 2016**).

### II.7 Les probiotique et leur intégration dans les produits de panification

#### II.7.1 Définition et rôles des probiotique

Le terme « probiotique » vient du grec et signifie littéralement « pour la vie ». Ce terme englobe les micro-organismes vivants qui, ingérés en quantité suffisante, présentent des bienfaits pour la santé de l'hôte. Les espèces bactériennes communément associées aux probiotiques comprennent les genres *Lactobacillus* et *Bifidobacterium*, ainsi que d'autres genres comme *Streptococcus* et *Enterococcus*. Les levures, dont *Saccharomyces boulardii*, sont également considérées comme des probiotiques (**Beutel, 2014**). La classification des souches probiotiques suit le Code international de nomenclature des micro-organismes, avec des recommandations pour leur dépôt dans des collections de cultures reconnues internationalement (**Burgin et al., 2011**). Les probiotiques sont des bactéries vivantes ou des levures probiotiques qui ont un impact positif sur la santé lorsqu'ils sont consommés régulièrement et en quantité suffisante.

Ils ne restent pas dans l'intestin et disparaissent après quelques jours à l'arrêt de leur consommation. Leur objectif est de favoriser la croissance des « bonnes » bactéries au détriment des bactéries nocives, et leurs effets sont multiples Il améliore le transit intestinal,

renforce le système immunitaire et les muqueuses et a un effet antimicrobien et anticancéreux. Les probiotiques peuvent être utilisés pour prévenir ou traiter la diarrhée due à des troubles intestinaux et prévenir certaines infections bactériennes. Les probiotiques les plus connus sont *Lactobacillus casei* (defensis), *L. acidophilus*, *L. plantarum*, *L. rhamnosus*, *B. lactisregularis*, *Bifidobacterium bifidum* (*Bifidus*), *B. longum*, *B. animalis*, *Streptococcus thermophilus* ou encore la levure *Saccharomyces boulardii*. On les trouve dans les aliments fermentés (yaourt, kéfir, kombucha, choucroute, cornichon...) ou sous forme de compléments alimentaires (gélules ou sachets) ( **Deluzarche,2020**).

### II.7.2 Souches probiotiques les plus utilisées

Les probiotiques sont des micro-organismes dont on sait qu'ils ont un impact positif sur la santé humaine. Toutefois, il est important de noter que tous les micro-organismes ne sont pas bénéfiques ; certains peuvent être nocifs pour la santé. C'est pourquoi des souches spécifiques de ces organismes ont été classées comme probiotiques en fonction de leur genre, de leur espèce, de leurs caractéristiques uniques, de leur impact positif sur l'hôte, ainsi que d'autres critères pertinents (**Guarner, 2017**).

#### II.7.2.1 Les bactéries du genre *Lactobacillus*

Les bactéries du genre *Lactobacillus* sont les bactéries *lactiques* les plus répandues, avec plus de 145 souches identifiées selon (Savadogo et Traore, 2011). Parmi ces dernières, on retrouve des espèces comme *L. acidophilus*, *L. casei strain shirota*, *L. johnsonii* et *L. plantarum*, qui sont reconnues comme non pathogènes, donc probiotiques, selon les travaux de (Cebecier et Gurakan, 2003). Ces souches sont utilisées pour la conservation et la fermentation des aliments, tout en favorisant la croissance longitudinale de l'hôte, comme l'ont souligné (**Tailliez et al., 2004**). Ce sont des bactéries anaérobies ou aérotolérantes à Gram positif, non sporulées, non-mobiles, qui vivent à des températures comprises entre 15 et 42°C et se caractérisent par des bacilles longs, minces ou ovales, reliés entre eux pour former une courte chaîne (**Tailliez, 2004**).

Les *lactobacilles* vivent dans des zones riches en nourriture et en énergie, caractérisées par la disponibilité de nutriments qui favorisent la multiplication et la croissance rapides des bactéries (**Dawaret al., 2017**). Ils jouent également un rôle crucial pour la santé humaine en réduisant la diarrhée, en abaissant le taux de cholestérol, en équilibrant le système immunitaire (**Tailliez, 2004**), protection contre les troubles digestifs, prévention des

maladies sexuellement transmissibles et des infections vaginales chez les femmes, et protection contre les caries dentaires (Leon *et al.*, 2018).

### II.7.2.2 *Les bactéries du genre Bifidobacterium:*

Le premier membre du genre *Bifidobacterium*, découvert par Tissier et nommé *Bifidobacterium bifidum*, a été isolé dans les fèces d'un nourrisson allaité. Le nom fait référence à la forme en Y caractéristique de la bactérie anaérobie à Gram-positif (Tissier, 1899). Plus tard, 1924, il a été proposé de le reclasser en tant que genre spécial (Orla et Jensen, 1924). La période d'acceptation de la classification a été considérable, puisqu'elle a duré cinquante ans (Von Ah, 2006).

Les *bifidobactéries* sont des *bacilles* non mobiles et anaérobies, caractérisés par une paroi cellulaire à Gram positif, formant des bâtonnets irréguliers sans produire de spores et peuvent se développer en longues chaînes ou en agrégats. Ces bactéries bâtonnets présentent une grande variabilité morphologique, présentant un test négatif pour la catalase (Von Ah, 2006)

Les souches du genre *Bifidobacterium* se développent de manière optimale à des températures comprises entre 37 et 41 °C. Aucune croissance bactérienne n'est observée à des températures inférieures à 20 °C ou supérieures à 50 °C. Cependant, les souches de *Bifidobacterium thermophilum* font exception, avec une température de croissance optimale de 49 °C (Dong *et al.*, 2000). De même, les souches de *Bifidobacterium thermophilum* peuvent se développer à des températures allant jusqu'à 47 °C (von Aah, 2006). Diverses espèces de *Bifidobacterium* jouent un rôle crucial dans le microbiote intestinal humain (Arrignon *et al.*, 2002).

### II.7.2.3 *Streptococcus thermophilus*

Les *streptocoques* sont des organismes qui prospèrent à des températures élevées (Sharma *et al.*, 2014). Ils appartiennent au groupe de bactéries connues sous le nom de bactéries lactiques (Iyer *et al.*, 2010 ; Kibuchiet *et al.*, 2016) au sein de l'embranchement des Firmicutes, de l'ordre des Lactobacilles, de la famille des Streptocoques (Sharma *et al.*, 2014) et du genre *Streptococcus* (Iyer *et al.*, 2010). Ces bactéries sont classées comme Gram positives (Sharma *et al.*, 2014), non sporulées (Huang *et al.*, 2017) et anaérobies facultatives (Delorme, 2008), survivant à des températures élevées allant jusqu'à environ 42 °C (Uriot *et al.*, 2017). Ces bactéries sont largement utilisées dans diverses industries, notamment dans la Elles sont capables de survivre et de se multiplier dans le milieu acide et biliaire du tractus gastro-intestinal (Uriot *et al.*, 2017).

production de fromage et d'autres produits alimentaires (Cui *et al.*, 2016). Leurs propriétés bénéfiques pour l'organisme leur permettent d'être classées parmi les probiotiques. La Food and Drug Administration (FDA) américaine a approuvé leur innocuité.

#### II.7.2.4 *Lactococcus lactis*

*Lactococcus lactis* est la bactérie la plus étudiée dans l'industrie agroalimentaire et est considérée comme un organisme modèle en raison de sa présence dans de nombreux produits laitiers. On la retrouve également dans les herbes, les plantes et les produits végétaux, comme les pois. De plus, on la retrouve occasionnellement dans le tractus gastro-intestinal et le pharynx, composant du microbiote humain normal (Mufferridge *et al.*, 2007). L'intérêt pour *Lactococcus lactis* s'est accru en raison de sa présence dans les produits laitiers fermentés (Kogan *et al.*, 1997), où son effet positif sur la santé des personnes qui les consomment régulièrement a été observé. Suite à ces découvertes, elle a été considérée comme sûre et certaines souches ont été classées comme probiotiques (Mufferridge *et al.*, 2007) et utilisées dans divers produits alimentaires, notamment dans la fabrication du fromage (Beresford *et al.*, 2001).

#### II.7.2.5 *Saccharomyces cerevisiae var boulardi*

Elle est utilisée dans le processus de fermentation du lait et sa transformation en divers produits tels que le fromage, le yaourt et d'autres produits laitiers (Ansari *et al.*, 2023). Cette levure se développe à des températures relativement basses, la température de croissance idéale se situant autour de 37 °C (Kelesidis et Pothoulakis, 2012). De plus, elle est très résistante aux acides et peut survivre et prospérer dans des environnements à pH très bas (Ansari *et al.*, 2023). Cette levure est classée comme probiotique en raison de sa capacité à adhérer à la paroi intestinale (Ansari *et al.*, 2023) et de sa tolérance aux conditions gastro-intestinales difficiles, même à pH élevé (Kelesidis et Pothoulakis, 2012). Cette levure améliore la santé de la muqueuse intestinale (Rajkovska *et al.*, 2012) et possède de nombreuses activités antioxydantes (Ansari *et al.*, 2023). Elle possède également des propriétés antitoxiques et aide à éliminer les toxines nocives de l'organisme (Kelesidis et Pothoulakis, 2012). Son efficacité a été démontrée dans la lutte contre certains types de cancer et le renforcement du système immunitaire (Ansari *et al.*, 2023). L'introduction de cette levure dans l'organisme humain par le biais du lait et de certains fruits qui en contiennent joue un rôle important dans la prévention et le traitement de certaines maladies (Ansari *et al.*, 2023).

### II.7.2.6 *Lactobacillus salivarius* S142

La souche *Lactobacillus salivarius* S142 a été identifiée pour ses propriétés antimicrobiennes, sa capacité d'adhésion à la muqueuse intestinale et son potentiel à moduler favorablement le microbiote intestinal (Gao *et al.*, 2017).

## II.8 Défis d'incorporation dans des matrices cuites

Défis d'incorporation dans des matrices cuites (survie à la chaleur) L'un des principaux défis liés à l'incorporation de probiotiques dans des matrices alimentaires cuites (comme les biscuits, les pains ou les gâteaux) est la sensibilité thermique des souches. En effet, la plupart des bactéries probiotiques sont des micro-organismes mésophiles, avec une température optimale de croissance autour de 37 °C. Lors de la cuisson, les températures peuvent dépasser 100–180 °C, ce qui entraîne une perte significative de viabilité cellulaire (Corcoran *et al.*, 2004 ; Chavarriet *al.*, 2010).

La survie des souches dépend de plusieurs facteurs :

**La nature de la souche :** certaines souches comme *Lactobacillus plantarum* et *Bacillus coagulans* montrent une meilleure tolérance à la chaleur (Selmo *et al.*, 2014).

**La durée et la température de cuisson :** plus la température est élevée et prolongée, plus la mortalité bactérienne est importante.

**La protection par la matrice :** certaines matrices riches en lipides ou en protéines peuvent offrir une protection thermique partielle.

**L'utilisation de technologies de microencapsulation :** des revêtements à base d'alginate, d'amidon ou de protéines peuvent améliorer la survie des cellules lors de la cuisson (Gbassi *et al.*, 2009 ; Heidebach *et al.*, 2010).

## II.9 Techniques de protection

La survie des souches repose sur l'utilisation de plusieurs techniques, dont la microencapsulation, qui consiste à encapsuler les cellules probiotiques dans des matrices protectrices, formant ainsi des microcapsules qui les isolent des conditions défavorables telles que la chaleur, l'oxygène, le pH acide et l'humidité. Cette méthode améliore significativement la survie des aliments pendant la cuisson et leur passage dans le tube digestif (Ghabassi *et al.*, 2009 ; Heidebach *et al.*, 2010). Une autre option consiste à ajouter des probiotiques après la cuisson, c'est-à-dire après la réfrigération du produit alimentaire, afin de le protéger des températures dangereuses. Cette méthode est efficace, mais nécessite un contrôle

environnemental rigoureux (humidité, hygiène et stockage) pour préserver sa durée de conservation. Elle est utilisée sous forme de fourrages ou de crèmes ajoutés après la cuisson (**Yonekura et al., 2014**). ou en sélectionnant des souches résistantes à la chaleur telles que *Bacillus coagulans* et *Lactobacillus sporogenes*. Ces souches sont particulièrement adaptées aux produits de boulangerie (**Celmo et al., 2014**).

# **PARTIE II :LA PARTIE EXPERIMENTALE**

# **Chapitre III :**

## **Matériels et méthodes**

### III.1 L'objectif

Le choix de ce thème est motivé par plusieurs considérations à la fois nutritionnelles, scientifiques et sociétales. Dans un contexte où les maladies liées à l'alimentation, telles que l'obésité, le diabète et les troubles digestifs, sont en constante augmentation, il devient essentiel de proposer des alternatives plus saines aux produits alimentaires couramment consommés, tels que les biscuits. Ce travail s'inscrit dans cette logique, en cherchant à développer des cookies fonctionnels, enrichis en vitamine C et en probiotiques, deux éléments reconnus pour leurs effets bénéfiques sur le système immunitaire et la santé intestinale. L'utilisation de la farine de teff, une céréale sans gluten riche en nutriments, répond également à la demande croissante de produits adaptés aux personnes intolérantes au gluten ou souhaitant adopter une alimentation plus équilibrée. Enfin, ce thème représente un réel intérêt scientifique en explorant la faisabilité technologique et la stabilité nutritionnelle de ces ingrédients fonctionnels dans une matrice cuite comme le cookie, tout en évaluant leur acceptabilité sensorielle par les consommateurs.

### III.2 Présentation de site d'étude

Ensemble de ce travail a été réalisé au laboratoire des micro-organismes bénéfiques, des aliments fonctionnels et de la santé (LMBAFS, site II ex. INES de chimie), au laboratoire pédagogique de biochimie 3 et au laboratoire pédagogique de microbiologique 1, faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem.

### III.3 Méthodologie

#### III.3.1 Matériels biologiques

Le matériel végétal utilisé se compose de graines de teff (figure 16), obtenues via le site spécialisé en alimentation naturelle et diététique "Naturalim" ([www.naturalim.com](http://www.naturalim.com)), situé à Bordj El Bahri (Alger). Les fruits de citrouille et d'orange ont été achetés au marché du centre-ville de Mostaganem. Les autres ingrédients, tels que le sucre, le bicarbonate alimentaire, l'huile et le sel, ont été acquis dans une supérette de Mostaganem.

Le probiotique SL42 est une souche isolée en 2018 à partir du lait maternel d'une jeune mère en bonne santé, au sein du laboratoire LMBAFS. Cette souche a été par la suite identifiée comme appartenant à l'espèce *Lacticaseibacillus rhamnosus*.



**Figure 13** : emballage commercial de graines de teff –kg

### III.3.2 Matériel non biologique

La réalisation des expériences a fait appel à un matériel classique composé de Verreries, d'équipement, d'appareillages et de réactifs et produits chimiques.

Les réactifs et produits chimiques utilisées :

**DPPH** : (1,1 Diphényl 2 PycrilHydrazil) est un radical libre stable de couleur violette intense. Il est employé dans la mesure de l'efficacité d'un antioxydant à fixer des radicaux libres et donc d'arrêter la propagation de la réaction en chaîne.

**Frape** : (Ferric évalue la capacité antioxydant de l'échantillon. La réduction du fer de fer ( $Fe^{++}$ ) Reducing Antioxydants Power ) Il s'agit d'une méthode chimique vitale qui dans le fer en fer (FEOUR) est des mesures des antioxydants existants, ce qui conduit à un changement coloré de mesure quantitatif. Ce test est utilisé pour estimer; énergie antioxydant totale pour les matériaux. Phénol : (Folin-Ciocalteu) Les composés phénoliques sont généralement oxydés par le réactif de Folin Ciocalteu. Les constituants de ce dernier, qui sont l'acide phosphotungstique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et l'acide phosphomolybdique ( $H_3PMo_{12}O_{40}$ ), sont réduits en un mélange d'oxydes bleus de tungstène ( $W_8O_{23}$ ) et de molybdène ( $MO_8O_{23}$ ) (Boizotet Charpentier., 2006).

**Flavonoïdes :** Les flavonoïdes sont des composés polyphénoliques naturels, souvent pigments jaunes, très répandus chez les végétaux, avec diverses fonctions biologiques et antioxydants.

### III.4 Détermination de la composition globale

#### III.4.1 Détermination Teneur en eau

##### Principe

La méthode de référence pratique consiste en un étuvage à pression atmosphérique, à une température de 130-133°C, dans des conditions opératoires définies, la perte de masse observée est équivalente à la quantité d'eau présente dans le produit. Elle est effectuée selon la méthode normalisée en Algérie NA/1133/1990

##### Mode opératoire

Peser la capsule métallique vide. Peser 5,00g d'échantillon dans la capsule métallique. Induire la capsule ouverte contenant la prise d'essai et le couvercle dans l'étuve pendant 2 h une température de 130°C. En opérant rapidement, retirer la capsule de l'étuve, la couvrir et la placer dans le dessiccateur. Laisser refroidir la capsule, puis peser la capsule

##### Expression des résultats

Le teneur en eau en% est donnée par la formule suivante :

$$\text{teneur en eau \%} = \frac{(M_0 + P_i) - M_1}{P_i} \times 100$$

Pi : masse de la prise d'essai (g)

M0 : masse de capsule vide (g)

M1 : masse de la prise d'essai après étuvage(g) (matière sèche + capsule)

#### III.4.2 Teneur en cendres

La teneur en cendres est déterminée selon la norme NA/732/1991 qui est en concordance technique avec la norme Française NF.11.28.1985.

##### Principe

L'incinération du produit dans une atmosphère oxydante à une température de 900°C jusqu'à combustion complète de la matière organique. La teneur en cendres est déterminée par la pesée du résidu (Norme Algérienne. 733.191. E ; ISO 2171).

**Mode opératoire**

Peser les nacelles vides.

Peser 5,00g d'échantillon dans les nacelles avec ajout de 1 à 2 ml d'éthanol.

On enflamme l'échantillon par briquet, et place les nacelles à l'entrée du four sur laporte jusqu'à ce que la flamme s'éteigne puis on les place dans le four à 550°C pendant 4 h.

**Expression des résultats**

Le taux de cendres est déterminé par la pesée du résidu, elle est exprimée en pourcentage par rapport à la matière sèche.

$$\text{teneur en cendre \%} = M_1 \times \frac{100}{M_0} \times \frac{100}{100 - H}$$

M<sub>0</sub> : la masse de la prise d'essai (g).

M<sub>1</sub> : la masse du résidu (g).

H : la teneur en eau de l'échantillon (%).

**III.4.3 La teneur en protéines totales****Principe**

Les protéines des échantillons sont dosées par la méthode de Lowry (1951).

Les protéines réagissent avec le réactif de Folin-Ciocalteu pour donner des complexes colorés. L'intensité de la coloration dépend de la quantité d'acides aminés aromatiques présents et varie selon les protéines. Les densités optiques sont mesurées à 600nm avec pour témoin une solution contenant tous les réactifs exceptés les protéines.

**Mode opératoire**

Peser une quantité d'1g de l'échantillon.

Broyer avec 25ml de l'eau physiologique (1g NaCl dans 1L de l'eau distillée).

Filtrer, ensuite dans un bécher prendre 1ml de chaque échantillon, et compléter le volume jusqu'à 100ml avec de l'eau distillée.

Prendre 3 tubes et mettre 1 ml de la solution de l'échantillon dans chacun. Les échantillons sont conservés dans des tubes à essai à l'obscurité au réfrigérateur pendant 24h.

**Préparation de réactif de Lowry (des 2 solutions A, B)**

Solution A est constituée d'1g de la soude (NaOH) mélangée à 5g de Carbonate de sodium (NaCO<sub>3</sub>) dans 250ml de l'eau distillée.

Solution B est un mélange de 0,125g de sulfate de cuivre (Cu SO<sub>4</sub>) et de 0,25g de tartrate double Sodium Potassium dans 25ml de l'eau distillée.

Le réactif de Lowry est composé de 50ml de la solution A et de 5ml de la solution B.

Ajouter 5ml du réactif de Lowry aux tubes et laisser reposer 10 min, puis mettre 0,5ml de FolinCiocalteu dilué à moitié dans chaque tube.

Agiter et laisser reposer 30 min à l'obscurité au réfrigérateur.

La lecture se fait au spectrophotomètre avec une longueur d'onde de 600nm.

La densité optique obtenue est ensuite convertie en pourcentage de protéines grâce à la droite d'étalonnage préparée.

Déterminer la concentration de l'échantillon à partir de la droite d'étalonnage et de la densité optique mesurée par la formule

Avec  $Y = a \times X$

Y : densité optique

X : Concentration de l'échantillon.

a : Constante.

Calculer la teneur en protéines exprimée en pourcentage par la formule

$C = (W \times 25 \times 100) \div \text{poids de l'échantillon}$

Avec :

C : Concentration en protéines. X : Concentration de l'échantillon en abscisse.

#### **III.4.4 La teneur en lipides totaux**

##### **Principe**

La teneur en lipides totaux est déterminée selon la norme AFNOR NFV03-712 (1984).

##### **L'analyse consiste à :**

L'extraction de la matière grasse par de l'hexane réalisée dans un appareil d'extraction de type SOHXLET pendant 4 – 6 heure.

L'élimination de l'hexane par séchage de l'extrait lipidique dans une étuve.

##### **Mode opération**

Sécher les ballons de 500ml à l'étuve à 150°C, puis les refroidir.

Peser les ballons puis introduire 10g d'échantillon dans des cartouches.

Placer les cartouches de l'appareil SOHXLET .

Verser 300ml d'éther de pétrole dans chaque ballon.

Placer les ballons sur la chauffe ballon pendant 5 heures.

Après, éliminer le solvant du ballon

Sécher le résidu du ballon dans une étuve à 80-100°C.

Refroidir les ballons.

Peser les ballons avec l'huile

### Expression des résultats

La teneur de lipides totaux en % est calculée par la formule suivante :

$$\text{Teneur en lipide \%} = \frac{Pf - R}{M} \times 100$$

Pf : poids du ballon contenant les lipides (g).

Pi : poids initial (ballon vide) (g).

M : prise d'essai

## III.5 Caractéristiques rhéologiques de la farine de Teff

### III.5.1 Densité en vrac (BD)

La densité apparente a été mesurée à l'aide de la méthode de Wang et Kinsella. Un total de 10 g de farine a été placé dans un cylindre gradué de 25 ml et tapé doucement dix fois sur une paillasse à une hauteur de 5 à 8 cm. Le volume final de la farine testée a été mesuré et le BD a été représenté en grammes par millilitre.

### III.5.2 Indice d'absorption d'eau (WAI)

L'indice d'absorption d'eau a été calculé selon la méthode décrite précédemment pour les céréales. La farine en poudre a été mise en suspension dans l'eau à température ambiante pendant 30 minutes, délicatement mélangée pendant cette période, puis centrifugée à 3000× g pendant 15 minutes. Les surnageant ont été décantés dans une coupelle d'évaporation préalablement pesée. Le WAI est le poids du gel obtenu après élimination du surnageant par unité de poids des matières sèches d'origine.

### III.5.3 Capacité d'absorption de l'huile (OAC)

La capacité d'absorption de l'huile a été calculée selon la méthode de Lin et al. dans un tube à centrifuger préalablement peser 0,5 g de farine et 10 ml d'huile raffinée ont été combinés et mélangés au vortex pendant 10 minutes. Les tubes ont été centrifugés pendant 25 minutes à 3000× g. Après avoir été inversés pendant 10 minutes, l'huile a été égouttée et les tubes à centrifuger ont été pesés.

### III.5.4 Capacité de moussage

La technique de Lin et al a été utilisée pour mesurer la capacité de moussage. Cinq pour cent (5 %) de 100 ml de farine dispersée dans l'eau ont été homogénéisés. Le volume de mousse a été mesuré immédiatement après le transfert du mélange dans une éprouvette graduée de 2500 ml. L'activité moussante a été indiquée en pourcentage d'augmentation du volume.

### III.5.5 Rendement en gluten

Le lavage des mains a été effectué conformément à la méthode internationale 38-10.01 de l'AACC. Des aliquotes de 25 g de farine ont été mélangées à une quantité appropriée d'eau (12-15 ml), pétries jusqu'à ce que la pâte obtenue soit ferme et lisse, puis reposées pendant 2 heures pour permettre à la structure du gluten de se développer. La pâte a été lavée jusqu'à ce qu'il ne reste que la boule de gluten foncé, après quoi le gluten humide a été pesé. Rendement en gluten humide = (poids du gluten humide obtenu/poids de la farine) ×100

### III.5.6 Évaluation de l'activité prébiotique

L'évaluation de l'activité prébiotique a été réalisée en utilisant *Lactobacillus rhamnosus* ATCC 7469 (LGC, Teddington, Middlesex, UK) comme bactérie probiotique qui a été stockée par cryoconservation à -80 °C. Une aliquote de la culture mère a été transférée aseptiquement sur une plaque de milieu Man, Rogosa et Sharpe (MRS), incubée à 37 °C pendant 2 jours et maintenue à 4 °C. Le test a été réalisé en ajoutant 1 % (v/v) d'une culture d'une nuit de *L. rhamnosus* à des tubes séparés contenant un milieu de bouillon MRS non supplémenté (blanc) ou supplémenté avec 1 % (p/v) de glucose ou 1 % (p/v) d'échantillons digérés in vitro lyophilisés (CTRc, HSc5 % et HSc10 %). Les cultures ont été incubées à 37 °C sous agitation à 130 rpm pendant 48 h. À 0 h et 48 h, les échantillons ont été analysés pour dénombrement en trois exemplaires par la méthode de l'étalement en utilisant des protocoles de dilution en série sur des plaques de gélose MRS. Les plaques ont été incubées à 37 °C pendant 48 h, après quoi les échantillons ont été dénombrés en UFC/mL de culture.

### III.5.7 Propriétés des farines et des amidons

Le pouvoir de gonflement (SP) et la solubilité (S) du RS4 et du MS ont été déterminés selon Bodjrenou et al 2023. Un échantillon de 0,5 g de chaque amidon a été mélangé à 25 ml d'eau distillée et chauffé à 95 °C pendant 20 minutes sous agitation. La suspension a été centrifugée à 1700× g pendant 15 min, et après décantation, une aliquote du surnageant a été évaporée à 105 °C pendant 2 h. Le SP et le S ont été calculés comme suit :

$$SP (g/g) = Sw/(Ms - S)$$

$$S (g/g) = Mds/Ms \times 100$$

Où Sw est le poids du sédiment (g) et Ms est l'amidon dans la masse native (g). où w0 (g) est le poids sec et w(g) est le poids après absorption d'eau. Les profils de viscosité des farines et des amidons ont été réalisés à l'aide d'un analyseur rapide de viscosité (RVA-Super4, Newport Scientific, Warriewood, NSW, Australie) selon la méthode 76-21. Un échantillon de 3,5 g (14 % d'humidité) a été mélangé à 25 g d'eau distillée. Le profil d'empâtage STD1 de la RVA a été sélectionné. Le test consistait à chauffer l'échantillon à 50 °C et à le maintenir à cette température pendant 1 minute ; il était ensuite porté à 95 °C à la vitesse de 12 °C/min et maintenu à 95 °C pendant 2,5 minutes, suivi d'un refroidissement à 50 °C à la même vitesse et d'un maintien à cette température pendant 2 minutes. La vitesse de rotation des palettes a été fixée à 160 tours/minute. Les paramètres de viscosité maximale, de viscosité minimale, de décomposition, de recul et de viscosité finale ont été obtenus. Les analyses ont été effectuées en double.

### III.6 Screening Phytochimique de la farine

Les tests phytochimiques consistent à identifier les différentes familles des métabolites secondaires existant dans les parties aériennes de *Medicago sativa*, et ceci par une caractérisation qualitative.

#### III.6.1 Test des polyphénols

La caractérisation des polyphénols a été réalisée en utilisant la réaction au chlorure ferrique (Fe Cl<sub>3</sub>). Pour ce faire, 2 ml de l'extrait ont été mélangés avec une goutte de solution alcoolique de chlorure ferrique à 2 %. L'observation d'une coloration bleu-noirâtre ou verte, dont l'intensité varie, indique la présence de polyphénols (N'Guessan *et al.*, 2009).

### III.6.2 Test des flavonoïdes

La méthode la plus couramment utilisée pour caractériser les flavonoïdes est la réaction de cyanidine. En présence de 1 ml d'acide chlorhydrique concentré et de quelques copeaux de magnésium sur 2 ml d'extrait brut, les flavonoïdes provoquent un dégagement d'hydrogène et induisent une coloration variant de l'orange au rouge pourpre

La présence de flavones est généralement indiquée par une coloration rose-orangée, tandis que les flavanones produisent une coloration rose-violacée. Quant aux flavonols et aux flavanonols, leur présence est mise en évidence par une coloration rouge (Mouellet, 2004).

### III.6.3 Test des tanins

Les tanins ont été identifiés grâce à la réaction de Bate-Smith : quelques milligrammes d'extrait brut ont été ajoutés à 1 ml de HCl concentré, puis le mélange a été porté à ébullition pendant dix minutes. L'apparition d'une couleur rouge brique indique la présence des tanins (Houtaet *al.*, 2012).

### III.6.4 Test des alcaloïdes

Les alcaloïdes ont été identifiés en utilisant le réactif de Dragendorff. Nous avons ajouté 1ml d'extrait dans un tube à essai, suivi de l'ajout de cinq gouttes du réactif

$$R(\%) = (M_{\text{ext}} \times M_s) \times 100$$

### III.6.5 Test des saponosides

Les saponines ont été évaluées quantitativement en calculant l'indice de mousse, qui correspond au degré de dilution d'un décocté aqueux qui donne une mousse persistante dans des conditions spécifiques. 1g d'extrait végétal brut à tester pour faire une décoction avec 100 ml d'eau. Après chauffage pendant 15 minutes, le volume est ajusté à 100 ml. Cette solution mère est utilisée pour préparer 11 tubes contenant successivement 0 à 5 ml d'extrait aqueux, le volume final étant réduit à 10 ml avec de l'eau distillée. Ensuite, chaque tube est agité vigoureusement en position horizontale pendant 15 secondes (Vigor *et al.*, 2011).

### III.7 Détermination de contenu physico-chimique

#### III.7.1 Préparation de l'extrait

Extraction a été réalisée selon la méthode décrite par **Xiang et al. (2019)**, avec quelques modifications apportées dans le cadre de ce travail (**figure 14**). En résumé, un gramme de grains de teff préalablement broyés a été mis en contact avec 20 ml d'un mélange hydro-alcoolique composé de 80 % d'éthanol et 20 % d'eau distillée. L'ensemble a été agité pendant 48 heures à l'obscurité afin de favoriser l'extraction des composés bioactifs. Le mélange a ensuite été filtré sous vide, ce qui a permis d'obtenir un précipité. Ce dernier a été soumis à une évaporation rotative à 40 °C afin de récupérer l'extrait hydro-éthanolique final.

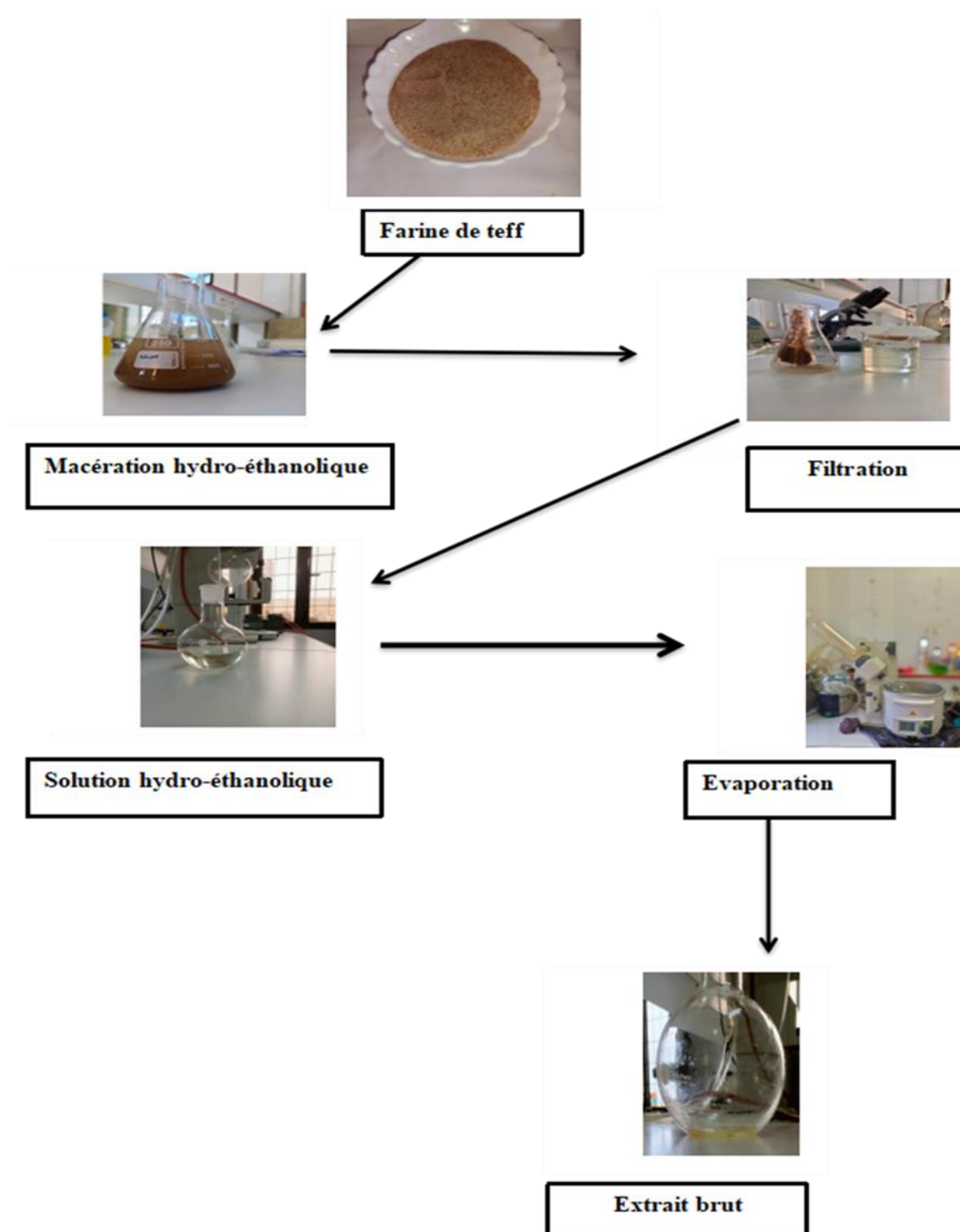


Figure 14 : diagramme d'extraction

### III.7.2 Détermination du contenu phénolique et flavonoïque

#### III.7.2.1 Dosage des phénols

Préparation :

L'extrait

Réactif de Folin à 10%

Acide gallique (200 µg/mL)

Carbonate de sodium (75 mg/mL)

#### Mode opératoire

1 ml de réactif de Folin (10 fois dilué) est ajouté à 200 µl d'échantillon ou standard avec des dilutions convenables. Après 4 min, 800 µl d'une solution de carbonate de sodium sont additionnés au milieu réactionnel. Après 2 h d'incubation à température ambiante l'absorbance est mesurée à 760 nm. L'acide gallique est utilisé comme standard ; 3 répétitions pour chaque tube (0-200 µg/mL) (**Talbiet al., 2015**). La concentration des polyphénols totaux est calculée à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage établie avec l'acide gallique et elle est exprimée en mg d'équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait (mg EAG/g d'extrait).

#### III.7.2.2 Dosage des flavonoïdes

Préparation :

L'extrait (1mg/mL)

AlCl<sub>3</sub> à 2 %.

Quercétine (20µg/mL)

#### Mode opératoire

1 ml d'extrait ou standard a été ajouté à 1mL de solution d'AlCl<sub>3</sub> à 2 %. Le mélange a été incubé 10 min dans l'obscurité à température ambiante et l'absorbance a été lue à 430 nm. La concentration en flavonoïdes est déduite à partir de la gamme d'étalonnage établie avec la quercétine (0 à 20 µg/ml). 3 répétitions pour chaque tube (**Bahorunet al., 1996**).

### III.8 Evaluation de l'activité antioxydants

#### III.8.1 Test de DPPH

Préparation

Solution de DPPH à 0.004%

Extrait

Acide ascorbique

### Mode opératoire

2500 µL de DPPH a été ajoutés à 100 µL de l'échantillon ou des standards à différentes concentrations. Les mélanges ont ensuite été incubés à l'obscurité et à température ambiante pendant 30 min. L'absorbance a été mesurée à 517 nm. Le pourcentage d'activité de piégeage des radicaux DPPH a été calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{Activité de piégeage des radicaux DPPH (\%)} = (A_0 - A_1) / A_0 \times 100$$

Où A0 est l'absorbance du contrôle (solution DPPH) et A1 est l'absorbance de l'échantillon/étalon. Nasri *et al.*, (2017).

Contrôle : 100 µl méthanol+2500 µl DPPH

### III.8.2 Test de FRAP

Préparation

Extrait : 40 mg extrait+1ml méthanol

Acide ascorbique : 200ug/ml (solution mère (SM) : 1mg acide ascorbique + 1ml méthanol puis on prépare un solution fille : 400µL of SM +1600µl de méthanol).

Tampon phosphate 0,2 M à pH 6,6 : 0.5M KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> +0.5M Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> (solution A :10.2g de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> +150ml d'eau distillée, solution B : 17.9g de Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 100ml d'eau distillée. Puis en mélange 133ml de solution A et 89.2 ml de solution B et on complète le volume jusqu'à 1L.

Ferricyanure de potassium à 1 % : 1g de K<sub>3</sub>Fe[CN]<sub>6</sub> +100ml d'eau distillée.

Acide trichloracétique à 10 % (TCA): 10g d'acide trichloracétique + 100ml d'eau distillé

Chlorure de fer à 0,1 % : 0.1g de FeCl<sub>3</sub> + 100ml d'eau distillée.

### Mode opératoire

1 mL d'extrait/ standard à différentes concentrations a été mélangé avec 2,5 mL de solution tampon phosphate 0,2 M à pH 6,6 et 2,5 mL de ferricyanure de potassium à 1 % (K<sub>3</sub>Fe[CN]<sub>6</sub>). Le mélange a été incubé à 50°C pendant 20 min. La réaction a été arrêtée avec 2,5 mL d'acide trichloracétique à 10 %. Après centrifugation à 1000 tr/min pendant 10 min, 2,5 mL du surnageant ont été ajoutés à 2,5 mL d'eau distillée et 0,5 mL de chlorure de fer à 0,1 % (FeCl<sub>3</sub>). L'absorbance a été mesurée à 700 nm. Le pouvoir réducteur a été exprimé en concentration efficace médiane (EC50) (Gheffour *et al.*,2015).

NB : toute les volumes de cette protocole a été divisé sur 4 (250 µL extrait+625µL PBS+ 625µl K<sub>3</sub>Fe[CN]<sub>6</sub> + incubation + 625 µl TCA + centrifugation + 625µl de surnageant + 625µl d'eau distillée + 125µl FeCl<sub>3</sub>.)

### III.9 Évaluation de l'activité antimicrobienne

L'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits issus de la farine a été réalisée selon la méthode des puits sur gélose Muller-Hinton, en suivant le protocole décrit par **Dieye et al. (2022)**. Les cultures bactériennes ont été préparées et leur turbidité ajustée à 0,5 selon l'échelle de McFarland. L'inoculum a été uniformément étalé sur la surface de la gélose solidifiée à l'aide d'un écouvillon stérile. Des puits de 6 mm de diamètre ont été formés à l'aide d'un emporte-pièce ou d'une pipette Pasteur stérile, puis remplis avec 50 à 100 µL d'extrait végétal, préparé à la concentration de 100 mg/mL dans du diméthylsulfoxyde (DMSO) stérilisé par filtration (filtre de 0,2 µm).

Des témoins négatifs (eau distillée) et positifs (DMSO) ont été utilisés pour valider le test. L'incubation des boîtes a été réalisée à 37 °C pendant 24 heures pour les bactéries et à 30 °C pendant 48 heures pour la levure *Candida albicans* (**tableau 4**). L'activité antimicrobienne a été évaluée par la mesure du diamètre des zones d'inhibition formées autour des puits, exprimé en millimètres. Chaque test a été réalisé en triplicat afin d'assurer la fiabilité des résultats.

**Tableau 4:** Les souches pathogènes utilisé

Les souches pathogènes	Code ATCC
<i>Candida albicans</i>	<b>10231</b>
<i>Escherichia coli</i>	<b>25922</b>
<i>Staphylococcus aureus</i>	<b>33862</b>
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<b>27853</b>
<i>Salmonella enterica subsp.</i>	<b>4931</b>
<i>Klebsiellapneumoniae</i>	<b>38813</b>

### III.10 Fabrication des biscuits

#### III.10.1 Préparation de la farine de teff

Les graines de teff ont été finement broyées, puis tamisées afin d'obtenir une farine dont la taille des particules est inférieure ou égale à 300  $\mu\text{m}$ . La farine obtenue a ensuite été conservée à 4 °C dans des bocaux propres, hermétiques et correctement étiquetés.

#### III.10.2 Préparation des cookies

Les cookies ont été préparés en combinant 125 g de farine de teff et 30 g de farine de maïs, auxquels ont été ajoutés 60 g de sucre, 1/2 cuillère à café de bicarbonate de sodium alimentaire, une pincée de sel, 80 g de purée de citrouille, 60 g d'huile végétale, ainsi que le jus d'une orange enrichi en probiotiques  $10^8$ . Après avoir préchauffé le four à 180 °C, les ingrédients secs (farines, sucre, bicarbonate, sel et purée de citrouille) ont été mélangés dans un saladier. L'huile a ensuite été incorporée progressivement, suivie du jus d'orange probiotique, jusqu'à l'obtention d'une pâte homogène. La pâte ainsi obtenue a été façonnée à la main en petites boules, puis disposée sur une plaque recouverte de papier sulfurisé. La cuisson a été réalisée au four pendant 10 minutes. Après cuisson, les cookies ont été laissés à refroidir à température ambiante pendant 10 à 15 minutes avant toute analyse (**figure 15**).

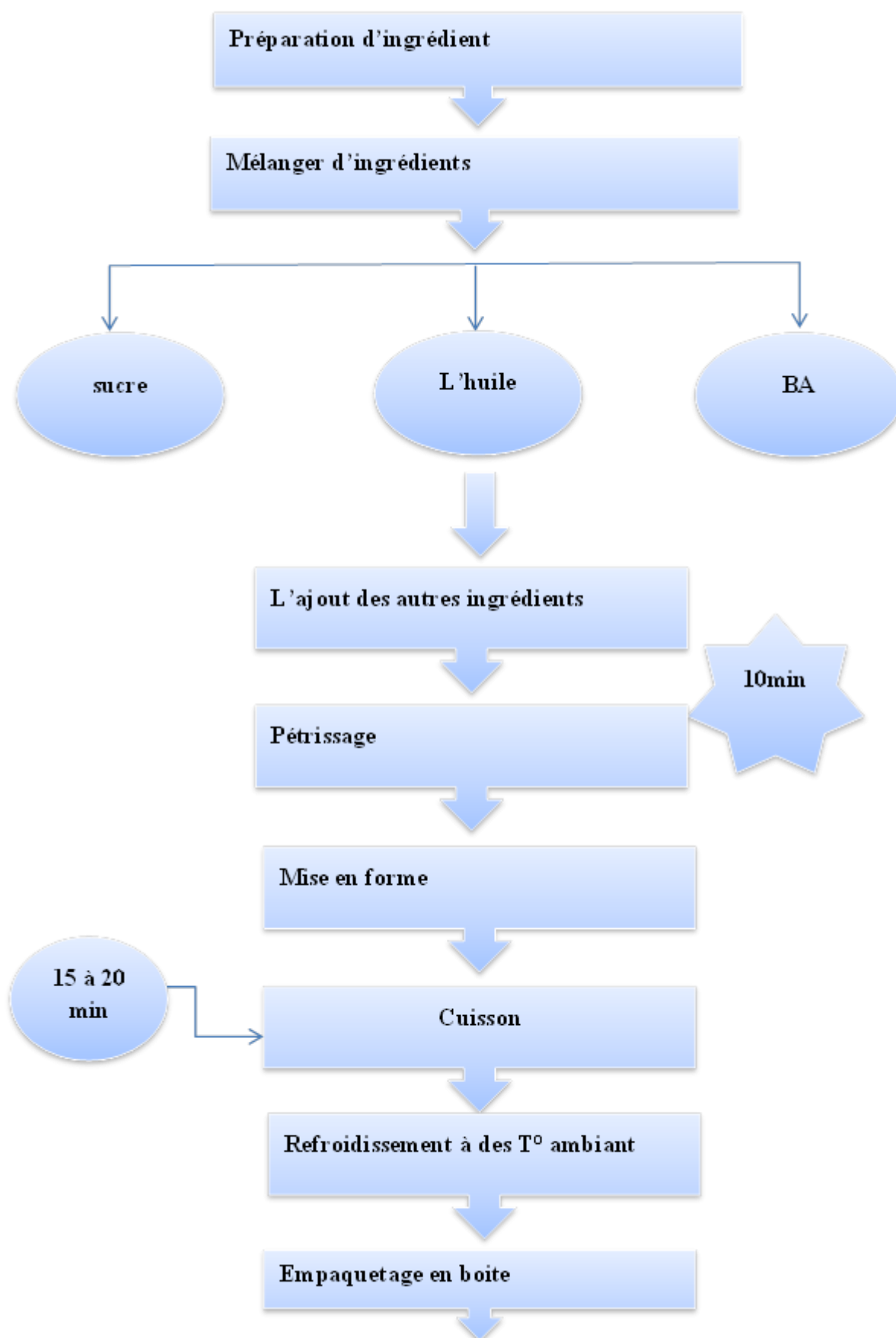


Figure 15 : diagrammes de préparation de biscuits

### III.10.3 Analyse de l'aspect et de la texture

Le diamètre et l'épaisseur ont été mesurés à l'aide d'un pied à coulisse numérique à deux endroits différents de chaque biscuit, et la moyenne a été calculée pour chacun d'entre eux. La fracturable a été mesurée en exerçant la même force au centre du biscuit. La moyenne de six biscuits a été enregistrée pour chaque lot, tandis que le poids des biscuits a été déterminé à l'aide d'une balance électronique. Le ratio d'étalement a été calculé en divisant le diamètre du biscuit par sa hauteur. Plus de six biscuits ont été utilisés pour tester la dureté (force maximale la plus élevée) de chaque échantillon à l'aide d'un analyseur de texture. Les vitesses de pré-test, de test et de post-test étaient respectivement de 1,5, 2 et 10 mm/s. La force maximale nécessaire pour casser les biscuits a été définie comme la force de rupture (N). Des biscuits commerciaux à base de farine de blé (Delight® du marché algérien, Douera, Alger) ont été utilisés comme référence.

### III.10.4 Analyse sensorielle

Les échantillons de biscuits ont été évalués par un panel de 10 panélistes formés conformément à la norme ISO 8586. Chaque session de formation a duré 2 heures. Dans un premier temps, les panélistes ont été initiés aux descripteurs qui peuvent être utilisés pour évaluer les biscuits. Ensuite, ils ont été entraînés à reconnaître les attributs sensoriels extrêmement défavorables. Dans la dernière partie, les évaluateurs ont élaboré et finalisé une liste de six descripteurs à utiliser dans le test. L'intensité de chaque attribut est évaluée sur une échelle de 7 points (1 = intensité la plus faible - 7 = intensité la plus élevée). Les attributs évalués et leurs échelles d'intensité correspondantes étaient les suivants : couleur (intensité de la couleur sur la surface : de 1-extrêmement clair à 7-extrêmement foncé) ; aspect de la surface (nombre de fissures sur la surface des biscuits : de 1-beaucoup à 7-aucune) ; dureté (facilité avec laquelle les échantillons peuvent être cassés en deux parties : de 1-extrêmement mou à 7-extrêmement dur) ; granularité (proportion de petites particules solides entre les dents pendant la mastication : de 1-beaucoup à 7-aucune) ; forme (de 1-régulière à 7-déformée) ; goût (de 1-mauvais, étranger à 7-caractéristique, aromatique).

Les échantillons de biscuits ont été placés sur des assiettes en plastique blanc, codés avec des codes à trois chiffres générés à partir d'une table de nombres aléatoires, et chaque membre du panel a évalué cinq échantillons par session.

**III.11 Analyse statistique**

Les résultats obtenus dans cette étude sont présentés sous forme de moyenne  $\pm$  écart-type, calculés à partir de trois répétitions indépendantes. L'analyse de la signification statistique des données a été réalisée à l'aide d'une analyse de variance (ANOVA)

# **Chapitre IV :**

## **Résultats et discussion**

## IV.1 Caractéristiques physiques et composition nutritionnelle du grain de teff

### IV.1.1 Caractéristiques physiques

Le teff se distingue comme le plus petit grain parmi les céréales à farine complète, avec des dimensions moyennes d'environ 1,0 mm de long et 0,60 mm de large. Le poids moyen de mille grains est de seulement 0,26 g. La couleur du grain varie selon les variétés (figure 16), allant de l'ivoire clair à un brun rougeâtre très foncé. Toutefois, après mouture fine du grain entier, les différences de couleur de la farine obtenue deviennent peu perceptibles. Cela suggère que les pigments responsables de la coloration des grains bruns sont majoritairement localisés dans le péricarpe.



**Figure 16** : grains de teff

### IV.1.2 Composition nutritionnelle

**Tableau 5** : teneur de macronutriment de teff

<b>Macronutriment</b>	<b>Teneur (%)</b>
protéines totales	<b>12,37 ± 2.04</b>
acides aminés essentiels	<b>35.09 ± 1.3</b>
hydrates de carbone	<b>80.6 5.3</b>
Amidon	<b>74 1.5</b>
fibres alimentaires	<b>7.4 2.4</b>
Lipide	<b>3.4</b>

L'analyse de la composition nutritionnelle du teff met en évidence une teneur notable en macronutriments et en micronutriments, confirmant son potentiel en tant qu'aliment fonctionnel. La teneur moyenne en protéines totales est de  $12,37 \pm 2,04$  %, avec une proportion élevée en acides aminés essentiels atteignant  $35,09 \pm 1,3$  %, ce qui témoigne de la bonne qualité biologique de ses protéines. Les glucides constituent la majorité de la composition du grain, représentant environ  $80,6 \pm 5,3$  %, dont  $74 \pm 1,5$  % sous forme d'amidon. Par ailleurs, le teff présente une teneur intéressante en fibres alimentaires ( $7,4 \pm 2,4$  %), renforçant son intérêt nutritionnel, notamment pour la santé digestive.

Ces résultats confirment les données rapportées par **Bultosa (2007)**, qui souligne également la richesse du teff en nutriments essentiels, en particulier en protéines complètes et en fibres. Grâce à ce profil nutritionnel, le teff s'inscrit parmi les céréales d'intérêt croissant dans les régimes sans gluten et les approches alimentaires visant à prévenir les maladies métaboliques.

**Tableau 6** : teneur de micronutriments de grains de teff

<b>Micronutriment</b>	<b>Mg /g</b>
Ca	<b>170</b>
Fe	<b>8,63</b>
Mg	<b>157</b>
P	<b>420</b>
Zn	<b>4,36</b>
Vitamines de groupe B	<b>2,363 mg/100g</b>
Vitamine K	<b>0,9 µg/100 g</b>

La farine de teff présente une composition particulièrement riche en micronutriments essentiels à la santé humaine. Elle se distingue par une teneur élevée en phosphore (420 mg/100 g), calcium (170 mg/100 g) et magnésium (157 mg/100 g), trois minéraux indispensables au bon fonctionnement du système osseux, musculaire et nerveux. La teneur en fer est également remarquable, atteignant 8,63 mg/100 g, positionnant le teff comme une source précieuse pour la prévention des carences en fer.

Comparativement, la farine de blé entier contient en moyenne 370 mg/100 g de phosphore, 34 mg/100 g de calcium, 117 mg/100 g de magnésium et seulement 3,6 mg/100 g de fer. De même, la farine de riz brun, souvent utilisée dans les régimes sans gluten, affiche des teneurs inférieures : environ 337 mg/100 g de phosphore, 10 mg/100 g de calcium, 110 mg/100 g de magnésium et 2,6 mg/100 g de fer (USDA, 2024).

Ces données soulignent l'avantage nutritionnel de la farine de teff, en particulier pour les régimes visant à enrichir l'apport en minéraux essentiels. Son profil minéral supérieur, notamment en fer et en calcium, en fait une candidate idéale pour les formulations alimentaires destinées aux groupes vulnérables tels que les enfants, les femmes enceintes ou les personnes souffrant d'anémie. Ces observations rejoignent les conclusions de Mohammed et al. (2019), qui affirment que le teff surpasse plusieurs autres céréales en matière de densité minérale. Notamment l'anémie. Le zinc, indispensable au système immunitaire et à la croissance cellulaire, est présent à hauteur de 4,36 mg/100 g.

Concernant les vitamines, la farine de teff contient 2,363 mg/100 g de vitamines du groupe B, connues pour leur rôle dans le métabolisme énergétique et le fonctionnement du système nerveux. Enfin, bien que présente en plus faible quantité, la vitamine K (0,9 µg/100 g) joue un rôle clé dans la coagulation sanguine et la santé osseuse.

Ces résultats confirment que le teff est une céréale à forte valeur nutritionnelle, notamment en micronutriments, et pourrait contribuer de manière significative à une alimentation équilibrée.

## IV.2 Résultats de caractéristiques rhéologiques de la farine de Teff

### IV.2.1 Densité en vrac (BD)

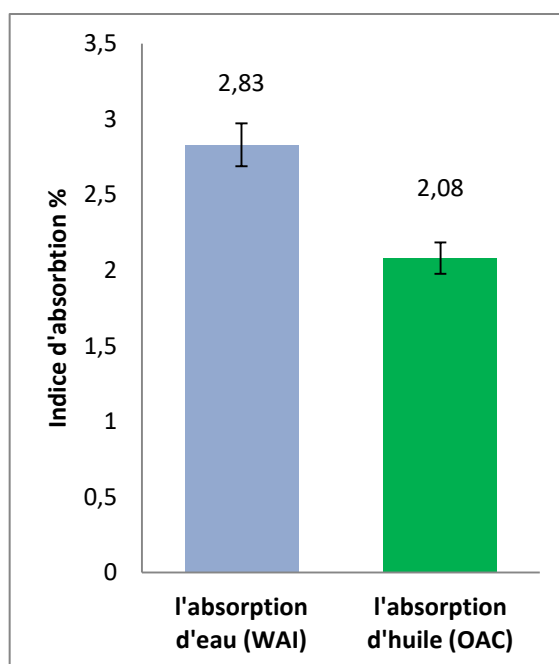
La densité apparente de teff comestible dans ce travail était de (0,68g/ml), c'est moins que à la plage de référence observée pour les farines de teff (0,72- 0,81 g/ml) (Tadesse et al., 2021). La diminution de la densité apparente pourrait être due à la destruction des

composés complexes tels que l'amidon (Menasra, 2020). Toutefois, une légère faible densité apparente serait un avantage dans la formulation d'aliments complémentaires, elle implique également que le produit peut être facilement emballé pour une utilisation économique (Nina et al., 2019).

#### IV.2.2 Indice d'absorption d'eau (WAI) et La capacité d'absorption d'huile (OAC)

Indice d'absorption d'eau dans le teff dans ce travail est 2,83 et c'est un bon résultat est plus élevée que la moyenne rapportée pour les farines de teff (2,10- 2,50) (Tadesse et al., 2021). La capacité de rétention d'eau des farines joue un rôle important dans les formulations alimentaires car elle affecte directement les propriétés physicochimiques et sensorielles (friabilité, tendreté) du produit fini. Autrement dit, l'utilisation des farines dans une formulation alimentaire est fortement liée à son interaction avec l'eau (Sreerama et al., 2012). L'absorption d'eau est un facteur de qualité très important dans les produits de boulangerie (Pylar, 1988).

La capacité d'absorption d'huile dans teff 2,08 est nettement plus élevée que celles rapportées dans la littérature pour la farines de teff (1,22- 1,50) (Tadesse et al., 2021). La farine à haute capacité d'absorption d'huile peut être utile dans les produits de boulangerie qui nécessitent une grande capacité de rétention d'huile, tels que les pâtisseries brisées, les gâteaux, les madeleines et les macarons (Oppong et al., 2015). Les résultats obtenus se trouvent en diagramme (figure 17).



**Figure 17** : diagramme en bâtons comparant la capacité d'absorption d'eau (WAI) et d'huile (OAC) de la farine de teff.

#### IV.2.3 La capacité de moussage (CM)

La capacité de moussage dans teff (30,4%) est inférieure à la plage rapportée dans littérature (40- 83,5%) (**Tadesse et al.,2021**). Les propriétés moussantes sont souhaitables dans les produits alimentaires tels que les gâteaux, le pain, les meringues, les craquelins, la crème glacée et de nombreux autres produits de boulangerie pour maintenir une texture et une structure uniformes tout au long du traitement et du stockage (**Nawaz et al., 2015**).

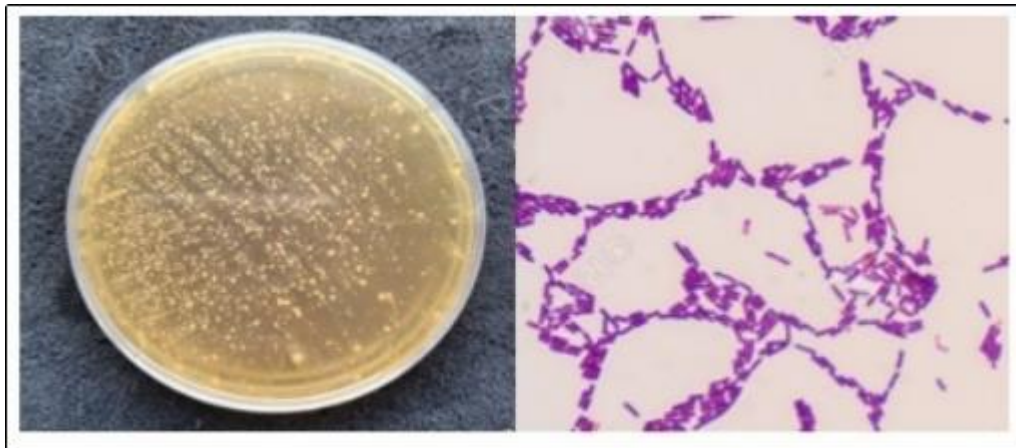
#### IV.2.4 Le rendement en gluten

Le rendement en gluten de teff = 0% Les résultats obtenus confirment que la farine de teff est une farine sans gluten. Ce résultat est en accord avec les données rapportées par Tadesse et al. (2021) qui soulignent l'absence de gluten dans le teff En comparaison, d'autres céréales telles que le quinoa, l'amarante et le sarrasin sont également sans gluten, tout en offrant une bonne qualité nutritionnelle. Ces farines sont couramment utilisées dans les produits diététiques à base de céréales sans gluten en raison de leurs propriétés nutritionnelles (**Coletto et al.,2021**).

#### IV.2.5 Évaluation de l'activité prébiotique

Les résultats ont montré que les échantillons contenant des hydrolysats de teff digérés in vitro favorisent significativement la croissance de *L. rhamnosus* (**figure 18**). Ces résultats sont cohérents avec ceux rapportés par (**Tadesse et al.,2021**), qui ont souligné la présence de fibres solubles, de polysaccharides non digestibles et de composés phénoliques dans le teff, contribuant à un effet prébiotique. Par ailleurs ont observé que la fermentation in vitro de fibres issues de pseudo-céréales (dont le teff) stimule la croissance de bactéries lactiques, notamment *L. rhamnosus* et *Bifidobacterium bifidum*. Ces résultats soulignent la capacité fermentescible des composants du teff, notamment les fibres solubles et les composés phénoliques, à stimuler des bactéries probiotiques telles que *L. rhamnosus* (**Zielińska et al., 2015**).

Des études antérieures (**Rastall et Gibson, 2015 ; Bindels et al., 2015**) ont montré que ces composants favorisent la croissance microbienne bénéfique. Comparé à l'inuline ou aux FOS, le teff se distingue par une richesse en micronutriments et une structure de fibres particulière. Toutefois, la limite majeure de cette étude réside dans son approche in vitro, nécessitant des validations in vivo ultérieures (**Minekus et al., 2014**).



**Figure 18** : résultats d'évaluation de l'activité prébiotique.

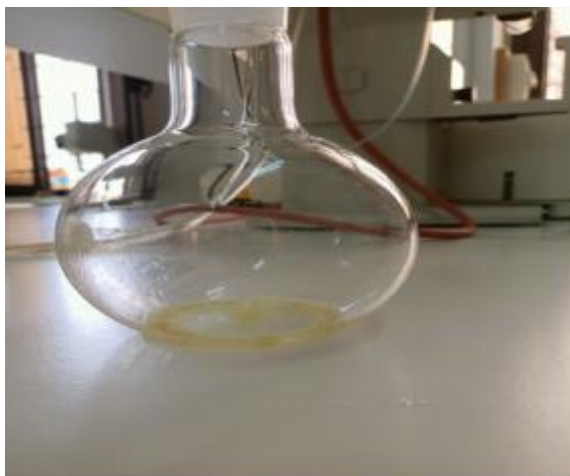
#### IV.2.6 Propriétés des farines et des amidons et les autres composants

L'activité d'absorption de l'amidon de teff obtenue dans cette étude est de (10,41), ce qui reflète la forte affinité de l'amidon de teff pour l'eau, avec la gamme rapportée par (**Tadesse et al., 2021**), qui a observé des valeurs allant de (8,0 à 11,2) pour différentes variétés de teff. En comparaison avec l'amidon de riz présente des capacités d'absorption d'eau généralement plus faibles, autour de ( 6,1 à 8,0), selon (**Peroniet al.,2006**) et l'amidon de sorgho atteint environ ( 8,5) dans les meilleures conditions, selon (Ratnavathi et Patil , 2013), et l'amidon de quinoa a montré une capacité d'absorption intermédiaire de (8,0 à 9,3 g/g), comme le rapporte (**Abugoch ,2009**).

### IV.3 Détermination du contenu physico-chimique

#### IV.3.1 Résultats de l'extraction

L'extraction des composés bioactifs présents dans la farine de teff à l'aide d'éthanol a permis d'obtenir un rendement moyen de 10 % (figure 19) . Ce résultat est en accord avec les données rapportées dans la littérature. En effet, **Tadesse et al. (2021)** ont observé des rendements d'extraction des composés phénoliques totaux variant entre 8 % et 12 %, en fonction du type de solvant utilisé, du rapport solvant/matière, de la température et de la durée d'extraction.

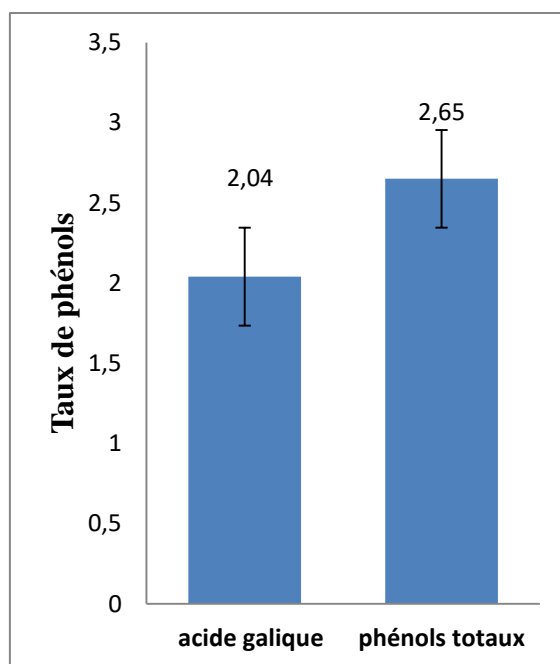


**Figure 19:** Extraction hydro-éthanolique

#### IV.3.2 Teneur de phénols

La teneur en composés phénoliques totaux mesurée dans l'échantillon de farine de teff est de 2,65 mg d'équivalents d'acide gallique par gramme de matière sèche (mg GAE/g) (**figure 20**). Cette concentration se situe dans la fourchette inférieure des valeurs rapportées dans la littérature. **Tadesse et al. (2021)** ont observé des teneurs variant de 2,3 à 4,9 mg GAE/g, en fonction de la variété de teff, des conditions agroécologiques et des méthodes de traitement post-récolte.

Ces différences peuvent également s'expliquer par le type de solvant utilisé pour l'extraction, le rapport solvant/matière, ainsi que par la maturité du grain au moment de la récolte. D'après **Mohammed et al. (2019)**, les composés phénoliques dans le teff sont influencés non seulement par des facteurs génétiques, mais aussi par les techniques de transformation, telles que la germination, la fermentation ou le séchage, qui peuvent augmenter ou réduire la teneur en antioxydants.



**Figure 20** : diagramme en bâtons de teneur composé phénols totaux

### IV.3.3 Flavonoïde

La teneur en flavonoïdes totaux mesurée dans la farine de teff est de 3 mg d'équivalents de quercétine par gramme de matière sèche (mg QE/g) (**figure 21**). Cette concentration témoigne d'une présence modérée de flavonoïdes, qui constituent une sous-classe majeure des composés phénoliques, reconnus pour leurs effets antioxydants, anti-inflammatoires, et cardioprotecteurs.

Selon **Shumoy et Raes (2017)**, la teneur en flavonoïdes dans le teff peut varier sensiblement en fonction de plusieurs facteurs, notamment la variété génétique, les conditions agroécologiques, le stade de maturité du grain, ainsi que les procédés post-récolte ou de transformation. Les auteurs rapportent des concentrations comprises entre 2 et 5 mg QE/g, ce qui situe la valeur obtenue dans notre étude (3 mg QE/g) dans la moyenne des valeurs attendues pour cette céréale.

Ces résultats confirment l'intérêt du teff comme source de flavonoïdes alimentaires, et soulignent son potentiel dans les formulations nutritionnelles visant à renforcer l'apport en antioxydants d'origine naturelle.

---

#### IV.4 Evaluation de l'activité antioxydant

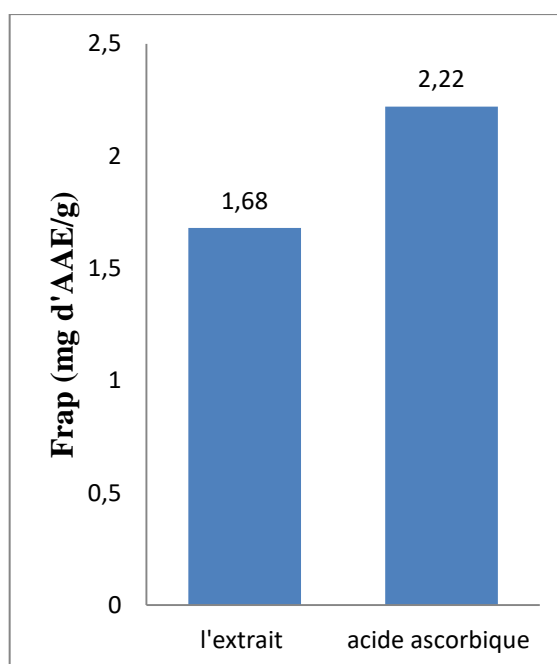
##### IV.4.1 Test de piégeage du radical libre DPPH

Les résultats obtenus ont révélé que l'extrait de farine de teff possède une activité antioxydant mesurable par la méthode DPPH, avec une valeur d'IC<sub>50</sub> estimée à 1,699 mg/MI . Cette valeur correspond à la concentration nécessaire pour inhiber 50 % des radicaux libres DPPH présents dans le milieu réactionnel. À titre comparatif, l'antioxydant standard, l'acide ascorbique, a présenté une IC<sub>50</sub> de 4,037 mg/mL, ce qui indique une activité antioxydant nettement plus élevée que celle de l'extrait de teff.

Ainsi, bien que l'extrait de teff affiche une activité antioxydant modérée, sa capacité de piégeage des radicaux libres reste significative. Ces résultats sont cohérents avec ceux rapportés par **Shumoy et Raes (2017)**, qui ont évalué l'activité antioxydant de différents cultivars de teff et rapporté des valeurs d'IC<sub>50</sub> comprises entre 1,5 et 3,8 mg/mL, en fonction de la variété et des traitements post-récolte.

#### IV.4.2 Test de la réduction du fer (FRAP)

Dans notre étude, la capacité antioxydante réductrice a été estimée à 1,68 mg d'équivalents acide ascorbique par gramme (mg AAE/g) de matière sèche (**figure 21**). Ce résultat se situe dans la plage inférieure à intermédiaire des valeurs rapportées dans la littérature. En effet, Boka et al. (2020) ont évalué l'activité antioxydante de plusieurs cultivars de teff par la même méthode, et ont observé des valeurs allant de 1,55 à 2,90 mg AAE/g, en fonction de la variété, des conditions de culture et des traitements post-récolte.



**Figure 21** : diagramme de comparaison de l'activité antioxydant frap entre l'acide ascorbique et l'extrait de la farine de teff

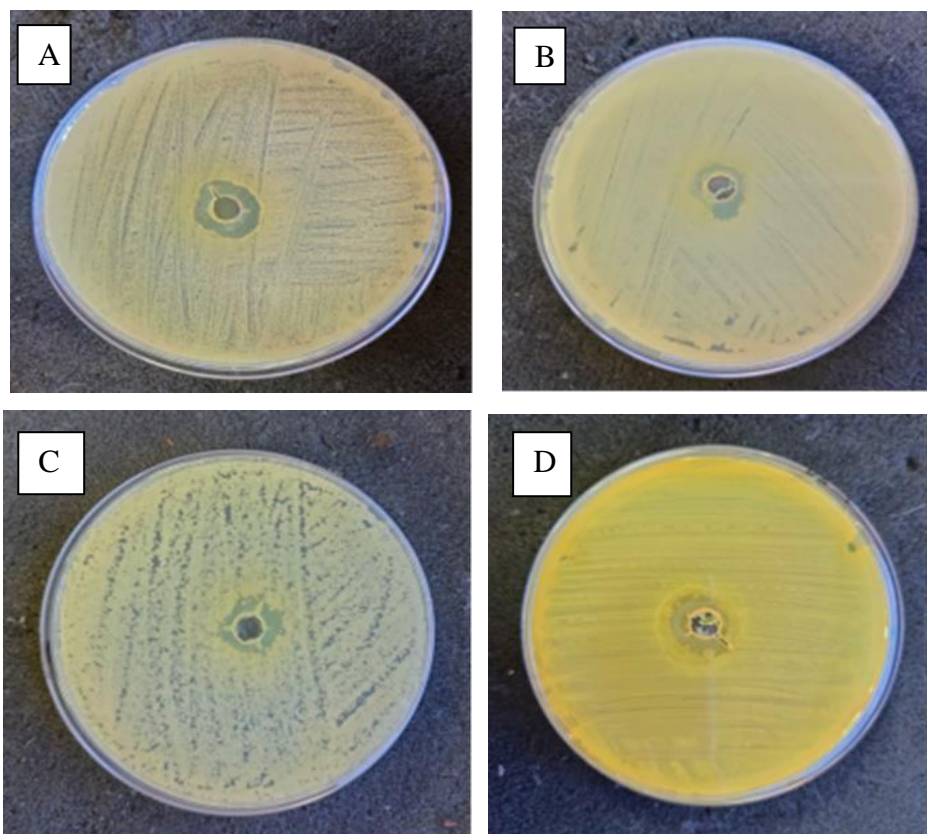
#### IV.5 Détection de l'activité antimicrobienne

Toutes les souches testées ont présenté des zones d'inhibition, ce qui montre que l'extrait de farine de teff possède une activité antimicrobienne notable (**figure 22**). La plus grande zone d'inhibition a été observée contre *Candida albicans* (18 mm), indiquant un bon effet antifongique. La plus petite zone a été mesurée contre *Klebsiella pneumoniae* (10 mm), suggérant une sensibilité plus faible ou une certaine résistance. Chez les bactéries Gram positives, *Staphylococcus aureus* a montré une zone d'inhibition de (14 mm), ce qui traduit une bonne sensibilité. Cela s'explique en partie par la structure plus simple de leur paroi

cellulaire, qui les rend plus sensibles aux agents antimicrobiens. Les bactéries Gram négatives, comme *Salmonella enterica* (13 mm) et *Klebsiella pneumoniae* (10 mm), ont montré une sensibilité plus variable, probablement en raison de leur double membrane cellulaire protectrice (tableau 7).

**Tableau 7** : zones d'inhibition en (mm) des souches pathogènes

les souches pathogènes	zones d'inhibition (mm)
<i>Candida albicans</i>	18
<i>Staphylococcus</i>	14
<i>Salmonella</i>	13
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	10



**Figure 22** : zones d'inhibition en (mm) des souches pathogènes (A. *Candida albicans*, B. *Klebsiella pneumoniae*, C. *Staphylococcus*, D. *Salmonella*)

#### IV.6 Analyse de l'aspect et de la texture

Il a été observé que la couleur des biscuits à base de teff était brun foncé, semblable à celle des biscuits à base de cacao, ce qui les rendait très populaires auprès des consommateurs. La couleur brune observée dans les biscuits peut être partiellement attribuée à la couleur intrinsèque du teff utilisé. Le teff brun, présente une pigmentation naturelle plus foncée qui influence directement la couleur du produit final (**Bultosa et al., 2002 ; Tadesse et al., 2021**) d'après les commentaires des consommateurs, la couleur des biscuits bruns est appréciée à 100 %.

Les cookies à base de teff présentent des dimensions plus grandes, un poids plus élevé et une texture plus tendre, ce qui peut les rendre plus attractifs sur le plan sensoriel, notamment pour des consommateurs recherchant des produits sans gluten mais gourmands. Ces propriétés montrent que la farine de teff est une alternative prometteuse à autre farine pour la formulation de cookies sans gluten, en apportant des bénéfices en texture et en structure.

**Tableau 8:** Paramètres physico-mécaniques des cookies formulés.

Paramètre	Cookies a base de farine de teff	Formulation contrôle (farine de riz)
Poids (g)	14 ± 4	8,63 ± 0,18
Diamètre (mm)	67 ± 3	41,2 ± 0,3
Épaisseur (mm)	6 ± 1	6,58 ± 0,3
Ratio d'étalement (D/T)	8 ± 0.3	6,26 ± 0,22
Dureté (hardness) (N)	14 ± 0.17	18.5 ± 0,4

Le goût est un paramètre essentiel pour l'évaluation de la qualité gustative du cookie, il dépend principalement des ingrédients entrants dans la préparation. Les ingrédients ayant la plus forte influence sont la farine, la matière sucrante et la matière grasse (FELLOWS, 2000)

Selon les résultats, les dégustateurs ont trouvé les biscuits sucrés et acceptables (70%) et n'ont pas aimé le goût des biscuits (30%). Les consommateurs ont perçu des saveurs fruitées (60 %) et des saveurs non fruitées (40 %). Le goût de citrouille n'était pas évident et était éclipsé par le goût d'orange.

#### IV.7 Discussion générale

Les résultats obtenus au cours de cette étude confirment le potentiel de la farine de teff en tant qu'ingrédient fonctionnel et technologique dans la formulation de produits de boulangerie sans gluten, en particulier les cookies.

Sur le plan nutritionnel, le teff se distingue par une composition riche et équilibrée. Sa teneur en protéines ( $12,37 \pm 2,04$  %) est supérieure à celle de nombreuses céréales sans gluten, avec une part importante d'acides aminés essentiels ( $35,09 \pm 1,3$  %), ce qui lui confère une haute valeur biologique (**Bultosa, 2007**). Sa richesse en glucides complexes ( $80,6 \pm 5,3$  %), dont une grande proportion d'amidon ( $74 \pm 1,5$  %), en fait une source d'énergie durable. De plus, sa teneur en fibres alimentaires ( $7,4 \pm 2,4$  %) contribue à améliorer le transit intestinal et favorise un effet prébiotique (**Tadesse et al., 2021**).

Le profil en micronutriments est également remarquable. Le teff contient des niveaux significatifs de phosphore (420 mg/100 g), de calcium (170 mg/100 g), de magnésium (157 mg/100 g) et de fer (8,63 mg/100 g), dépassant ceux de farines de blé ou de riz (USDA, 2024). Ces teneurs justifient son intérêt dans la prévention de carences nutritionnelles, notamment en fer, et soutiennent les recommandations nutritionnelles pour les populations vulnérables (**Mohammed et al., 2019**).

D'un point de vue fonctionnel, la farine de teff a montré de bonnes propriétés hydrophiles et lipophiles, avec un indice d'absorption d'eau (WAI) de 2,83 et une capacité d'absorption d'huile (OAC) de 2,08, des valeurs supérieures à celles rapportées dans la littérature (**Tadesse et al., 2021**). Ces propriétés influencent positivement la texture, la tendreté et la stabilité des produits finis (**Sreerama et al., 2012 ; Pylar, 1988**), ce qui est particulièrement important dans les formulations sans gluten où la structure est souvent compromise par l'absence de gluten.

Concernant les composés bioactifs, la teneur en composés phénoliques totaux (2,65 mg GAE/g) et en flavonoïdes (3 mg QE/g) se situe dans les plages rapportées pour le teff (**Tadesse et al., 2021 ; Shumoy & Raes, 2017**). L'activité antioxydante mesurée par la méthode DPPH ( $IC_{50} = 1,699$  mg/mL) et FRAP (1,68 mg AAE/g) indique une capacité modérée mais significative de neutralisation des radicaux libres, attribuée à la présence de polyphénols, flavonoïdes et autres antioxydants hydrosolubles (**Boka et al., 2020**). Ces activités contribuent potentiellement à la prévention du stress oxydatif et des pathologies chroniques associées.

---

L'extrait hydro-éthanolique de teff a également démontré une activité antimicrobienne notable contre plusieurs souches pathogènes, notamment *Candida albicans*, *Staphylococcus aureus*, et *Salmonella enterica*, ce qui peut être lié à la présence de composés secondaires bioactifs tels que les polyphénols, les flavonoïdes et les saponines (**Diyai et al., 2022**). La sensibilité plus faible observée chez *Klebsiella pneumoniae* peut s'expliquer par sa structure membranaire complexe, typique des bactéries Gram négatives, qui agit comme une barrière protectrice (**Nikaido, 2003**).

Les caractéristiques texturales et dimensionnelles des cookies à base de teff confirment leur aptitude technologique. Leur poids, diamètre et ratio d'étalement sont supérieurs à ceux des cookies formulés à base de farine de riz, tandis que leur dureté est plus faible ( $14 \pm 0,17$  N contre  $18,5 \pm 0,4$  N), indiquant une texture plus tendre et moelleuse. Ceci est cohérent avec les observations de **Gómez et al. (2007)**, qui ont montré que les farines riches en fibres et en matières grasses produisent des biscuits plus tendres et plus expansés. L'analyse sensorielle a par ailleurs révélé une bonne acceptabilité, avec une préférence pour la couleur brune intense et la saveur fruitée, attribuables à la pigmentation naturelle du teff et à l'ajout de purée de citrouille et de jus d'orange.

# **Conclusion**

### Conclusion

La présente étude met en évidence les nombreuses qualités de la farine de teff en tant qu'ingrédient fonctionnel et nutritionnel prometteur pour l'élaboration de produits sans gluten. Grâce à sa composition équilibrée en macronutriments, sa richesse en micronutriments essentiels (fer, calcium, phosphore, magnésium) et sa teneur appréciable en composés bioactifs (polyphénols, flavonoïdes), le teff s'affirme comme une céréale à haute valeur ajoutée.

Les tests technofonctionnels ont montré que la farine de teff possède de bonnes propriétés d'absorption d'eau et d'huile, une aptitude intéressante pour les formulations de produits de boulangerie, et qu'elle présente une activité antioxydante et antimicrobienne modérée mais significative. L'élaboration de cookies à base de farine de teff a permis d'obtenir un produit final présentant des caractéristiques physico-texturales avantageuses — plus grande taille, texture plus tendre, bon ratio d'étalement — ainsi qu'une bonne acceptabilité sensorielle chez les consommateurs.

Ces résultats soulignent la capacité de la farine de teff à remplacer avantageusement les farines conventionnelles dans les produits sans gluten, tout en apportant des bénéfices nutritionnels et fonctionnels. Son utilisation pourrait ainsi contribuer à améliorer la qualité des aliments destinés aux personnes souffrant d'intolérances au gluten, mais aussi à enrichir l'offre en produits sains et innovants sur le marché alimentaire.

# Annexe

L'évaluation de la qualité sensorielle du produit sera notée sur 20 points, répartie comme suit : 8 points pour la saveur (gout), 5 points pour l'arôme (odeur), 5 points pour la couleur, et 2 points pour la texture.

Age :

Sexe :

Prise d'antibiotiques ou problème ORL/ maladies chroniques/maladie cœliaque:

<b>Critère évalué:</b>	<b>Nb de points attribués</b>	<b>Opérateur .....</b>
<b>1- Gout:</b>		
- gâté, goût de farine, gout acidulé ou divers goûts ne correspondant pas au produit attendu	0	..... / 8
- goût normal fruité avec un arrière-goût perceptible	1 - 2	
- goût normal fruité sans arrière-goût particulier.	3 - 4 - 5	
- goût harmonieux fruité	6 - 7	
- goût excellent, intense et très agréable.	8	
<b>2- Odeur:</b>		
- brûlé, odeur parasite	0	..... / 5
- bonne correspondance au produit	1 - 2 - 3	
- odeur excellente, intense et très agréable.	4 - 5	
<b>3- Couleur:</b>		
- couleur ne correspondant pas au produit attendu	0	..... / 5
- couleur correspondant partiellement au produit attendu, plus claire ou plus foncée.	1 - 2	
- couleur correspondant au produit, mais terne	3 - 4	
- couleur caractéristique et sans défaut.	5	
Lightness (60-70)		
Redness (6-8)		
Yellowness (20-30)		
<b>4- Texture:</b>		
- produit trop mou ou trop dur	0	..... / 2
- produit bien cuit mais sec	1	
- produit craquant à l'extérieur et moelleux à l'intérieur	2	
<b>Totalsur 20 points T =</b>	20	..... / 20
Calculs des limites supérieures + 15% (LS = T x 1,15)	LS =	.....
Calculs des limites inférieures - 15% (LI = T x 0,85)	LI =	.....

**Conclusion:**

- Si la note la plus haute diffère de plus de 15 % de la note la plus basse, le test est à refaire (on compare la LS de la note la plus basse à la note la plus haute et la LI de la note la plus haute à la note la plus basse).
- Si le produit a obtenu un 0 à un critère, il est déclaré non conforme.
- Si la note moyenne est inférieure à 15, le produit est déclaré non conforme.

<b>Note Moyenne obtenue:</b> .....	<b>Conformité:</b> OUI ou NON	<b>Signature opérateurs:</b> .....
---------------------------------------	----------------------------------	---------------------------------------

Acceptabilité générale :

	C		F			
	couleur	Consistance	laveur	Fe	Adhés	Etale
	4	4 à 9	4	5 à	4 à	4.5 à
Produit	à 8		à 7.5	8	7.5	8
Marmelade						

### MILIEU MRS AVEC CYSTÉINE

Composant	Quantité
Caséine peptone, digest tryptique	10,00 g
Extrait de viande	10,00 g
Extrait de levure	5,00 g
Glucose	20,00 g
Tween 80	1,00 g
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (phosphate dipotassique)	2,00 g
Acétate de sodium	5,00 g
Citrate d'ammonium ((NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Citrate)	2,00 g
Sulfate de magnésium heptahydraté (MgSO <sub>4</sub> × 7H <sub>2</sub> O)	0,20 g
Sulfate de manganèse monohydraté (MnSO <sub>4</sub> × H <sub>2</sub> O)	0,05 g
Eau distillée	1000,00 ml

Ajuster le pH entre 6,2 et 6,5.  
Ajouter 0,05 % de cystéine-hydrochlorure.

# **Référence Bibliographique**

- Ahmad, I., Swaroop, A., & Bagchi, D. (2019). An overview of gluten-free foods and related disorders. *Nutraceutical and Functional Food Regulations in the United States and around the World*, 75-85. doi:10.1016/B978-0-12-816467-9.00006-X.
- Alemneh, S. T., Emire, S. A., & Hitzmann, B. (2021). Teff-based probiotic functional beverage fermented with *Lactobacillus rhamnosus* and *Lactobacillus plantarum*. *Foods*, 10(10), 2333. doi:10.3390/foods10102333
- Alemneh, S. T., Babor, M., Zettel, V., von Wrochem, A., & Hitzmann, B. (2023). Online monitoring of the growth of probiotic bacteria and metabolites in the fermentation of a teff substrate using model-based calibration of 2D fluorescence spectra. *Microorganisms*, 11(4), 1032. doi:10.3390/microorganisms11041032
- Awol, S. M., Kuyu, C. G., & Bereka, T. Y. (2023). Physicochemical stability, microbial growth, and sensory quality of teff flour as affected by packaging materials during storage. *LWT-Food Science and Technology*, 189, 115488. doi:10.1016/j.lwt.2023.115488
- Adebowale, A.A., Emmambux, M.N., Beukes, M. & Taylor, J.(2011). Fractionation and characterization of teff proteins. *Journal of Cereal Science*, 54, 380–386.
- Akansha, K. & Chauhan, E. (2018). Nutritional composition, physical characteristics, and health benefits of teff grain for human consumption: A review. *Journal of Pharmaceutical Innovation*, 7, 03–07.
- Anderson JW, Baird P, Davis RH et al.(2009). Health benefits of dietary fiber. *Nutr Rev*. 2009; 67(4):188-205.
- Awulachew, M. T. (2020a). Teff (*Eragrostis Abyssinica*) and teff based fermented cereals. *Journal of Health and Environmental Research*, 6(1), 1-9. doi:10.11648/j.jher.20200601.11
- Ananth, D. A., Mahalakshmi, V., Yermiyahu, U., Van Oss Pinhasi, R., Klipcan, L., & Tietel, Z. (2023). Teff and fonio-morphology, determination of amino acids, phenolic compounds and antioxidant capacity of two gluten-free grains. *International Journal of Food Science & Technology*, 58(11), 5947-5961. doi:10.1111/ijfs.16699
- Adish, AA, SA Esrey, TW Gyorkos, and T Johns. (1999). "Risk Factors for Iron Deficiency Anaemia in Preschool Children in Northern Ethiopia." *Public Health Nutrition*. 2 (3): 243-252.
- Alaunyte, Ieva, Valentina Stojceska, Andrew Plunkett, Paul Ainsworth, and Emma Derbyshire. (2012). "Improving the Quality of Nutrient-Rich Teff (*Eragrostis Teff*) Breads by Combination of Enzymes in Straight Dough and Sourdough Breadmaking." *Journal of Cereal Science*. 55 (1): 22-30.
- Abebe, Yewelsew, Alemtsehay Bogale, K Michael Hambidge, Barbara J Stoecker, Karl Bailey and Rosalind S Gibson. (2007). "Phytate, Zinc, Iron and Calcium Content of Selected Raw and Prepared Foods Consumed in Rural Sidama, Southern Ethiopia, and Implications for Bioavailability." *Journal of Food Composition and Analysis*. 20 (3): 161-168.

Ansari, M.M. et Kumar, S., 2012. Fortification of Food and Beverages with Phytonutrients. *Food and Public Health*, 2(6): 241-253. DOI: 10.5923/j.fph.20120206.09.

Abdelkader Dilmi, Bouras, *Biochimie alimentaire*, édition : office des publications Universities, 2004pp; 54, 55, 56,57,58,59

Arrigoni, E., Jörger, F., Kollöffel, B., Roulet, I., Herensperger, M., Meile, L., Amadò, R. (2002). In vitro fermentability of a commercial wheat germ preparation and its impact on the growth of bifidobacteria. *Food Research International* 35(5), 475-481.

ANONYME, (2021). Blé les propriétés nutritives du blé <https://www.creapharma.ch/ble.htm>. consulter le 22-06.2022

Charles Alais, Guy linden , Laurent Miclo , *Biochimie alimentaire* , 6emeédition de L'abrégé DUNOD, 2008 pp119

Pierre Allain, *Les médicaments*, édition : CDM, 2000 ppxx, 106

Ansari, F., Alian Samakkhah, S., Bahadori, A., Jafari, S. M., Ziaee, M., Khodayari, M. T., Pourjafar, H. (2023). Health-promoting properties of *Saccharomyces cerevisiae* var. *bouardii* as a probiotic; characteristics, isolation, and applications in dairy products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 63 (4), 457-485.

Arendt E.K. and Dal Bello F (2008). *Gluten-free Cereal Products and Beverages*, Academic Press, Elsevier.

Augustin, M. A., & Sanguansri, L. (2015). Challenges and solutions to incorporation of vitamin C in food systems. *Current Opinion in Food Science*, 4, 78–84. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.08.003>

Anonyme. (2024). *Global Biscuits Market Report 2024–2029*.

(Source d'information du marché — l'auteur est anonyme ou institutionnel, probablement issu d'un rapport de marché tel que Statista, Fortune Business Insights, ou Research and Markets.)

Alvarez-Jubete, L., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2009). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 20(11–12), 521–530. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.07.003>  
Abugoch James, L. E. (2009). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Advances in Food and Nutrition Research*, 58, 1–31. [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(09\)580011](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(09)580011)

jibola, C. F., Malomo, S. A., & Fashakin, J. B. (2015). Nutritional quality and sensory evaluation of cookies from blends of wheat, soybean and cassava flour. *Agrosearch*, 15(2), 59–69

Bala, A., Gul, K., & Riar, C. S. (2015). Functional and sensory properties of cookies prepared from wheat flour supplemented with cassava and water chestnut flours. *Cogent Food & Agriculture*, 1(1), 1019815. <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1019815>

Bultosa, G. (2007). Physicochemical characteristics of grain and flour in 13 teff [*Eragrostis teff* (Zucc) Trotter] grain varieties. *Journal of Applied Sciences Research*, 3(12), 2042-2051

- Bultosa, G, and JRN Taylor. (2004). "Teff." *Encyclopaedia of Grain Science*. Harold Corke, Charles E. Walker, & Colin Wrigley, eds. Waltham, MA: Academic Press. 281-289.
- Bekele, E., Fido, R.J., Tatham, A.S. & Shewry, R.P. (1995). Heterogeneity and polymorphism of seed proteins in teff (*Eragrostis teff*). *Hereditas*, 122, 67–72.
- Barretto, R., Buenavista, R. M., Rivera, J. L., Wang, S., Prasad, P. V., & Siliveru, K. (2021). Teff (*Eragrostis tef*) processing, utilization and future opportunities: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(7), 3125-3137. doi:10.1111/ijfs.14872
- Baye, K. (2018). Nutrient composition and health benefits. The economics of teff, exploring Ethiopia's biggest cash crop. International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington DC.
- Baye, K., Mouquet-Rivier, C., Icard-Verniere, C., Picq, C. & Guyot, J.P. (2014). Changes in mineral absorption inhibitors consequent to fermentation of Ethiopian injera: Implications for predicted iron bioavailability and bioaccessibility. *International Journal of Food Science and Technology*, 49, 174–180
- Beresford, T. P., Fitzsimons, N. A., Brennan, N. L., & Cogan, T. M. (2001). Recent advances in cheese microbiology. *International dairy journal* 11(4-7), 259-274.
- Burgain, J., Gaiani, C., Linder, M., Scher, J. (2011). Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications. *Journal of food engineering* 104(4), 467-483.
- Butel, M. J. (2014). Probiotics, gut microbiota and health. *Médecine et maladies infectieuses* 44(1), 1-8.
- Bean M. and Fellers D. (1982). Composite flour breads in Bolivia: technical aspects. In *Proceedings of the 7th World Cereal and Bread Congress*. Prague, 859-864
- Bosman, M., Fourie, J. C., & Theron, H. (2019). Pumpkin (*Cucurbita* spp.) consumption and its nutritional contribution: A review. *Journal of Food Research*, 8(4), 25–33.
- Bindels, L. B., Delzenne, N. M., Cani, P. D., & Walter, J. (2015). Towards a more comprehensive concept for prebiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 12(5), 303–310. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2015.47>
- Boka, N., Woldegiorgis, A. Z., & Haki, G. D. (2020). Antioxidant properties of Ethiopian traditional fermented teff (*Eragrostis teff*) and sorghum (*Sorghum bicolor*) flours. *Journal of Food Quality*, 2020, Article ID 8811357.
- Bultosa, G., Hall, A. N., & Taylor, J. R. N. (2002). Physico-chemical characteristics of grain and flour in 13 *Eragrostis tef* cultivars. *Journal of Applied Sciences Research*, 2(3), 165–172.
- Callejo, M. J., Tesfaye, W., González, M. C., & Morata, A. (2019). Craft Beers : Current situation and future trends. *New Advances on Fermentation Processes*.
- Cui, Y., Xu, T., Qu, X., Hu, T., Jiang, X., Zhao, C. (2016). New insights into various production characteristics of *Streptococcus thermophilus*

strains. *International journal of molecular sciences* 17(10),1701.

Codex Alimentarius. (1995). Norme générale codex relative pour l'utilisation des conservateurs alimentaires dans les denrées alimentaires. Codex Stan (192-1995).

Corcoran, B. M., Stanton, C., Fitzgerald, G. F., & Ross, R. P. (2004). Survival of probiotic lactobacilli in acidic environments is enhanced in the presence of metabolizable sugars. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(6), 3060–3064.

Cartes, P., Jara, A. A., & Mora, M. L. (2005). Uptake of selenium and its antioxidant activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms. *Plant and Soil*, 276, 359–367.

Carboni, J., Reed, S., Kolba, N., Eshel, A., Koren, O., & Tako, E. (2020). Alterations in the intestinal morphology, gut microbiota, and trace mineral status following intra-amniotic administration (*Gallus gallus*) of teff (*Eragrostis tef*) seed extracts. *Nutrients*, 12(10), 3020.

Carr, A. C., & Maggini, S. (2017). Vitamin C and immune function. *Nutrients*, 9(11), 1211. <https://doi.org/10.3390/nu9111211>

Cebeci, A., Gürakan, C. (2003). Properties of potential probiotic *Lactobacillus plantarum* strains. *Food microbiology* 20(5), 511-518.

Chassaing, B., Koren, O., Goodrich, J. K., Poole, A. C., Srinivasan, S., Ley, R. E., & Gewirtz, A. T. (2015). Dietary emulsifiers impact the mouse gut microbiota promoting colitis and metabolic syndrome. *Nature*, 519(7541), 92–96.

Chávarri, M., Marañón, I., Ares, R., Ibáñez, F. C., Marzo, F., & Villarán, M. C. (2010). Microencapsulation of a probiotic and prebiotic in alginate-chitosan capsules improves survival in simulated gastrointestinal conditions. *International Journal of Food Microbiology*, 142(1–2), 185–189.

Coletto, L., Grasso, S., Pintado, T., & Galanakis, C. M. (2021). Gluten-free cereal-based products: A review of raw materials, processing, and quality aspects. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 625–636.

Dueñas, M., Sánchez-Acevedo, T., Alcalde-Eon, C., & Escribano-Bailón, M. T. (2021). Effects of different industrial processes on the phenolic composition of white and brown teff (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter). *Food Chemistry*, 335, 127331.

Dueñas, M., Sánchez-Acevedo, T., Alcalde-Eon, C., & Escribano-Bailón, M. T. (2021). Effects of different industrial processes on the phenolic composition of white and brown teff (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter). *Food Chemistry*, 335, 127331.

Devi, A. et Khatkar, B.S., 2016. Physicochemical, rheological and functional properties of fats and oils in relation to cookie quality: à review. *Journal of Food Science and Technology*, 53(10): 3633-3641.

Duar, R. M., Lin, X. B., Zheng, J., Martino, M. E., Grenier, T., Pérez-Muñoz, M. E., ... Walter, J. (2017). Lifestyles in transition: evolution and natural history of the genus *Lactobacillus*. *FEMS microbiology reviews* 41(Supp\_1), S27-S48.

- Dong, X., Xin, Y., Jian, W., Liu, X., Ling, D. (2000). *Bifidobacterium thermacidophilum* sp. nov. isolated from an anaerobic digester. *International journal of systematic and evolutionary microbiology* 50(1), 119-125.
- Davies F.S Et Albrigol G (1994).Fruit quality, harvesting and postharvest technology. In Citrus.Atherton J., Rees, A., Eds. Crop Production Science in Horticulture. CAB International.
- Drewnowski, A. (2005). Concept of a nutritious food: toward a nutrient density score. *American Journal of Clinical Nutrition*, 82(4), 721–732.
- Céline Deluzarche, (2020).Futura Santé, Probiotique, prébiotiques, quelle différence ? classé sous : Environnement, Tech, Santé
- Diyai, T. T., Hailu, A., & Chali, B. (2022). Phytochemical screening and antimicrobial activities of selected Ethiopian medicinal plants against pathogenic bacteria and fungi. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2022, Article ID 8256792.
- Davidson, I. (2016). Biscuit, cookie and cracker production: Process, production and packaging equipment (2nd ed.). Academic Press.
- Emire, S., & Tiruneh, D. (2012). Optimization of formulation and process conditions of gluten-free bread from sor-ghum using response surface methodology. *Journal of Food Processing & Technology*, 3(155), 1–11.
- Etim, E., Udobre, A., Udoh, A., & Eduoku, E. (2015). Evaluation of the antioxidant property of *Vernonia cinerea* (L.) Less. (Asteraceae) using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazine (DPPH) assay method. *The Pharma Innovation*, 4(6), 10.
- El-Alfy, T.S., Ezzat, S.M. & Sleem, A.A. (2012). Chemical and biological study of the seeds of *Eragrostis Tef* (Zucc.) trotter. *Natural Product Research*, 26, 619–629.
- Erol, K. F., Kutlu, G., Olgun, E. O., & Tornuk, F. (2024). A sustainable innovation: functionalization of pasta with methanol extract of turkish red pine (*pinus brutia* ten) barks. *Waste and Biomass Valorization*, 1-12. doi:10.1007/s12649-024-02702-1
- Eves, A. (2005).The sensory characteristics and consumer acceptability of biscuits made from wheat and legume blends.*Journal of Consumer Studies*, 29(3), 218–225
- Fairweather-Trait, S.J. (2002). Bioavailability of trace elements in man and animals. *Proceedings of the 10th International Symposium on Trace Elements in Man and Animals (TEMA 10)*, 10, 255–260.
- Fasano, Alessio, and Carlo Catassi. (2001). " Current Approaches to Diagnosis and Treatment of Celiac Disease : An Evolving Spectrum. " *Gastroenterology*. 120 (3) : 636-51.
- Fraga, C.G. (2005). Relevance, essentiality and Toxicity of trace elements in human Health *Molecular aspects of Medicine*, 26 (4-5), 235 – 244 <https://doi.org/10.1016/j.mam.2005.07.013>

- Fredot E. (2005). *Connaissance des aliments : Bases alimentaires et Nutritionnelles De la Diététique.*, Ed. Tec et Doc Lavoisier. Paris.
- Farhinna, A., Sani, I., & Muhammad, A. (2015). Evaluation of nutrient and sensory properties of cookies made from wheat and tiger nut flour blends. *Journal of Food and Nutrition Sciences*, 3(1), 10-14
- FAO/WHO. *Fats and Fatty Acids in Human Nutrition: Report of an Expert Consultation.* FAO Food and Nutrition Paper 91. Rome: FAO; 2010.
- Emilie Fredot .2007. *Nutrition du bien-portant bases nutritionnelles de la diététique* , édition :TEC&DOC , EM inter , LAVOISIER , 2007 pp: 103,105,107,109, 111,112,113,115,116, 117 ,118,119,120,121,122,124,128,129,130,131,138,139,140
- Fellows, P. J. (2000). *Food Processing Technology: Principles and Practice* (2nd ed.). Woodhead Publishing Limited.
- Marlène Frénot , Elisabeth vierling , *Biochimie des aliments diététique du sujet bien portant* , édition : Doin , 2002pp :163,165,167,170
- Gebremariam, M. M., Zarnkow, M., & Becker, T. (2014). Teff (*Eragrostis tef*) as a raw material for malting, brewing and manufacturing of glutenfree foods and beverages: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 2881-2895.
- Godswill, A. G., Somtochukwu, I. V., Ikechukwu, A. O., & Kate, E. C. (2020). Health benefits of micronutrients (vitamins and minerals) and their associated deficiency diseases: A systematic review. *International Journal of Food Sciences*
- Gebbru, Y. A., Sbhata, D. B. & Kim, K-P (2020). *Nutritional Composition and Health Benefits of Teff (Eragrostis tef (Zucc.) Trotter).* *Journal of Food Quality*, 20201–6. /
- Georgieff, Michael K. (2011). " Long -Term Brain and Behavioral Consequences of Early Iron Deficiency ." *Nutrition Reviews*. 69(S1): S43-S48.
- Gebre- Medhin, M, A Killander, B Vahlquist, and Elizabeth Wuhib. (1976). «Rarity of Anaemia of Pregnancy in Ethiopia. " *Scandinavian Journal of Haematology*. 16 (3) : 168-175.
- Gujral , Naiyana, Hugh J Freeman , and Alan BR Thomson. (2012). " Celiac Disease : Prevalence, Diagnosis , Pathogenesis and Treatment. " *World Journal of Gastroenterology*. 18 (42) : 6036.
- Guarneri, M. (2017). *108 Pearls to Awaken Your Healing Potential: A Cardiologist Translates the Science of Health and Healing into Practice.* Hay House, Inc.
- Gregory, J. F. (1996). *Vitamins.* In Fennema's *Food Chemistry* (3rd ed., pp. 531–616). Marcel Dekker.
- Gao, Y. et al. (2017). Screening of *Lactobacillus* strains for their potential as probiotics and the effects of *L. salivarius* S142 on gut microbiota and metabolic profile in rats. *Frontiers in Microbiology*, 8, 701.
- Gbassi, G. K., Vandamme, T., Ennahar, S., & Marchioni, E. (2009). Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* spp. in an alginate matrix coated with whey proteins. *International Journal of Food Microbiology*, 129(1), 103–105.

- Gbassi, G. K., Vandamme, T., Ennahar, S., & Marchioni, E. (2009). Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* spp. in an alginate matrix coated with whey proteins. *International Journal of Food Microbiology*, 129(1), 103–105.
- Ghamdi, M., Al-Malki, A., & Bazaid, S. (2020). The nutritional and therapeutic importance of pumpkin: A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(1), 450–462.
- Goetz, M., & Jeune, L. (2010). *L'alimentation traditionnelle au Maghreb: Approche socio-culturelle*. Éditions Karthala.
- Kibatu, G.; Chacha, R. (2017). Détermination of Major, Minor and T race Elements in tef using Portable Total X-ray fluorescence (TXRF) spectrometer. *EC Nutrition*, 9 (1), 51-59. (2017).
- Lukow, O., White, N. & Sinha, R. (1995). Influence of ambient storage conditions on the bread making quality of two HRS wheats. *Journal of Stored Products Research*, 31, 279–289.
- Lee, S. K., & Kader, A. A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20(3), 207–220. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00133-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00133-2)
- Hager, A. S., Wolter, A., Jacob, F., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2012a). Nutritional properties and ultra-structure of commercial gluten free flours from different botanical sources compared to wheat flours. *Journal of Cereal Science*, 56(2), 239-247. doi:10.1016/j.jcs.2012.06.005
- Himila, G. (2017). Role of vitamin C in the immune system: Antioxidant effects and its interaction with vitamin E. *Journal of Nutritional Science and Research*, 4(2), 45–51.
- Hu, Yuncai, and Urs Schmidhalter, 2005. Drought and Salinity: A Comparison of Their Effects on Mineral Nutrition of Plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168(4): 541–549.
- Hopman, E., Dekking, L., Blokland, M.-L., Wuisman, M., Zuijderduin, W., Koning, F., & Schweizer, J. (2008). Tef in the diet of celiac patients in The Netherlands. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 43(3), 277–282.
- Hidetoshi, I. (2001). The relationship between grain ripening and falling number in winter wheat seeds. *Japanese Journal of Crop Science*, 70, 373–378.
- Hallert, Claes, C Grant, S Grehn , C Grännö, S Hulten, G Midhagen, Magnus Ström , H Svensson, and T Valdimarsson. (2002). "Evidence of Poor Vitamin Status in Coeliac Patients on a Gluten - Free Diet for 10 Years. " *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*. 16 (7) : 1333-1339.
- Hugon, P., Lagier, J. C., Colson, P., Bittar, F., Raoult, D. (2017). Repertoire of human gut microbes. *Microbial pathogenesis* 106, 103-112.
- Hendrix C. Redd J. B. (1995). Chemistry and Technology of Citrus Juices and By-Products. In :Ashurst, P.R. (Ed.) 1995. *Production and Packaging of Non- Carbonated Juices*
- Heidebach, T., Först, P., & Kulozik, U. (2010). Influence of casein-based microencapsulation on freeze-drying and storage of probiotic cells. *Journal*

of Food Engineering, 98(3), 309–316. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.01.024> and Fruit Beverages. Blackie Academic & Professional, p : 53-87.

Heidebach, T., Först, P., & Kulozik, U. (2010). Influence of casein-based microencapsulation on freeze-drying and storage of probiotic cells. *Journal of Food Engineering*, 98(3), 309–316.

Hanan, A. Y. (2013). Microbiological and chemical evaluation of some bakery products. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 91(2), 637–650

Iyer, R., Tomar, S. K., Maheswari, T. U., Singh, R. (2010). *Streptococcus thermophilus* strains: Multifunctional lactic acid bacteria. *International Dairy Journal* 20(3), 133-141.

Janssen, M., Chang, B. P., Hristov, H., Pravst, I., Profeta, A., & Millard, J. (2021). Changes in food consumption during the COVID-19 pandemic: Analysis of consumer survey Data from the first lockdown period in Denmark, Germany, and Slovenia. *Frontiers in Nutrition*, 8, 635859.

Kebouchi, M., Galia, W., Genay, M., Soligot, C., Lecomte, X., Awussi, A. A., & Le Roux, Y. (2016). Implication of sortase-dependent proteins of *Streptococcus thermophilus* in adhesion to human intestinal epithelial cell lines and bile salt tolerance. *Applied microbiology and biotechnology* 100, 3667-3679.

Kotásková, E., Sumczynski, D., Mlček, J., & Valášek, P. (2016). Determination of free and bound phenolics using HPLC-DAD, antioxidant activity and in vitro digestibility of *Eragrostis tef*.

*Journal of Food Composition and Analysis*, 46, 15-21. doi:10.1016/j.jfca.2015.11.001

Kiger J. L., Kiger J. G., (1967). *Techniques modernes de la biscuiterie, pâtisserie boulangerie industrielles et artisanales et produits de régime*. Ed, Dunda. Tome 1. Paris. 696.

Kelesidis, T., Pothoulakis, C. (2012). Efficacy and safety of the probiotic *Saccharomyces boulardii* for the prevention and therapy of gastrointestinal disorders. *Therapeutic advances in gastroenterology* 5(2), 111-125.

Koubová, E., Mrázková, M., Sumczynski, D., & Orsavová, J. (2018). In vitro digestibility, free and bound phenolic profiles and antioxidant activity of thermally treated *Eragrostis tef* L. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(8), 3014-3021.

Kamiloglu, S., Pasli, A. A., Ozcelik, B., & Capanoglu, E. (2016). Food packaging strategies to retain the bioactivity of polyphenols. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(4), 530–548.

Lacey, Trevor, and Carol Llewellyn. 2005. "Eragrostis Teff as a Specialised Niche Crop." Government of Western Australia, Department of Agriculture Farmnote. 42: 2005.

Liyun, L. I., Zhongwang, Q. I. U., Xiuli, D. U., Yunfeng, G. U. O. (2018). Response of surrounding environment during excavating of subway shaft adjacent to building. *Journal of Engineering Geology* 26(4), 1086-1094.

- Lim, T. K. (2012). *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants (Vol. 2, Fruits)*. Springer.
- Lebot, Vincent 2010 *Tropical Root and Tuber Crops. Oils, Plant Growth Crop Prod. Encyclopei*. Oxford: Eloss Publishers: 9.
- Manley, D. (2011). *Manley's technology of biscuits, crackers and cookies*. Elsevier.
- Mezemir, S. (2015). Probiotic potential and nutritional importance of teff (*Eragrostis tef* (Zucc) Trotter) enjerra-a review. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 15(2), 9964-9981.
- Menasra A. 2020. *Etude de la formulation et des traitements technologiques des biscuits Enrichis*. Thèse de doctorat Université de Batna1.
- Nascimento, K.D.O., Paes, S.D.N.D., d'Oliveira, I.R., Reis, I.P. & Augusta, I.M. (2018). Teff: Suitability for different food applications and as a raw material of gluten-free, a literature review. *Journal of Food and Nutrition Research*, 6, 74–81.
- Nimse, S. B., & Pal, D. (2015). Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms. *RSC Advances*, 5(35), 27986–28006. <https://doi.org/10.1039/C4RA13315C>
- Nwosu, J. N. (2013). Production and evaluation of biscuits using wheat and pigeon pea flour blends. *International Journal of Food and Agricultural Research*, 10(3), 15–22.
- Nina GC, Ogori AF, Ukeyima. M, Lukas H, Miroslava C, Eleonora O, Stanislav V, Natalya B, Andrey G, Mohammad AS., 2019. Proximate, mineral and functional properties of tiger nut flour extracted from different tiger nuts cultivars. *Food Sciences of Food Sciences*. Vol: 9, no. 3. 656 p.
- Minarovicova, L., Laukova, M., Karovicova, J., Kohajdova, Z. & Kepi cova, V. (2019). Gluten-free rice muffins enriched with teff flour. *Journal of Food Sciences*, 13, 187–193.
- Manley D. 2000. *Setting the scene: History and position of biscuits*. In: *Technology of biscuits, crackers and cookies*. 3ème édition. Woodhead publishing Limited, p 1- 8.5.
- Mamat, H. and Hill, S. E. (2014). Effect of fat types on the structural and textural properties of dough and semi-sweet biscuit. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 1998-2005.
- Mofredj, A., Bahloul, H., Chanut, C. (2007). *Lactococcus lactis: an opportunistic bacterium?*. *Médecine et Maladies Infectieuses* 37(4), 200-207.
- Mozaffarian, D., Katan, M. B., Ascherio, A., Stampfer, M. J., & Willett, W. C. (2006). Trans fatty acids and cardiovascular disease. *Circulation*, 114(8), 892–897.
- Mengesha, melak H. 1966. *Chemical Composition of teff (Eragrostis tef) Compared with that of Wheat , Bariey and Grain Sorghum* . *Economic Botany*.
- Malla, B. A., & Kurian, A. (2016). Pumpkin and its potential Health benefits: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 4(5), 10–14.
- Minekus, M., Alminger, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., ... & Brodtkorb, A. (2014). A standardised static in vitro digestion

method suitable for food—an international consensus. *Food & Function*, 5(6), 1113–1124.

Okpala L-C et Okoli EC. 2013. Optimization of composite flours biscuits by mixture response surface methodology. *Food science and technology international*. P 28.

Orla-Jensen, S. (1924). La classification des bactéries lactiques. *Le Lait* 4(36), 468-474.

Okaka, J. C. (2009). Handling, storage and processing of plant foods. OCJ Academic Publishers, Enugu, Nigeria

Olawuyi, A. B., & Akinyemi, A. A. (2007). Effect of baking conditions on the quality of cookies produced from composite flours. *African Journal of Food Science*, 1(1), 006–010.

Oppong, D., Saputo, K., & Béléia, A. D. (2015). Functional properties of flours from different varieties of sweetpotato and their application in biscuit making. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*, 5(5), 234–240.

Rada-Mendoza, M., Garcia-Banos, J. L., Villamien, M., Olano, A. (2004). Study on nomenclature browning in cookies, crackers and breakfast cereals by maltose and furosine determination *journal of cereal science*, 167-173.

Redjem N et Derghal W, 2016 : « Contribution à la formulation d'un biscuit à base de caroube et lactosérum ». P36.

Rooney L. and Waniska R. (2000). Sorgho Food and industrial utilization. In C. Smith and R. Frederiksen *Sorgho: Origin, History, Technology, and Production*. New York, John Wiley and Sons, Inc., 689-750

Ratnam, D. V., Ankola, D. D., Bhardwaj, V., Sahana, D. K., & Kumar, M. N. V. R. (2017). Role of antioxidants in prophylaxis and therapy: A pharmaceutical perspective. *Journal of Controlled Release*, 113(3), 189–207.

Rastall, R. A., & Gibson, G. R. (2015). Recent developments in prebiotics to selectively impact beneficial microbes and promote intestinal health. *Current Opinion in Biotechnology*, 32, 42–46.

Ratnavathi, C. V., & Patil, J. V. (2013). Sorghum utilization as food. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 4(1), 1–8. <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000257>

Padalino, L., Conte, A., & Del Nobile, M. A. (2016). Overview on the general approaches to improve gluten-free pasta and bread. *Foods (Basel, Switzerland)*, 5(4), 87.

Pasricha, Sant-Rayn, Hal Drakesmith, James Black, David Hipgrave, and Beverley-Ann Biggs. (2013). "Control of Iron Deficiency Anemia in Low-and Middle-Income Countries." *Blood*. 121 (14): 2607-2617.

Post, Robert E, Arch G Mainous, Dana E King, and Kit N Simpson.(2012). "Dietary Fiber for the Treatment of Type 2 Diabetes Mellitus: A Meta-Analysis." *The Journal of the American Board of Family Medicine*. 25 (1): 16-23.

Pyler, E. J. (1988). *Baking Science and Technology* (3rd ed.). Sosland Publishing Company.

Peroni, F. H. G., Rocha, T. S., & Franco, C. M. L. (2006). Some structural and physicochemical characteristics of tuber and root starches. *Food*

Science and Technology International, 12(6), 505–513.

Pareyt, B., & Delcour, J. A. (2008). The role of wheat flour constituents, sugar, and fat in low moisture cereal based products: A review on sugar-snap cookies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(9), 824–839.

Saad, N., Delattre, C., Urdaci, M., Schmitter, J.-M., & Bressollier, P. (2013). An overview of the last advances in probiotic and prebiotic field. *LWT - Food Science and Technology*, 50(1), 1–16.

Singh Sibian, M., & Singh Riar, C. (2021). Optimization and evaluation of composite flour cookies prepared from germinated triticale, kidney bean, and chickpea. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(1), e14996.

Saturni L, Ferretti G, Bacchetti T. (2010). The gluten-free diet: Safety and nutritional quality. *Nutr.* 2010; 2(1):16-34.

Simopoulos, P. (2001). N-3 fatty acids and human health: Defining strategies for public policy. *Lipids*, 36, 83–89.

Schlemmer, U., W. Frølich, R.M. Prieto, and F. Grases. 2009. "Phytate in Foods and Significance for Humans: Food Sources, Intake, Processing, Bioavailability, Protective Role and Analysis." *Molecular Nutrition & Food Research*. 53(S2) : S330- S375.

Saini, R. K., Nile, S. H., & Keum, Y. S. (2016). Food science and technology for management of iron deficiency in humans : A review. *Trends in Food Science & Technology*, 53, 13-22.

Sliwinski, A., Hopfer, H., & Ziegler, G. R. (2020). Elucidating differences in phenolic profile between tef (*Eragrostis tef*) varieties using multivariate analyses. *Cereal Chemistry*, 97(1), 53-64.

Seyfu, K. (1997). Teff (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter: Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, International Plant Genetics Resources Institute, Rome, Italy.

Satheesh, N. & Fanta, S. (2018). Review on structural, nutritional and antinutritional composition of Teff (*Eragrostis tef*) in comparison with Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Cogent Food & Agriculture*, 4, 1–27.

Sudha M-L., Vetrmani R., et Leelavathi K. 2007. Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chemistry*, 100: 1365-1370.

Serrem C-A. 2010. Development of soy fortified sorghum and bread wheat biscuits as a supplementary food to combat protein energy malnutrition in young children. Thèse de doctorat en sciences des aliments. Université de Pretoria, Afrique de Sud, p 193.

Slade, L., Kweon, M. & Levine, H. (2014). Exploration of the functionality of sugars in cake Making, and effects on cake quality.

Savadogo, A., Traore, A. S. (2011). La flore microbienne et les propriétés fonctionnelles des yaourts et laits fermentés. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 5(5), 2057-2075.

Sofia ES., 2016 : « Processus de fabrication des biscuits et gaufrettes ». P : 9.

Sharma, R., Bhaskar, B., Sanodiya, B. S., Thakur, G. S., Jaiswal, P., Yadav, N., ... Bisen, P. S. (2014). Probiotic efficacy and potential of *Streptococcus thermophilus* modulating human Health: A synoptic review. *J Pharmaceutic Biol Sci* 9, 52-8.

Suchowilska, E., Wiwart, M., Kandler, W., & Krska, R. (2012). A comparison of macro- and microelement concentrations in the whole grain of four *Triticum* species. *Plant, Soil and Environment*, 58(3), 141–147.

Slavin, J. L. (2004). Dietary fiber and body weight. *Nutrition*, 21(3), 411–418.

Selmo, S., Salgado, J. M., & Schwan, R. F. (2014). Thermal resistance of probiotic *Bacillus coagulans* spores in prebiotic and food matrices. *LWT - Food Science and Technology*, 59(1), 284–289.

Sreerama, Y. N., Sashikala, V. B., Pratape, V. M., & Singh, V. (2012). Nutrients and antinutrients in cowpea and horse gram flours in comparison to chickpea flour: Evaluation of their flour functionality. *Food Chemistry*, 131(2), 462–468.

Shumoy, H., & Raes, K. (2017). Effect of fermentation on the antioxidant capacity and in vitro bioaccessibility of phenolic compounds from tef (*Eragrostis tef*) flour. *Journal of Cereal Science*, 77, 131–136.  
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.08.005>

Sika, Andrée Emmanuelle, Beugré Romuald Léonce Kadji, Koffi Martin Dje, et al. 2019 Qualité Nutritionnelle, Microbiologique et Organoleptique de Farines Composées à

Base de Maïs (*Zea Mays*) et de Safou (*Dacryodes Edulis*) Produites En Côte d'Ivoire.

*International Journal of Biological and Chemical Sciences* 13(1): 325–337.

Tatham, A.S., Fido, R.J., Moore, C.M. et al. (1996). Characterization of the major prolamins of teff (*Eragrostis Tef*) and finger millet (*Eleusine Coracana*). *Journal of Cereal Science*, 24, 65–71.

Thompson, Tricia, M Dennis, LA Higgins , AR Lee, and MK Sharrett.(2005). «Gluten - Free Diet Survey: Are Americans with Coeliac Disease Consuming Recommended Amounts of Fibre , Iron , Calcium and Grain Foods?" . *Journal of Human Nutrition and Dietetics*. 18 (3): 163-169

Tailliez, P. (2004). Les lactobacilles : propriétés, habitats, rôle physiologique et intérêt en santé humaine. *Antibiotiques* 6(1), 35-41.

Tissier, M. H. (1899). La reaction chromophile d'Escherich et le *Bacterium coli*. *CR Soc Biol* 51, 943-945. Torres, J., Mehandru, S., Colombel, J. F., Peyrin-Biroulet, L. (2017). Crohn's disease. *The Lancet* 389(10080),1741-1755.

Troccoli, A. Borrelli, G.M. De-Vita, P. Fares, C. Di-Fonzoet, N. (2000). Mini review: durum wheat quality: a multidisciplinary concept. *Journal of Cereal Science*, 32: 99-113 p.

Tadesse, S. A., Emire, S. A., & Worku, M. (2021). Functional and physicochemical properties of teff (*Eragrostis tef*) flour and its application in food product development: A review. *Foods*, 10(7), 1600. <https://doi.org/10.3390/foods10071600>

Umeta, Melaku, Clive E West, and Habtamu Fufa. (2005). " Content of Zinc, Iron, Calcium and Their Absorption Inhibitors in Foods Commonly Consumed in Ethiopia. " *Journal of Food Composition and Analysis*. 18 (8) : 803-17.

Uriot, O., Denis, S., Junjua, M., Roussel, Y., Dary-Mourot, A., Blanquet-Diot, S. (2017). *Streptococcus thermophilus*: from yogurt starter to a new promising probiotic candidate?. *Journal of Functional Foods* 37,74-89.

Viell, F.L.G., Tonon, G.C., Perinoto, L.C. et al. (2020). Sensory characterization of gluten-free bread enriched with teff (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) and yacon (*Smallanthus sonchifolius*) using flash profile and common dimension analysis. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44, 1–9.

Viljamaa, Mervi, Katri Kaukinen, Heini Huhtala, Sinikka Kyrönpalo, Martin Rasmussen, and Pekka Collin. SUMMARY. (2005). "Coeliac | APRIL 2010 Disease, Autoimmune Diseases and Gluten Exposure." *Scandinavian Journal of Gastroenterology*. 40 (4): 437-443.

Vujic, L., Cepo D-V., Sebecic B., et Dragojevic V. 2014. Effects of pseudocereals, legumes And inulin addition on selected nutritional properties and glycemic index of whole grain wheat-based biscuits. *Journal of Food Nutrition Recherche*.

Von Ah, U. (2006). Identification of *Bifidobacterium thermophilum* RBL67 isolated from baby faeces and partial purification of its bacteriocin (Doctoral dissertation, ETH Zurich).

Vierling E. (2003). *Aliments et boissons*. Tome II. Filière et produits. 2<sup>ème</sup> Ed Dion

éditeurs : 232-236

Vandevijvere, S. (2020a). Nutritional quality of ultra-processed foods in relation to marketing claims. *Public Health Nutrition*, 23(11), 1961–1970. <https://doi.org/10.1017/S136898001900521X>

Vandevijvere, S. (2020b). The impact of ultra-processed food consumption on public health: a review of global evidence. *Nutrients*, 12(8), 1955. <https://doi.org/10.3390/nu12081955>

Woldeyohannes, A. B., Desta, E. A., Fadda, C., Pè, M. E., & Dell'Acqua, M. (2022). Value of teff (*Eragrostis tef*) genetic resources to support breeding for conventional and smallholder farming: a review. *CABI Agriculture and Bioscience*, 3(1), 27. doi:10.1186/s43170-022-00076-9

World Health organization .2015. Guideline :sugars intake for adults and children . geneva : WHO;2015.

Yisak, H., Yaya, E. E., Redi-Abshiro, M., & Chandravanshi, B. S. (2024). Chemical profiling of the white and brown teff (*Eragrostis tef* (Zuccagni) Trotter) injera and their nutritional properties. *Journal of Food Quality*, 2024(1), 2508258. <https://doi.org/10.1155/2024/2508258>

Yonekura, L., Sun, H., Soukoulis, C., & Fisk, I. D. (2014). Microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus* NCIMB 701748 in matrices containing soluble fibre by spray drying: Technological characterization, storage stability and survival after in vitro digestion. *Journal of Functional Foods*, 6, 205–214. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.10.005>

Zeid, M., Assefa, K., Haddis, A., Chanyalew, S., & Sorrells, M. E. (2012). Genetic diversity in teff (*Eragrostis tef*) germplasm using SSR markers. *Field Crops Research*, 127, 64-70. doi:10.1016/j.fcr.2011.10.013

Zarnkow, M., Almaguer, C., Burberg, F. et al. (2008). The use of response surface methodology to optimize malting conditions of teff (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) as a raw material for gluten free foods and beverages. World Brewing Congress, Honolulu, USA.

Zimmermann, Michael B, and Richard F Hurrell. (2007). "Nutritional Iron Deficiency." *The Lancet*. 370 (9586): 511-520.

Zhou W. 2014. Bakery products science and technology. 2ème edition Wiley Blackwell p776.

Zhu, F. (2018). Chemical composition and food uses of teff (*Eragrostis tef*). *Food chemistry*, 239, 402-415. doi:10.1016/j.foodchem.2017.06.101

Zielińska, D., Rybicka, I., & Zieliński, H. (2015). In vitro fermentation of non-digestible carbohydrates and polyphenolic compounds from pseudocereals and impact on growth of lactic acid bacteria. *Food Research International*, 74, 224–230. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.045>

Yisak, H., Redi-Abshiro, M., Chandravanshi, B. S., & Yaya, E. E. (2022). Total phenolics and antioxidant capacity of the white and brown teff [*Eragrostis tef* (Zuccagni) Trotter] varieties cultivated in different parts of Ethiopia. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 36(4), 749-766.

Yisak et al., 2024 : étude récente sur la valeur socio-économique des biscuits.