

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

CENTRE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN
SCIENCES DE LA VIE-SANTE ET
ENVIRONNEMENT

DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE



UNIVERSITY OF YAOUNDE I

POSTGRADUATE AND TRAINING
SCHOOL OF LIFE SCIENCES-
HEALTH AND ENVIRONMENT

BIOCHEMISTRY DEPARTMENT

FACULTE DES SCIENCES
FACULTY OF SCIENCE

LABORATOIRE DES SCIENCES ALIMENTAIRES ET METABOLISME
LABORATORY FOR FOOD SCIENCE AND METABOLISM

**Effets des technologies culinaires sur la qualité
nutritionnelle du tourteau de sésame (*Sesamun
indicum*)**

Mémoire présenté comme requis partiel en vue de l'obtention du diplôme de Master en Biochimie

Spécialité : Sciences Alimentaires et Nutrition



Par :

LONODJITA Trésor

Licencié-es Sciences

Sous la co-direction de :

DOUMTA Charles, PhD

Chargés de Cours, Université de Buea

BEBBE Fadimatou, PhD

Chargés de Cours, Université de Yaoundé 1

Année académique : 2022-2023

DEDICACE

A la grande famille MBAÏBAÏN

REMERCIEMENTS

La rigueur scientifique et l'exigence d'un travail de recherche bien fait souvent au-delà de la seule capacité de l'étudiant. Mes sincères remerciements vont à l'endroit de:

Dr. BEBBE FADIMATOOU pour avoir guidé mes premiers pas dans le monde de la recherche, ses orientations, ses rigueurs scientifiques et morales ont solidifié ma fondation scientifique. Trouvez ici l'expression de ma profonde gratitude.

Dr. DOUMTA Charles pour son précieux conseil et encadrement tout au long de ce travail. Grâce à son expertise et sa disponibilité, j'ai pu avancer de manière significative dans mes recherches et atteindre mes objectifs. Merci encore pour votre accompagnement et votre confiance.

Pr. FOKOU Elie, Coordonnateur du Laboratoire des Sciences Alimentaires et Métabolisme (LabSAM) pour m'avoir accepté dans son unité de recherche.

Tous les membres du Laboratoire des Sciences Alimentaires et Métabolisme (LabSAM), particulièrement Dr. KUAGNY Blaise, Dr. DJOUHOU Michelle, MAPTOUOM Laure, MAFOGANG Borelle, Noah GUY, Noah Eyili, MBASSI Gilbert, NANTCHOUANG Aristide, TALLA Narccis, KIDJE Mathurin et KOUANDJOUA Didier pour leurs conseils, encouragements, collaboration et leurs précieuses remarques tout au long de ce travail.

Pr. MOUNDIPA FEWOU Paul, Chef de Département de Biochimie pour avoir mis à notre disposition une partie des réactifs qui nous ont été d'une très grande utilité.

Tous les Enseignants du Département de Biochimie pour leurs enseignements.

Pr. KOTUE TAPTUE Charles, Pr. KANSCI Germain, Pr. ACHU Mercy BIH, Pr. DJUIKWO Ruth Viviane, Dr. MANANGA Marlyne, Dr. SAHA Brice pour les conseils, encouragements et critiques constructives pour la bonne rédaction de ce mémoire.

Aux honorables membres du jury, pour avoir accepté en dépit de leurs innombrables occupations d'évaluer ce travail.

Au personnel du Laboratoire de Microbiologie des Sols et Environnement du Centre de Biotechnologie de Nkolbisson qui nous a aidés pour l'analyse des minéraux.

Nos remerciements vont surtout à l'endroit de la famille pour son soutien matériel, financier et moral et surtout pour l'amour qu'elle nous témoigne. En particulier, nous ne pourrions assez remercier notre père NGARHODJAL Mbaïbaïn, notre mère MOUEBA Edith sans qui rien n'aurait été possible. Aussi, bien que les mots ne suffiront jamais, nous remercions nos grand-

frères MBAI-OGOM Sylvère et DJETOG Ozias pour leurs soutiens infaillibles durant toute notre croissance et durant la formation scolaire et universitaire.

A Mes camarades de promotion, particulièrement DTSAYO IMMATA Kesnel, YIMGA WANDDDJI KEVIN L'AGNEAU, JIOTSA NGUEKE Cabrel, MAGNIZANG Naomie pour l'ambiance et leur soutien à l'accomplissement de ce travail. Nous remercions Dieu pour tout ce qu'il a fait pour nous dans notre vie et pendant ce moment de formation.

TABLE DE MATIERES

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
TABLE DE MATIERES.....	iv
LISTE DES ABREVIATIONS	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
LISTE DES ANNEXES.....	x
RESUME.....	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCTION.....	2
CHAPITRE I : REVENUE DE LA LITTERATURE	4
I.1 Généralité sur le sésame.....	5
I.1.1 Présentation de sésame (<i>Sesamum indicum</i>)	5
I.1.2 Composition biochimique de la graine de sésame.....	7
I.1.3 Utilisation pharmaceutique, alimentaires, industrielle et nutritionnelle des graines de sésame.....	8
I.1.3.1 Utilisation alimentaire et industrielle	8
I.1.3.2 Utilisation nutritionnelle et médicale	9
I.1.4 Le tourteau.....	10
I.2 Généralité sur les protéines.....	11
I.2.1 Qualité et besoin en protéines alimentaires de l'homme.....	13
I.2.2 Différentes fractions protéiques végétales.....	14
I.2.3 Digestion et absorption des protéines.....	15
I.2.4 Facteurs pouvant influencer la digestibilité des protéines.....	17
I.2.5 Méthodes d'analyse des protéines	18
I.3 Généralité sur les anti-nutriments	18

I.3.1	Définition.....	18
I.3.2	Les phytates et leur interaction avec les protéines	19
I.3.3	Tanins -interactions protéines.....	19
I.3.4	Oxalates -interactions protéines.....	20
I.4	Généralité sur la malnutrition	21
I.4.1	Définition.....	21
I.4.2	La malnutrition protéique et ses conséquences dans les pays en voie de développement.....	22
Chapitre II : Matériel et méthodes.....		24
II.1.	Matériel.....	25
II.2	Dosages	28
II.2.1	Détermination de la matière sèche (MS)	28
II.2.2	Détermination de la teneur en protéines brutes	28
II.2.3	Dosage des lipides totaux	30
II.2.4	Teneur en sucres totaux	31
II.2.5	Teneur en fibres brutes	31
II.2.6	Teneur en cendre	31
II.2.7	Analyse des minéraux.....	32
II.2.7.1	Analyse du calcium (Ca) et du magnésium(Mg)	32
II.2.7.2	Analyse de phosphore (P)	33
II.2.7.3	Analyse du fer (Fe) et du zinc (Zn)	33
II.2.8	Analyse des anti-nutriments	34
II.2.8.1	Teneurs en tanins.....	34
II.2.8.2	Teneurs en phytates	34
II.2.8.3	Détermination des oxalates	35
II.2.8.4	Détermination de la teneur en saponines.....	35

II.3 Analyse statistique	36
Chapitre III : Résultats et discussions	37
III.1. Résultats et discussion du rendement d'extraction.....	38
III.2 Résultats et discussions des macronutriments	39
III.2.1 Teneur en eau	40
III.2.2 Teneur en lipides résiduels	40
III.2.3 Teneur en protéines	40
III.2.4 Teneurs en cendres totales.....	41
III.2.5 Teneur en fibres.....	42
III.2.6 Sucres totaux	42
III.3 Résultats et discussions des minéraux	43
III.4 Résultats et discussions des anti-nutriments.....	45
III.4.1 Phytates	46
III.4.2 Oxalates	47
III.4.3 Tanins	48
III.4.4 Saponines	49
Conclusion.....	52
Recommandation.....	52
Perspectives	52
Références bibliographiques	53
Annexes	a

LISTE DES ABREVIATIONS

AFNOR : Association Française de Normalisation

AOAC : Association of Official Analytical Chemists

CClO₄ : Acide Perchlorique

CTSDé : Concentré du Tourteau de Sésame Décortiqué

CTSF : Concentré du Tourteau de sésame Frais

CTST : Concentré du Tourteau de Sésame Trempé

CTSTo : Concentré du Tourteau de Sésame Torréfié

CTSTT : Concentré du Tourteau de Sésame Trempé et Torréfié

DO : Densité Optique

FAO : Food and Agriculture Organisation

H₂SO₄ : Acide sulfurique

HNO₃ : Acide Nitrique

MS : Matière Sèche

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

SAA : Spectrophotométrie d’Absorption Atomique

WHO : World Health Organization

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Illustration de l'appareil végétatif du sésame : (A) Un plan et fleurs de sésame; (B) Capsules de sésame; (C): Graines de sésame	6
Figure 2: Synthèse d'une liaison peptidique	12
Figure 3: Réactions de formation des produits d'Amadori et de Heyns (réaction de Maillard) ..	18
Figure 4: Interaction protéines-phyates à pH acide (A) et à pH basique (B)	19
Figure 5: Réactions des composés phénoliques (cas de l'acide caféique) avec les protéines ..	20
Figure 6: Réactions de l'acide oxalique avec les protéines	21
Figure 7: Graines de sésame (<i>Sesamum indicum</i>)	26
Figure 8: Etapes de l'extraction de l'huile de sésame par la presse PITEBA	26
Figure 9: Diagramme de production de concentré du tourteau de sésame	27
Figure 10: Teneur en phytates des concentrés du tourteau de sésame	46
Figure 11: Teneur en tanins des concentrés du tourteau de sésame	48
Figure 12: Teneur en saponines des concentrés du tourteau de sésame	49

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Teneur en quelques minéraux et macronutriments des graines de Sésame.....	8
Tableau 2:Teneur de quelques acides aminés essentiels, Ca et P des tourteaux d'arachide, de soja et de Sésame.....	11
Tableau 3 : Besoins humains en acides aminés essentiels	14
Tableau 4:Teneurs en macronutriments des concentrés de tourteau de sésame obtenus	39
Tableau 5: Teneur en pourcentage pondéral (mg/100 g) de matière sèche des graines en éléments minéraux (mg, p, ca ; fer et zn) des différents concentrés	43
Tableau 6:Teneurs en anti-nutriments des concentrés de tourteau de sésame	45

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Photographie de quelques appareils du laboratoire	a
Annexe 2: Diagramme d'étalonnage des protéines	c
Annexe 3: Préparation de dosage des protéines	c

RESUME

Pour faire face à la malnutrition protéique, la valorisation du concentré de tourteau de sésame a été initiée. Un sous-produit issu de l'extraction de l'huile de sésame est couramment utilisé comme aliment pour le bétail. Cependant, il peut être utilisé pour enrichir les aliments de base et améliorer leur valeur nutritionnelle, en particulier dans les milieux ruraux où l'accès à des sources de protéines de qualité est limité. Pour mettre en lumière sa richesse nutritive, nous avons procédé à l'extraction de l'huile des graines à l'aide d'une presse mécanique pour obtenir les concentrés de tourteau de sésame. Ensuite, les méthodes standards ont été utilisées pour déterminer les lipides résiduels, protéines, cendres, glucides et fibres de ces concentrés de tourteau. Les minéraux ont été déterminés par spectrophotométrie d'absorption atomique. Les facteurs antinutritionnels (oxalates, phytates, saponines et tanins) ont également été analysés. Il en ressort que ces concentrés de tourteau de sésame renferment des teneurs non négligeables en protéines totales (25,25- 36,72g/100g MS), en lipides résiduels (23,37- 34,26g/100g MS), en glucides (15,22- 23,23g/100g MS), en cendres (4,32 - 6,19 g/100g MS) et en fibres (16,32 - 20,76 g/100g MS). De même, l'évaluation de la composition minérale de ces concentrés de tourteau a montré leurs richesses en phosphore (20,47 – 176,66 mg/100g MS), calcium (15,75 – 467,42 mg/100g MS), magnésium (13,45 – 340,33 mg/100g MS), fer (4,90-14,70 mg/100g MS), et en zinc (0,71-4, 39 mg/100g MS). Cependant, ces concentrés de tourteau de sésame renfermaient également des facteurs antinutritionnels comme les oxalates (0,48 – 1,04 mg/100g MS), les phytates (0,08 – 0,12 mg/100g MS), les saponines (0,084 – 1,10 mg/100g MS) et les tanins (0,33 – 1,36 mg/100g MS). Fort heureusement, ceux-ci ont considérablement été réduits par les prétraitements. En effet, nous avons observé une réduction de 40,07; 83,33; 64,64 et 60,95 % des tanins, phytates, oxalates et des saponines respectivement.

Mots clés : Malnutrition, sésame, protéine, concentré.

ABSTRACT

To tackle protein malnutrition, a project has been launched to add value to sesame cake concentrate. A by-product of sesame oil extraction, it is commonly used as livestock feed. However, it can be used to enrich staple foods and improve their nutritional value, particularly in rural areas where access to quality protein sources is limited. To highlight its nutritional richness, we proceeded to extract the oil from the seeds using a mechanical press to obtain sesame cake concentrates. Standard methods were then used to determine residual lipids, proteins, ash, carbohydrates and fibers in these meal concentrates. Minerals were determined by atomic absorption spectrophotometry. Anti-nutritional factors (oxalates, phytates, saponins and tannins) were also analyzed. The results show that these sesame cake concentrates contain significant levels of total protein (25.25- 36.72g/100g DM), total lipids (23.37- 34,26g/100g DM), carbohydrates (15.22- 23.23g/100g DM), ash (4.32 - 6.19 g/100g DM) and fiber (16.32 - 20.76 g/100g DM). Similarly, evaluation of the mineral composition of these meal concentrates showed their richness in phosphorus (20.47 - 176.66 mg/100g DM), calcium (15.75 - 467.42 mg/100g DM), magnesium (13.45 - 340.33 mg/100g DM), iron (4.90-14.70 mg/100g DM) and fiber (4.90 - 41.23 g/100g DM). However, these sesame cake concentrates also contained anti-nutritional factors such as oxalates (0.48 - 1.04 mg/100g MS), phytates (0.08 - 0.12 mg/100g MS), saponins (0.084 - 1.10 mg/100g MS) and tannins (0.33 - 1.36 mg/100g MS). Fortunately, these were considerably reduced by pretreatment. We observed a 40.07, 83.33, 64.64 and 60.95% reduction in tannins, phytates, oxalates and saponins respectively.

Key words: Malnutrition, sesame, protein, concentrate.

INTRODUCTION

INTRODUCTION

La malnutrition est un problème de santé publique majeur touchant de nombreuses populations à travers le monde en général, et en Afrique subsaharienne en particulier (**FAO, 2020**). La carence en protéines est l'un des aspects de la malnutrition ayant un impact majeur sur la santé, en particulier chez les enfants dont la croissance, le système immunitaire, le développement cognitif peuvent être compromis en l'absence de protéines. Chaque année, la malnutrition protéique est responsable de 35% de mortalité chez les enfants (**OMS, 2021**). L'une des principales raisons qui justifie ce fort taux de mortalité de la malnutrition protéique dans les pays en voies de développement est le coût élevé des denrées alimentaires d'origine animale riches en protéines (viande, poisson, œuf, etc.) dans certaines zones rurales (**Birama et al., 2018**). Ce coût onéreux justifie leur inaccessibilité aux couches sociales les plus démunies, et donc un risque permanent de la malnutrition. Pour faire face à ce défi, diverses stratégies de lutte ont été mises en place, parmi lesquelles la supplémentation et l'enrichissement alimentaire, la valorisation des sources de protéines non-conventionnelles accessibles à l'instar du sésame et ses dérivés. Dans ce contexte, la production de concentré de tourteau de sésame présente un potentiel intéressant car ce sous-produit issu de l'extraction de l'huile de sésame est couramment utilisé comme aliment pour le bétail. Cependant, il pourrait être utilisé pour enrichir les aliments de base et améliorer leur valeur nutritionnelle, en particulier dans les milieux ruraux où l'accès à des sources de protéines de qualité est limité (**Rasolofomanana, 2016**). De nombreuses études sur la valeur nutritionnelle des graines de sésame ont montré que ces graines sont une source importante en protéines (25%), en lipides (50-60%), en glucides (15%) et en minéraux (5%) (**Sene et al., 2011 ; Gadade et al., 2016 ; Koné et al., 2018**). Cependant, à notre connaissance, aucune étude n'a encore été réalisée sur la valorisation de concentré du tourteau de sésame. Serait-il possible d'utiliser les concentrés de tourteau de sésame pour lutter contre la malnutrition protéique ? D'où l'initiation de la présente étude qui vise à la caractérisation nutritionnelle et anti-nutritionnelle de ce concentré afin de le valoriser et d'enrichir davantage certains aliments disponibles pour une meilleure lutte contre la malnutrition protéique.

Hypothèse

Le concentré du tourteau de sésame obtenu après délipidation des graines présente des teneurs en protéines, en lipides résiduels, en minéraux favorables pour lutter contre la malnutrition protéique et des teneurs acceptables en anti-nutriments.

❖ **Objectif général.**

Faire une caractérisation nutritionnelle et anti-nutritionnelle du concentré de tourteau de sésame délipidé.

❖ **Objectifs spécifiques**

- ✓ Déterminer les teneurs en macronutriments (Protéines, lipides, des sucres totaux, des fibres totales teneur en eau) et en minéraux (Mg, Ca, Fe, Zn, P) du concentré du tourteau de sésame après décorticage et délipidation
- ✓ Déterminer les teneurs en anti-nutriment (Phytates, oxalates, tanins et saponines) du concentré du tourteau de sésame.

CHAPITRE I : REVENUE DE LA LITTÉRATURE

I.1 Généralité sur le sésame

I.1.1 Présentation de sésame (*Sesamum indicum*)

Le sésame est une plante oléagineuse, aromatique, figurant parmi les plus anciennes cultures qu'a connues l'humanité (**Honjaya, et al., 2021**). Il est cultivé principalement dans les zones chaudes et moyennement humides du monde et est produit sur tous les continents sauf l'Europe. C'est une plante annuelle appartenant à la classe des Dicotylédones ou *Eudicotylédones*, à l'ordre des *Lamiales*, à la famille des *Pédaliacées* et au genre des *sésamées* (**Stevens, 2011**). Le sésame est une plante qui ne résiste pas aux gelées et elle a besoin de longs étés chauds qui lui permettant d'aller au bout de son cycle (**Rebbas et al., 2020**). La plante a un cycle de 75 à 135 jours suivant les variétés et un développement de 0,70 à 2,30 mètres (**Rongead, 2013**). La tige, de section carrée longitudinalement cannelée, est de couleur verte, rarement pourpre. Elle peut être glabre, veloutée ou poilue. Ce trait poilu de la tige et des rameaux permet un groupage de variétés (**Kafiriti et Deckers, 2001**). Les feuilles inférieures sont opposées, larges (12 x 8 cm), grossièrement lobées et à long pétiole (5 cm). Par contre, les feuilles supérieures sont alternes ou sub-opposées, ou étroites (9 x 2 cm), avec une phyllotaxie particulière. Les feuilles sont de couleur verte terne avec des poils et des stomates sur les deux faces (**Kafiriti et Deckers, 2001**).

Le système racinaire du sésame est de type mixte avec un pivot à croissance initiale rapide pouvant atteindre 90 cm et un réseau dense de racines superficielles (lacs de radicules) peu développées (**Diouf & Diop, 2002**). Selon **Weiss, (2000)** l'élongation racinaire contribue aux stratégies d'évitement de la sécheresse et la croissance initiale rapide du pivot serait due au prélèvement d'une quantité de phosphore par les racines secondaires à 5 et 8 centimètres du sol.

Les graines de sésame sont logées dans des capsules à 2, 3 ou 4 lobes. Les capsules sont déhiscentes à maturité, mais certaines variétés récoltables mécaniquement sont non déhiscentes. Le poids moyen de 100 graines se situe entre 2 et 4 grammes. La levée du sésame est rapide : dès 72 heures après semis (après pluie de 25 à 30 mm). Les premières fleurs apparaissent après la 3^e semaine et les capsules se forment à partir de la 4^e ou 5^e semaine (**Rongead, 2013**).

La production de graines de sésame augmente à l'échelle mondiale. Le sésame se classe au 9^e rang des cultures oléagineuses qui constituent 90% de la production d'huile comestible dans le monde (**Saha et al., 2014**). Cet état s'explique par la forte demande mondiale en graines

de sésame qui, elle, se justifie par la bonne teneur en huile et en protéines de la graine et par la présence des antioxydants (sesamine, sésamoline et sésamol) qui rendent l'huile plus stable (Birama et al., 2018)



(A)



(B)



(C)

Figure 1: Illustration de l'appareil végétatif du sésame : (A) Un plan et fleurs de sésame; (B) Capsules de sésame; (C): Graines de sésame (El Mokni & El Aouni, 2013)

I.1.2 Composition biochimique de la graine de sésame

La distribution des composants bioactifs dans les graines de sésame témoigne sa valeur alimentaire élevée. Du point de vue de la composition protéino-énergétique les graines de sésame contiennent en moyenne 50% d'huiles, 25% de protéines et 15% de glucides (**Borchani et al., 2010**). De fortes teneur en huile des graines de sésame (35-60%) ont été rapportées par **Alyeméni et al., (2011)**. Les graines de sésame sont riches en acides gras essentiels du groupe C18 (acides linoléique et linolénique) (**Yogranjan et al., 2014**). De plus, les graines de sésame contiennent de nombreux éléments minéraux et des vitamines (**Kanu, 2011**). Un profil minéral composé de Calcium (415,38 mg/100 gMS) ; Phosphore (647,25 mg/100 gMS) ; Potassium (851,35 mg/100 gMS); Magnésium (579,53 mg/100 gMS) et Sodium (122,50 mg/100 gMS) a été évalué par **Nzikou et al., (2010)**. D'après les études de **Sene et al., (2018)**, la teneur de graine de sésame en minéraux et en nutriments est illustrée dans le tableau 1. **Dar et Arumgam en 2013** ont mis en évidence le fort plateau antioxydant du sésame avec des lignanes (sésamoline et sésamine).

Selon **Dang et al.,(1997)** les graines de sésame moulues pourraient être utilisées comme complément alimentaire contre la malnutrition infantile. Au regard de sa composition en huile, éléments minéraux, protéines, et antioxydants, le sésame (*Sesamum indicum L.*) est parfois considéré comme la « reine des graines oléagineuses ».

Étant donné que les matières grasses fournissent plus d'énergie, le sésame pourrait alors être une solution dans la lutte contre la malnutrition protéino-énergétique. Cette forte composition en protéines et en matières grasses a été également prouvée par **Hassan en 2012**. En outre, **Gupta et al., (2010)** ont rapporté que la plupart des protéines dans la farine de sésame sont constituées de : 8,6% d'albumine, 67,3% de globuline et 1,4% de prolamine et 6,9% de glutéline. De la même façon qu'on utilise les graines de sésame pour la lutte contre la malnutrition protéino-énergétique, la composition en acides aminés de la protéine de sésame montre que le sésame peut être utilisé comme une base de régime, complétant les céréales et les légumineuses.

Le tourteau issu des graines de sésame contient des protéines à des quantités élevées, du soufre total contenant les acides aminées, méthionine et cystine alors que beaucoup de protéines végétales ont des teneurs faibles en acide aminé total soufré comme la protéine de la farine de maïs, de soja (**Iwe et al., 2001**), du riz blanchi et de blé (**Peter et al., 2007**). À côté de ces acides aminés, une forte fraction d'antioxydants, composée de la sésamine et de la sésamoline avec tous ses produits dérivés, a été trouvée par **Yogranjan et al., 2014** et **Rizki et**

al., 2017. C'est cette composition qui lui confère sa stabilité et sa résistance au rancissement. D'après **Sana et al., 2001** la teneur en cendres (4,5%) lui confère un taux de matière minérale élevé. Les graines de sésame sont une excellente source de cuivre et de calcium. Elles sont également riches en phosphore, en fer, en magnésium, en manganèse, en zinc et en vitamine B (**Anilakumar et al., 2010**).

Tableau 1 : Teneur en quelques minéraux et macronutriments des graines de sésame

Minéraux (mg/100g)				
Calcium(Ca)	Phosphore(P)	Magnésium(Mg)	Fer(Fe)	Zinc (Zn)
973,22	711,17	455,04	10,86	7,88
Macronutriments (%)				
Protéines	Glucides	Lipides	Fibres	Cendres
15,67	18,44	56,56	8,22	5,48

I.1.3 Utilisation pharmaceutique, alimentaires, industrielle et nutritionnelle des graines de sésame

I.1.3.1 Utilisation alimentaire et industrielle

Les graines de sésame ont une grande valeur alimentaire et elles sont utilisées aujourd'hui comme toutes autres graines oléagineuses dans les industries cosmétiques, pharmaceutiques et agro-alimentaires (**Honjoya et al., 2021**).

En alimentation, l'huile des graines de sésame est utilisée dans la cuisson, les graines sous forme de petits pains, croustilles, de cracker, de gâteaux, de soupe, d'épices, dans la confiture. Elles entrent également dans la production de la pâte (tehineh) et dans des formulations alimentaires telles que Halaweh (tehineh sucré) (**Abou-Gharbia et al., 2000**).

Les graines de sésame contiennent plus de trois (3) fois plus de calcium qu'une mesure comparable du lait. Les Européens utilisent son huile en substitution de l'huile d'olive

La farine de sésame est une poudre brune comestible, crémeuse et légère. Elle est riche en tryptophane et en méthionine ; Par contre, elle est déficiente en lysine (**Honjoya, et al., 2021**).

L'huile de sésame est très utilisée en cosmétique, comme actif ou support, pour le traitement du tissu cutané grâce à la présence de nombreuses substances ayant une influence sur la peau et les cheveux telle que la sésamine, la sésamoline et les vitamines qui ont des propriétés anti-oxydantes, régénératrices et hydratantes. Les phytostérols ont une activité

assainissante et contribuent à réguler le sébum. D'autre part, l'huile de sésame entre dans la composition de produits pour application cutanée ou capillaire ainsi que d'huiles de massage, augmente l'élasticité de la peau et ralentit le phénomène de vieillissement (**Honjaya et al., 2021**).

I.1.3.2 Utilisation nutritionnelle et médicale

Le sésame contient de nombreux composés phytochimiques comme les flavonoïdes, les acides phénoliques, les alcaloïdes, les tanins, les saponines, les stéroïdes, les terpénoïdes... mais aussi les tocophérols et les lignanes qui lui confèrent plusieurs propriétés pharmaceutiques illustrées dans le tableau II.

L'huile de sésame est une huile très intéressante au niveau diététique, car son équilibre entre l'acide oléique C18 :1 et l'acide linoléique C18 :2 fait de cette huile une très bonne huile de table dans les régimes alimentaires qui ont pour but la prévention des maladies cardiovasculaires et la hausse « des mauvais cholestérols ». La présence de lécithine par son rôle d'émulsifiant au dépôt de cholestérol et des graisses saturées dans les artères.

La présence de deux constituants inhabituels dans l'huile : la sésamine et la sésamoline donne à l'huile de sésame un fort pouvoir antioxydant, donc une grande stabilité à l'oxydation. L'huile de sésame, employée en massage, augmente l'élasticité de la peau et ralentit le processus de vieillissement.

D'autre part, il a été rapporté que la sésamine inhibe l'activité de Δ -5 désaturase ainsi que l'absorption du cholestérol ; et avec les activités du sésamoline, il a été rendu responsable de la prévention du cancer. Le sésamol stimule le système digestif et certaines glandes endocrines et fluidifie le sang.

La consommation de la graine de sésame paraît augmenter le taux de α -tocophérol plasmatique et d'augmenter l'activité de la vitamine E qui évite le cancer et les maladies du cœur.

Tableau 2 : Propriétés pharmaceutiques et nutraceutiques des phytoconstituants des graines de sésame

Composés phytochimiques	Utilisations et Fonctions	Références
Lignanes : Sésamine, sésamol, sésaminol et composés apparentés	Anti-mutagène, antioxydant, antihypertenseur, hypocholestérolémiant, anti-inflammatoire, anti-thrombotique, neuroprotecteur, cardioprotecteur, utilisé comme bactéricide et insecticide, et dans le cas de l'hépatique accrue (mitochondriale et l'oxydation des peroxysomes),	(ASGA, 2011) (Gauthaman K. & Mohamed, 2009), (Bournival et <i>al.</i> , 2012).
Huile de sésame	Adoucissant de la peau, améliore la résistance des cellules à la peroxydation lipidique, véhicule oléagineux pour les médicaments et les laxatifs, utilisée dans le traitement de la sécheresse de la muqueuse nasale, d'une vision floue, des étourdissements, de l'anxiété, des maux de tête et de l'insomnie,	(Shivhare et Satsangee, 2012), (Kaur et Saini, 2000)
Acide myristique	Utilisé dans la prévention du cancer, et dans l'industrie (cosmétiques et du savon)	(Morris, 2002) ; (Ahmad, 2006)
Flavonoïdes	Hypoglycémique	(Morris, 2002)
Lécithine et lignanes	Utilisés dans la diminution de la dermatite, l'oxydation (rancissement) et l'inhibition de la production de cholestérol	(Anilakumar et <i>al.</i> , 2010); (Shivhare et Satsangee, 2012)
Fibres	Utilisées comme cardio-protecteurs	(Anilakumar et <i>al.</i> , 2010); (Morris, 2002).

I.1.4 Le tourteau

Le tourteau de sésame est le principal résidu de l'extraction, il est aussi un concentré de grande valeur nutritive et énergétique utilisé pour l'alimentation du bétail et peut aussi servir de matières premières à plusieurs denrées alimentaires humaines. Pour la consommation humaine, le décorticage des graines est nécessaire, car les enveloppes contiennent de l'acide

oxalique (2-3%) indésirable et des fibres qui réduisent la digestibilité des protéines et altère l'aspect du produit en lui donnant une couleur sombre. Le décortiquage des graines réduit l'amertume et accroît le rendement en huile. Le tourteau de sésame apporte dans la ration des animaux une amélioration du rapport Ca/P qui se rapproche de l'optimum. D'excellents résultats ont été obtenus dans l'alimentation des vaches laitières et l'engraissement du bétail et des poulets de chair avec le tourteau de sésame. Dans l'alimentation humaine, les études menées confirment l'amélioration de la valeur nutritionnelle des produits extrudés par ajout du gâteau de sésame (**Rasolofomanana, 2016**).

D'après les travaux d'**Ezounou et al., 2017**, contrairement au tourteau d'arachide et de soja qui sont limitants en méthionine, cystéine, phénylalanine, le tourteau de sésame représente un potentiel élevé pour l'alimentation lorsqu'il est mélangé à des aliments riches en lysine (les céréales). Le tableau ci-dessous donne la composition de quelques acides aminés essentiels, du calcium et du phosphore de ces tourteaux.

Tableau 3: Teneur de quelques acides aminés essentiels, Ca et P des tourteaux d'arachide, de soja et de sésame.

Valeur moyenne (mg/100g protéine)	Tourteau d'arachide	Tourteau de soja	Tourteau de sésame
Lysine	5,245	6,075	2,115
Méthionine	2,335	2,720	4,730
Cystéine	1,645	1,645	2,065
Phénylalanine	2,820	3,880	3,325
Calcium	92	33	975
Phosphore	0,6	1,00	1,2

Mise à part la lysine, le tourteau sésame est plus riche que les autres tourteaux en acides aminés essentiels. Il en est de même pour le calcium et le phosphore

I.2 Généralité sur les protéines

Présentes chez tous les êtres vivants, des Bactéries à l'Homme, les protéines sont des très gros biopolymères formés à partir de 20 acides aminés différents. Ces α -aminoacides s'unissent par des liaisons peptidiques (voir figure 1 ci-dessous) pour former des chaînes polypeptidiques linéaires (**Serge & Pierre , 2004**)

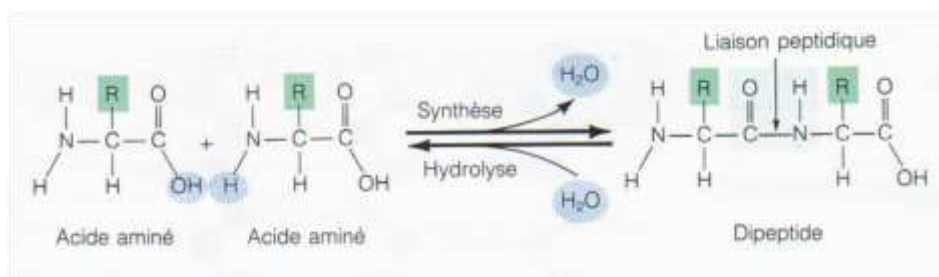


Figure 2:Synthèse d'une liaison peptidique

Les protéines assurent une multitude de fonctions au sein de la cellule vivante et dans les tissus :

- + Rôle enzymatique : les enzymes qui catalysent les réactions chimiques de synthèse et de dégradation nécessaires au métabolisme de la cellule.
- + D'autres protéines assurent un rôle structural au sein du cytosquelette ou des tissus (*actine, collagène*),
- + Certaines sont des moteurs moléculaires qui permettent la mobilité (*myosine*)
- + D'autres sont impliquées dans le conditionnement de l'ADN (*histones*), la régulation de l'expression génétique (*facteurs de transcription*), le métabolisme énergétique (*ATP synthase*) ou encore la transmission de signaux cellulaires (*récepteurs membranaires*) (**Serge & Pierre, 2004**)

Si les besoins en protéines sont très mal couverts, cela peut entraîner les problèmes suivants :

- + Perte de masse musculaire : pas d'amélioration des performances malgré un entraînement intensif, voire baisse des performances ;
- + Diminution de la force psychique, irritabilité, fatigue, sentiment d'épuisement, susceptibilité accrue ;
- + Prédilection accrue aux infections (santé fragile), moins bonne cicatrisation ;
- + Troubles de la digestion : ballonnements, diarrhée, flatulence ;
- + Anémie (carence en fer), taux élevé de cholestérol ;
- + Perte des cheveux, œdème (rétention d'eau) ;
- + Problèmes de poids : effet de satiété n'est plus ressenti, fréquente envie de manger ;
- + Troubles de la croissance et du développement (enfants en bas âge, enfants) (**OMS, 2021**)

I.2.1 Qualité et besoin en protéines alimentaires de l'homme

Qualité de protéines

La qualité, la valeur ou l'équilibre d'une protéine alimentaire dépend de sa composition en acides aminés. Une protéine équilibrée ou de haute qualité contient tous les acides aminés essentiels en proportions correspondant aux besoins de l'organisme humain. Les protéines d'origine animale sont généralement de meilleure qualité que celles d'origine végétale. En effet, les matières protéiques animales ne renferment presque pas de substances anti-nutritionnelles, par rapport aux matières protéiques végétales **(Sami & Vickie E., 2008)**

Parmi les matières protéiques végétales, la plupart des légumineuses sont des amylacées protéinées. Elles sont riches en arginine, assez bien pourvues en lysine, mais déficitaires en méthionine et cystéine. Elles complémentent donc bien les céréales qui sont pauvres en lysine, mais équilibrées pour les autres acides aminés. **(Cruz et al., 2019)**

Les acides aminés présents dans les protéines des régimes ne sont pas toujours totalement disponibles, car la digestion de la protéine ou l'absorption des acides aminés peut-être incomplète. Les acides aminés des protéines animales sont généralement digérés et absorbés à un taux de 90 %, tandis que ceux de certaines protéines végétales peuvent n'être libérés et absorbés qu'à 60 à 70 % seulement. La moins bonne digestibilité de certaines protéines peut être attribuée à plusieurs facteurs tels que : la conformation de la protéine, les interactions protéines –substances anti-nutritionnelles, les interactions protéines –lipides, les effets des traitements thermiques **(Johannes et al., 2003)**

➤ **Besoin en protéines alimentaires de l'Homme**

Le besoin en protéines est de 14 à 25 % du régime suivant l'espèce et l'état physiologique. Les protéines ne peuvent pas être remplacées par d'autres nutriments comme les glucides et les lipides. Ainsi, les denrées contenant moins de 3 % de protéines (manioc, pomme de terre) ne satisfont pas les besoins protéiques de l'homme même si elles sont ingérées en quantités qui dépassent les besoins caloriques. **(Muller & Krawinkel, 2005)**

Les protéines étant de biopolymères d'acides aminés, les besoins en protéines se résument aux besoins en acides aminés. Parmi les acides aminés qui constituent les protéines, neuf (9) sont indispensables ou essentiels à l'homme et doivent provenir nécessairement des protéines alimentaires. Ce sont : la lysine, la thréonine, le tryptophane, la méthionine, la leucine, l'isoleucine, la phénylalanine, la valine et l'histidine. Ces besoins diminuent avec l'âge et représentent environ le 1 / 10 en poids chez l'adulte **(FAO & WHO, 2007)**

La ration alimentaire en protéines varie selon l'état physiologique. D'une manière générale, elle doit être de 0,66 g de protéines par kg de poids corporel par jour chez des sujets à l'équilibre énergétique et avec une activité physique modérée. Chez le jeune, une composante de croissance doit être ajoutée. La femme enceinte et la femme allaitante ont un besoin supplémentaire (FAO & WHO, 2007).

Le tableau ci-dessous indique chez l'être humain les teneurs en acides aminés essentiels conseillées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)

Tableau 4 : Besoins journaliers en acides aminés essentiels (FAO/WHO, 2007)

Acides aminés Essentiels	Besoins quotidiens (En mg / Kg /J)
Isoleucine	30
Leucine	59
Lysine	45
Méthionine	22
Phénylalanine	38
Threonine	23
Tryptophane	6
Valine	39
Histidine	15

I.2.2 Différentes fractions protéiques végétales

Les albumines, les globulines, les prolamines et les glutélines sont les principales fractions protéiques des végétaux.

➤ Les albumines

Les albumines sont des protéines solubles dans l'eau pouvant être précipitées dans les solutions salines saturées. Les albumines regroupent la plupart des protéines présentant une activité biologique. Elles ont en général des teneurs plus élevées en acides aminés soufrés (cystéine, cystine et méthionine), en lysine et en histidine (Gueguen & Azanza, 1983)

Leur poids moléculaire est estimé entre 11 et 30 KDa mais la valeur moyenne est de l'ordre de 16 KDa. On les trouve généralement dans l'œuf, le lait, les graines, le sang, etc. Les albumines représentent 8,6% de protéines des graines de sésame (*Sesamun indicum*), 10 à 15 % de protéines de légumineuses, 22 et 40 % des protéines de colza (*Brassica napus* L., *Brassica campestris* L.) et de tournesol (*Helianthus annuus* L.) respectivement. La fraction albumine de

ces graines est constituée d'enzymes (lipoxygénases, uréases, amylases), de lectines (hémagglutinines) et d'inhibiteurs d'enzymes (facteurs antitrypsiques) (**Chavan et al., 2001**).

➤ **Les globulines**

Les globulines sont les protéines solubles dans des solutions alcalines diluées. Chez les végétaux, les globulines constituent les protéines de réserve de la graine. Elles ont une composition caractéristique des protéines de réserve riches en acides aspartique, glutamique et leurs amides, et en arginine. Leur poids moléculaire est en moyenne de 90 KDa (**Gupta et al., 2010**). Les globulines constituent 60 à 90 % de protéines de légumineuses où elles sont constituées en majorité de conglycinine et de glycinine. Dans les graines de sésame les fractions globulines représentent 67,3% protéines totales et dans le tournesol, et de Colza (*Brassica napus*, L., *B. campestris*) elles représentent respectivement 28 et 56 %

➤ **Les prolamines**

Les prolamines sont solubles dans des solutions aqueuses à teneur élevée en éthanol et constituées de protéines de poids moléculaires compris entre 25 et 75 KDa (**Gessendorfer et al., 2009**). Les prolamines sont majoritairement (85 %) représentées dans le blé, le seigle et l'orge, mais on les retrouve également à 1,4% dans les graines de sésame. Ce sont des protéines de réserve des céréales. On les retrouve dans le gluten. Elles déterminent en grande partie l'aptitude à la panification du blé en jouant un rôle majeur dans l'élasticité et la résistance à la déformation de la pâte (**Chavan et al., 2001**).

➤ **Les glutélines**

Les glutélines représentent 45 % des protéines du blé et 6,9% des protéines de graine de sésame. Ce sont des protéines solubles dans des solutions acides ou basiques, de poids moléculaire variant entre 100 et 1000 KDa. Les glutélines et les prolamines sont des fractions protéiques ayant fait l'objet de peu d'études (**Gupta et al., 2010**)

I.2.3 Digestion et absorption des protéines

➤ **Digestion**

L'azote est fourni à l'organisme sous forme de composés et essentiellement sous forme de protéines. Elles sont trop grosses pour traverser la paroi intestinale et vont donc subir un processus d'hydrolyse progressive qui commence dans l'estomac pour se terminer dans l'intestin. Les acides aminés, monomères des protéines, sont libérés sous l'action des enzymes protéolytiques et absorbés dans l'intestin grêle.

L'estomac sécrète un suc gastrique qui contient de l'acide chlorhydrique et une pepsinogène (proenzyme). L'acide chlorhydrique, trop dilué pour assurer une action hydrolytique, fonctionne comme un bactéricide et dénature les protéines pour permettre une attaque efficace des protéases. Le pepsinogène est activé par clivage d'une séquence des acides aminés d'inactivation sous l'action de l'acide chlorhydrique ou par autocatalyse sous l'action de la pepsine. La pepsine est une endopeptidase, stable en milieu acide, qui libère des peptides et quelques acides aminés (**Khantaphant & Benjakul, 2010**).

Les polypeptides formés à l'issue de l'action de la pepsine vont subir en entrant dans l'intestin grêle l'action des enzymes pancréatiques qui vont les réduire en oligopeptides et quelques acides aminés. La libération et l'activation des proenzymes sont sous le contrôle de deux hormones, la cholécystokinine et la sécrétine, rencontrées dans le tractus digestif.

Une entéropeptidase, synthétisée par les cellules muqueuses intestinales et présentes à leur surface, active la trypsine en clivant le trypsinogène pour lui retirer un hexapeptide à partir de l'extrémité N-terminale. La trypsine devient un activateur de toutes les autres enzymes pancréatiques libérées aussi sous forme de proenzymes. Comme on peut le constater l'entéropeptidase déclenche donc une cascade d'activités protéolytiques. Chacune des enzymes pancréatiques est spécifique de la liaison peptidique hydrolysée. Par exemple, seule la liaison peptique dans laquelle est engagée la fonction carboxyle de l'arginine ou de la lysine est hydrolysée par la trypsine. Quant à la chymotrypsine, elle hydrolyse la liaison peptidique dans laquelle intervient la fonction carboxyle de tryptophane, phénylalanine tyrosine, leucine ou méthionine.

La muqueuse intestinale produit des aminopeptidases qui hydrolysent les oligopeptides et libèrent séquentiellement, à partir de l'extrémité N-terminale, des acides aminés libres (**Nalananon et al., 2010**).

➤ **Absorption**

A la fin de la digestion, l'absorption des protéines par l'entérocyte se fait soit sous forme d'acides aminés libres, soit sous forme de di et tri peptides par le transporteur Pept-1. Il existe une vingtaine d'acides aminés libres absorbés par l'entérocyte. On ne connaît pas spécifiquement toutes les voies d'absorption de ces différents acides aminés. En revanche, on sait qu'ils font intervenir le gradient sodium, maintenu par la pompe $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$, comme pour le glucose. L'absorption des produits de dégradation des protéines est par conséquent un phénomène consommateur d'énergie, tout comme l'absorption des produits de dégradation des

sucres. Les acides aminés sont excrétés dans la veine porte et acheminés vers le foie, ils y sont métabolisés ou libérés dans la circulation générale (**Stéphane, 2008**)

I.2.4 Facteurs pouvant influencer la digestibilité des protéines

Les facteurs qui influencent la digestibilité des protéines sont classés en deux catégories : les facteurs intrinsèques et les facteurs extrinsèques.

➤ **Facteurs intrinsèques**

Les facteurs intrinsèques sont ceux propres à l'aliment. Ce sont en effet des facteurs qui font partie des constituants de l'aliment. Parmi eux, on peut citer les substances anti-nutritionnelles présentes dans l'aliment et la conformation de la protéine.

➤ **Les substances anti-nutritionnelles**

Les substances anti-nutritionnelles limitant la digestibilité des protéines sont dites anti-protéino-génétiques. Elles agissent sur les protéines en formant des interactions avec elles. Les traitements thermiques et alcalins favorisent ces interactions. La conséquence, c'est la baisse de la biodisponibilité des acides aminés qui sont bloqués dans différentes réactions. Parmi les substances anti-protéinogénétiques, on peut citer les inhibiteurs de protéases, les phytates, les oxalates et les tanins qui sont rencontrés généralement dans les graines de sésame.

➤ **Facteurs extrinsèques**

Les facteurs extrinsèques sont dus aux différents traitements technologiques subis par l'aliment. Parmi les facteurs extrinsèques, on peut citer les traitements thermiques, les traitements alcalins, etc...

➤ **Les traitements thermiques**

La cuisson des graines réduit leur teneur en substances anti-nutritionnelles, mais diminue la disponibilité de certains acides aminés en occurrence la lysine. En présence de sucres réducteurs, les traitements thermiques entraînent des interactions protéines– glucides appelées réactions de Maillard. Elle commence par la condensation entre un groupement aminé (NH₂) de la lysine et un glucide réducteur. Il se forme une base de Schiff instable qui s'isomériser en aldosylamine ou en cétosylamine. Ces derniers donnent après hydrolyse les produits d'Amadori ou de Heyns qui se complexeront et donneront des pigments bruns appelés mélanoides. La lysine est le principal acide aminé dont la biodisponibilité est réduite (**Moughan & Rutherford, 2008**).

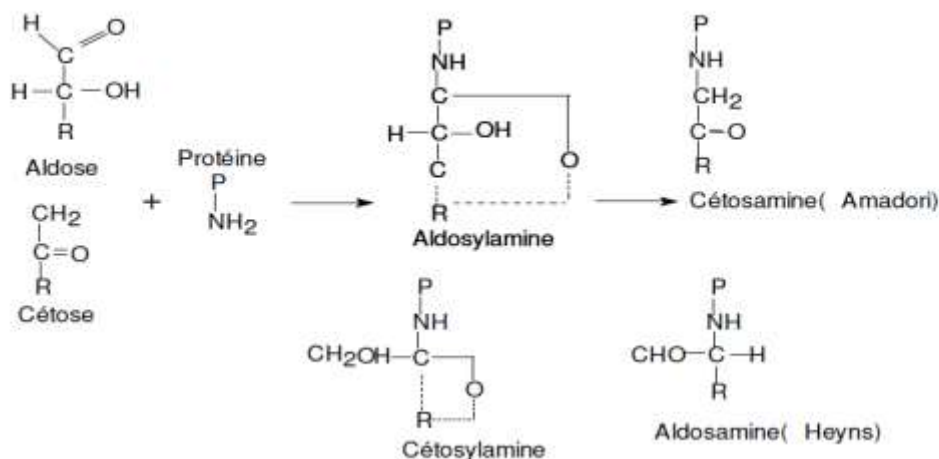


Figure 3: Réactions de formation des produits d'Amadori et de Heyns (réaction de Maillard)

I.2.5 Méthodes d'analyse des protéines

Pour le dosage ou la quantification des protéines différentes méthodes sont à utiliser parmi lesquelles on dénombre :

- Méthode de Kjeldahl : cette méthode, qui est la méthode de référence, consiste à effectuer une minéralisation complète des molécules organiques, transformant l'azote présent en ammoniacque qui peut être dosé par différentes techniques.
- Méthode de Dumas : La méthode de Dumas est également basée sur le dosage de l'azote protéique par minéralisation poussée des protéines. Cette méthode est plus juste que la méthode de Kjeldahl puisqu'elle permet de doser toutes les formes de l'azote (organiques et inorganiques), mais elle est très délicate (investissement élevé)
- Digestion alcaline et méthode de Kofranyi : La méthode de Kofranyi repose sur la propriété qu'ont les protéines de libérer une certaine quantité d'ammoniacque, dans un milieu fortement alcalin (NaOH)

I.3 Généralité sur les anti-nutriments

I.3.1 Définition

Les anti-nutriments sont des substances naturellement présentes dans les plantes, qui peuvent limiter l'absorption de certains nutriments lorsque nous les consommons. Ces substances réduisent la valeur nutritionnelle des aliments en interférant avec l'absorption de certains minéraux (fer, calcium, zinc), et la digestibilité des protéines et des glucides. Dans certains cas, elles peuvent potentiellement causer une toxicité, et des problèmes de santé lorsqu'elles sont présentes dans l'organisme en trop grande quantité.

Les anti-nutriments sont principalement contenus dans les légumineuses, les céréales, les graines, les noix, les légumes, les fruits et les oléagineux... Les anti-nutriments les plus communs sont les lectines, l'oxalate, les phytates, les goitrogènes, les phytoestrogènes, et les tanins mais seuls ceux rencontrés dans le sésame seront décrits dans ce document.

I.3.2 Les phytates et leur interaction avec les protéines

Le phytate, également connu sous le nom d'acide phytique, est un anti-nutriment très répandu dans les végétaux. Il sert principalement au stockage du phosphate végétal, de source d'énergie et d'antioxydant pour la germination des graines. L'acide phytique présent dans un aliment, peut former des complexes avec les protéines et les cations divalents. L'interaction entre phytates et protéines conduit à la diminution de la solubilité des protéines qui deviennent non digestibles par les protéases. La formation du complexe protéine – phytate a plus tendance à prendre place en milieu acide (**Graf & John, 1986**). A un pH inférieur au pHi, les groupements lysyl, histidyl et arginyl des protéines sont chargés positivement et peuvent former des complexes avec des phytates chargés négativement. Lorsque le pH est supérieur au pHi, les protéines et les phytates sont chargées négativement, les phytates se fixent sur les protéines à travers les ions divalents tels que le calcium, le magnésium, le cuivre, etc. L'acide phytique peut également se complexer aux groupements ϵ – aminés de la lysine à cause de leur protonation en dessous de pH 10 (**Hidvégi & Lasztity, 2002**).

Les complexes protéines – phytates peuvent se former pendant les processus de transformation de l'aliment et pendant la digestion conduisant à la diminution de la valeur nutritionnelle des protéines alimentaires.

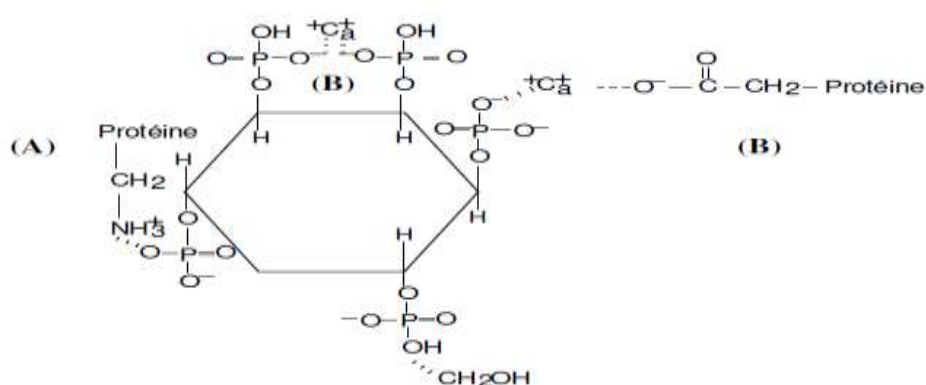


Figure 4: Interaction protéines-phytates à pH acide (A) et à pH basique (B) (**Graf & John, 1986**)

I.3.3 Tanins -interactions protéines

Les tanins sont des composés polyphénoliques qui se subdivisent en deux groupes : les tanins hydrolysables et les tanins condensés. Ce sont ces derniers que l'on trouve dans les

graines de céréales légumineuses et les oléagineux, principalement localisés dans les téguments des graines. Leurs effets biologiques sont dus à leur capacité à se complexer avec les protéines alimentaires et/ou les enzymes. Ils sont aussi responsables de baisses de digestibilité des protéines chez le porc (**Perez & Bourdon, 1992**) et d'une augmentation des pertes d'azote endogène par une abondante sécrétion du mucus (**Sell et al., 1985**) et d'enzymes digestives (**Jansman et al., 1993**). Leurs interactions avec les acides aminés se déroulent aussi comme indiqué à la figure 7 ci-dessous. Les tanins influencent significativement la digestibilité *in vivo* des protéines lorsque l'aliment est à 10 % de protéines. Cet effet n'est pas observé lorsque la teneur en protéines de l'aliment est de 20 % (**Junnien, Liu, & Tao, 2003**).

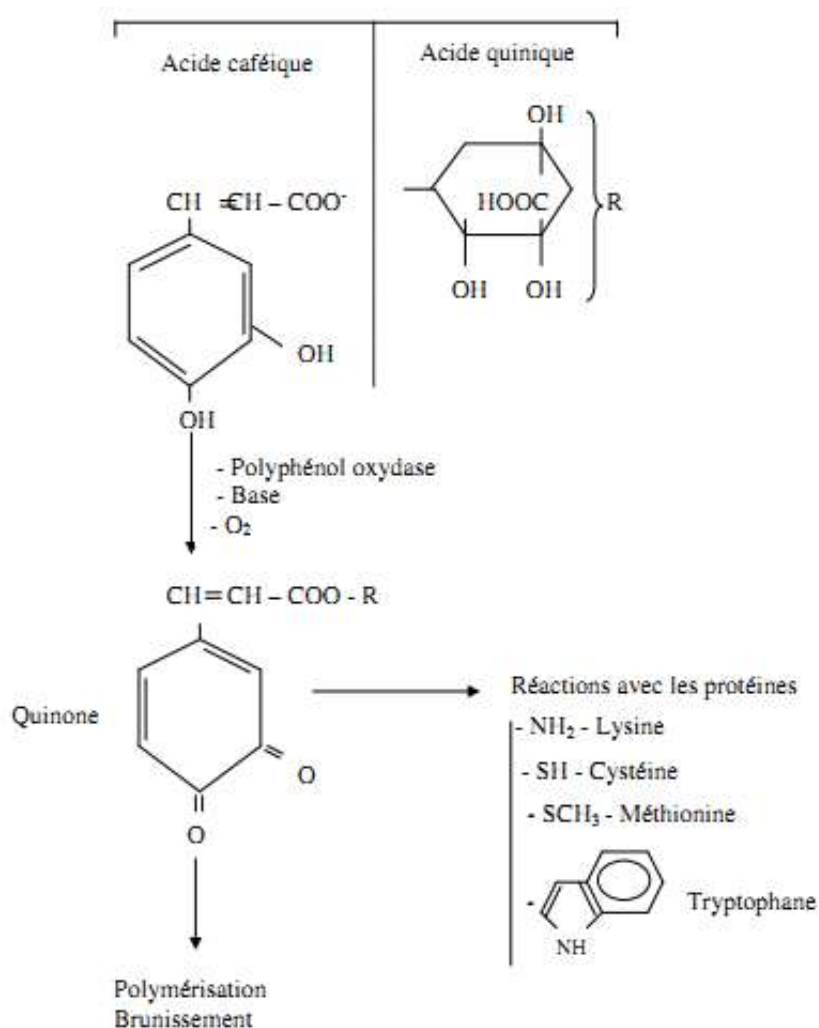


Figure 5: Réactions des composés phénoliques (cas de l'acide caféique) avec les protéines (**Hurrell, Finot, & Cuq, 1982**)

I.3.4 Oxalates -interactions protéines

L'acide oxalique de formule $\text{HOOC}-\text{COOH}$ est un diacide organique dont la structure ne présente que deux atomes de carbone. Il est présent à l'état libre et surtout sous forme de sels,

aussi bien dans le règne végétal que dans le règne animal. Les produits alimentaires d'origine animale en sont pauvres tandis que ceux d'origine végétale en sont riches. Cependant, la répartition de l'acide oxalique dans le règne végétal varie d'une famille à une autre (**Sefa-Dedeh et al., 2004**).

La plus grande partie de l'acide oxalique contenu dans les plantes s'y trouve sous forme d'oxalates solubles de sodium et de potassium. 10 à 20 % seulement apparaissent comme oxalate insoluble surtout dans les membranes cellulaires. Les légumes et les fruits renferment l'acide oxalique sous formes de sels de sodium, de potassium et de calcium insoluble dans l'eau (**Sefa-Dedeh et al., 2004**). Les aspects de nocivité de l'acide oxalique se situent à deux niveaux : il limite l'utilisation biologique du calcium, des protéines et peut entraîner la formation des calculs rénaux.

Les interactions protéines – oxalates se forment par l'intermédiaire d'ions divalents à l'instar des ions calcium. La présence de deux fonctions acide carboxylique confère à l'acide oxalique la possibilité de se lier aux ions calcium. En effet, lorsque les conditions le permettent, l'acide oxalique se charge négativement, attirant électrostatiquement les ions calcium (Ca^{++}) qui portent des charges positives. On aboutit ainsi à la formation du complexe oxalate – calcium. L'acide oxalique en solution peut réagir directement avec les protéines et empêcher ainsi leur hydrolyse par les enzymes peptidiques.

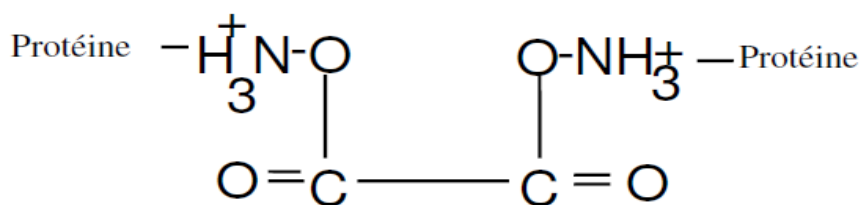


Figure 6:Réactions de l'acide oxalique avec les protéines (**Sefa-Dedeh et al., 2004**)

I.4 Généralité sur la malnutrition

I.4.1 Définition

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), « la malnutrition est définie comme un état pathologique résultant de la carence ou de l'excès, relatif ou absolu, d'un ou plusieurs nutriments essentiels, que cet état se manifeste cliniquement ou ne soit décelable que par des analyses biochimiques, anthropométriques ou physiologiques .

Malgré la volonté politique, force est de reconnaître que les problèmes liés à la malnutrition sont actuellement parmi les difficultés de grande ampleur auxquelles sont

confrontés la plupart des pays en développement. « Aujourd'hui, plus de la moitié de la population mondiale est atteinte par une forme de malnutrition », constatait le **FAO en 2020**.

Le rapport de la FAO sur L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde 2020, donnait déjà l'alarme en rapportant que : «Chaque année, plus de 20 millions d'enfants ont un poids insuffisant dans les pays en développement». Ce rapport ajoutait que : «La faim et la malnutrition provoquent des souffrances humaines atroces, tuent plus de cinq millions d'enfants chaque année et coûtent aux pays en développement des milliards de dollars de perte de productivité et de revenus».

L'on distingue trois formes de malnutritions : malnutrition par excès, la malnutrition par carence et par insuffisance en nutriment. Dans ce travail, il sera question de la malnutrition par insuffisance et plus précisément de l'insuffisance en protéines.

I.4.2 La malnutrition protéique et ses conséquences dans les pays en voie de développement

La malnutrition protéique est un déséquilibre de l'état nutritionnel dans lequel les protéines font défaut. C'est lorsque la carence en protéines est associée à un autre aliment énergétique, glucides et lipides, on parle de malnutrition protéino – énergétique (**Deen et al., 2003**). Les malnutritions protéique et protéino-énergétique sont responsables respectivement de 34,6 et 50 % de décès chez les enfants. La kwashiorkor et le marasme sont deux exemples respectifs de malnutrition protéique et protéino – énergétique (**Deen et al., 2003**)

L'apport en huiles et surtout en protéines alimentaires demeure insuffisant dans les pays en voie de développement. On note pour cela des répercussions sur la nutrition et la santé des populations. La production de graines oléagineuses telles que le sésame a toujours été minimale, et il n'existe pas d'entreprises de transformation des protéines végétales en milieu rural comme parfois en milieu urbain ou dans les pays industriels (**FAO, 2006**). En Afrique, le problème de malnutrition protéique est récurrent parce que l'alimentation des populations est caractérisée par un déficit en protéines dont les conséquences se manifestent chez les enfants en bas âge (**Deen et al., 2003**). Les protéines animales sont inaccessibles aux populations rurales pauvres. Pendant la période d'allaitement ou après le sevrage l'alimentation des enfants est à base de céréales (maïs, riz, mil, sorgho...) et de tubercules (igname, patate douce, manioc) qui contiennent plus des glucides et moins des protéines ; par conséquent ils ne sont pas très nécessaires à la croissance des enfants. Cette carence alimentaire en protéines cause la kwashiorkor qui entraîne non seulement une mortalité infantile élevée mais aussi un retard de croissance physique, intellectuel et des séquelles permanentes (**Spector, 2009**).

Le problème de malnutrition protéino – infantile dans les pays pauvres est dû à l'absence d'une politique gouvernementale de transformation des oléagineux. En effet, dans les pays en voie de développement, la transformation des produits vivriers est l'affaire des femmes et vient s'ajouter aux travaux agricoles qui leur reviennent dans la division du travail qui caractérise la société rurale (**Kapseu & Tchiégang, 1995**).

Chapitre II : Matériel et méthodes

II.1. Matériel

Cadre de travail

Ce travail a été effectué au laboratoire des Sciences Alimentaires et de Métabolisme (LabSam) de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé 1.

Collecte et traitement de l'échantillon

Le matériel utilisé dans ce travail était constitué des graines de sésame qui ont été achetées au marché de Melen de Yaoundé. Ces graines ont été transportées dans un sac en plastique jusqu'au laboratoire où elles ont été soigneusement triées pour éliminer celles endommagées et les débris végétaux post-récolte. Ensuite les graines ont été lavées et séchées à température ambiante 25°C pendant 48h.

Nous avons ensuite trempé 1kg pendant 24 h dans le but de réduire la présence des anti-nutriments puis sécher partiellement à l'étuve à 45°C pendant 24 h. Une torréfaction à feux doux pendant 3 minutes a été effectuée pour faciliter l'extraction de l'huile.

Pour le décortiquage, nous avons procédé par un lavage pour ramollir les enveloppes puis égouttage rapide. Nous avons décortiqué au pilon puis exposé le produit au soleil à une température ambiante pendant 30 min pour réaliser un séchage partiel. Une friction manuelle des graines encore humides contre un tamis pour détacher les enveloppes a été réalisée. Un second lavage a été effectué pour favoriser l'élimination des enveloppes puis égouttage dans un panier. Enfin nous avons séché le produit à la température ambiante pendant 3 h puis vanné pour obtenir les graines de sésame décortiquées.



Figure 7:Graines de sésame (*Sesamum indicum*)

Extraction

L'extraction mécanique est souvent la méthode préférée pour l'extraction des huiles à partir des graines d'oléagineuse car, cette méthode ne laisse pas des débris chimiques dans les sous-produits obtenus. Dans notre cas, il s'agit d'une extraction mécanique par une presse manuelle (**presse PITEBA**) au cours de laquelle les graines de sésame sont pressées une fois sans chauffage afin d'extraire l'huile qu'elles contiennent et obtenir le concentré du tourteau pour les analyses selon les étapes suivantes:

- 1) Réglage du bouchon terminal à moitié ouvert au départ puis plus serré au fur et à mesure du pressage,
- 2) Les graines de sésame sont placées dans l'entonnoir qui a le bon diamètre pour s'insérer dans le trou d'entrée,
- 3) La presse tourne sans bruit mais lentement et il faut de force pour tourner la manivelle,
- 4) L'huile coule immédiatement et facilement par la fente (pas d'obstruction), mais il arrive qu'un peu de tahin sorte également (pâte de sésame).



1) Réglage du bouchon terminal



2) Les graines de sésame sont placées dans l'entonnoir qui a le bon diamètre pour s'insérer dans le trou d'entrée



3) Les premiers tours de manivelle poussent les graines jusqu'au fond de la presse



4) Enfin, très rapidement, l'huile coule par la fente et remplit progressivement le pot

Figure 8: Etapes de l'extraction de l'huile de sésame par la presse **PITEBA**

La figure 9 présente le diagramme qui regroupe tous les prétraitements et les traitements effectués pour obtenir nos échantillons.

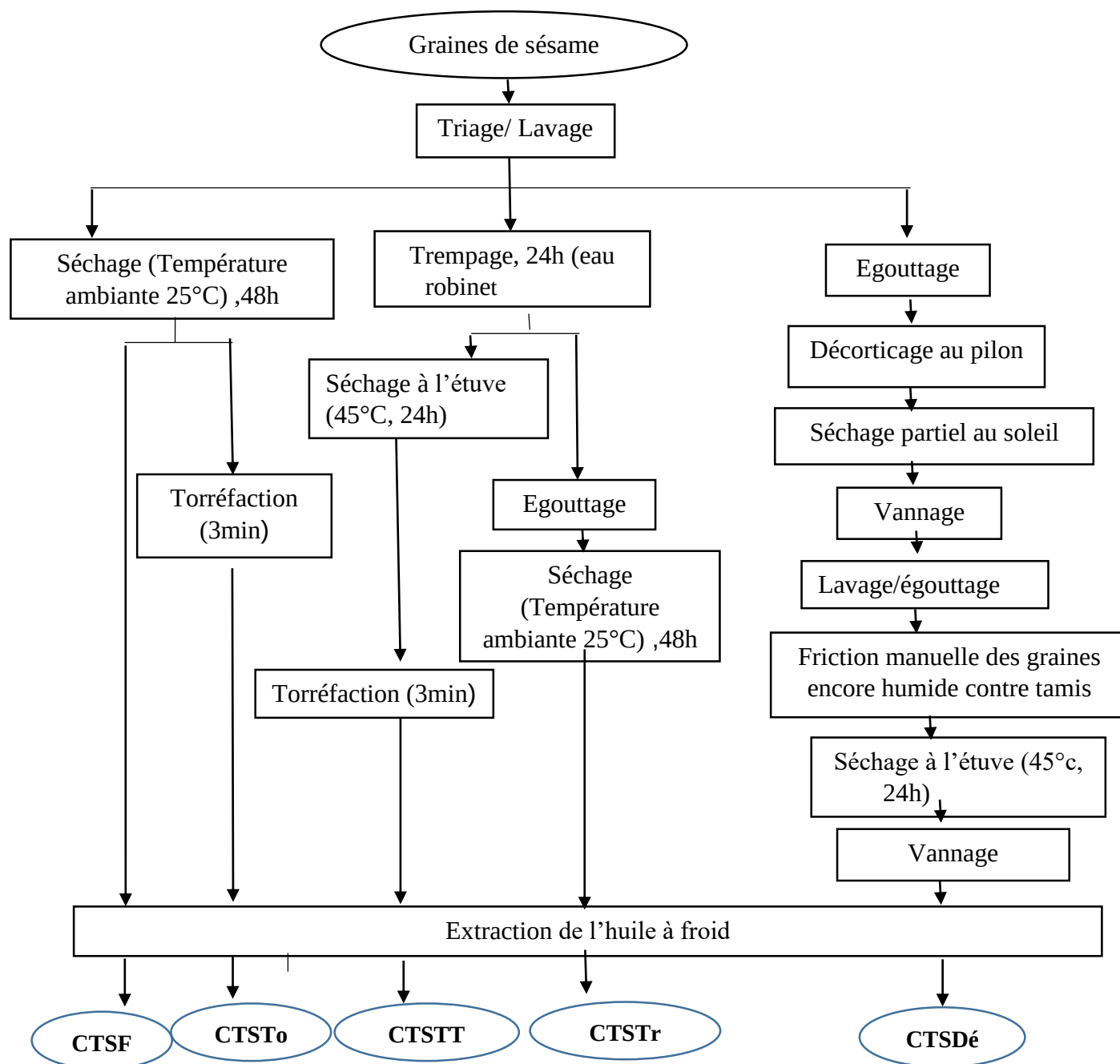


Figure 9:Diagramme de production de concentré du tourteau de sésame.

CTSF : concentré du tourteau de sésame frais ; CTSTT : concentré du tourteau de sésame trempé et torréfié ; CTSDé : concentré du tourteau de sésame décortiqué ; CTSTr : concentré du tourteau de sésame trempé.

II.2 Dosages

II.2.1 Détermination de la matière sèche (MS)

La détermination de la teneur en eau consiste à sécher à 105°C dans une étuve isotherme jusqu'à l'élimination complète d'eau libre de la matière et l'obtention d'un poids constant (A.O.A.C., 1980).

Mode opératoire : une masse de 2 g (P_1) d'échantillon a été pesée à l'aide d'une balance de précision (sensibilité 1 /1000) et introduite dans une nacelle. L'ensemble a été mis dans une étuve à une température de 105°C pendant au moins 24 h. L'échantillon était pesé toutes les deux heures (2 h) jusqu'à l'obtention d'un poids constant. À la sortie de l'étuve l'échantillon était ensuite refroidi à l'aide d'un dessiccateur pour empêcher la réabsorption de l'air et peser (P_2). Les résultats ont été exprimés en % sous forme de moyenne $\pm$ écartype. Trois essais ont été faits et la teneur en eau était la moyenne des teneurs déterminées selon la formule suivante :

$$\boxed{TE(\%) = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100} \iff \boxed{MS = 100 - MS}$$

P_1 : masse de l'échantillon frais avant séchage

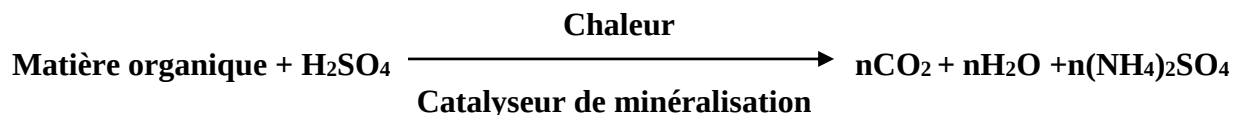
P_2 : masse l'échantillon après séchage de 24h

II.2.2 Détermination de la teneur en protéines brutes

La teneur en protéines brutes a été évaluée après détermination de la teneur en azote total et multiplication de cette teneur par 6,25. L'azote total a été déterminé après minéralisation des échantillons selon la méthode de **Kjeldahl, (1984)** suivi du dosage colorimétrique de (**Devani, Shishoo, & Suhagia, 1989**)

- **Minéralisation**

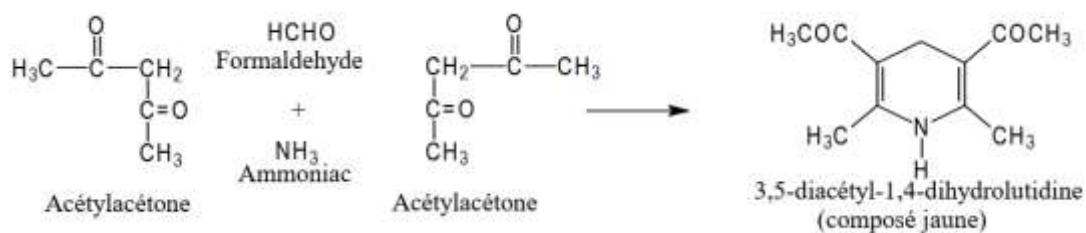
Principe : La minéralisation selon **Kjeldahl** consiste à détruire toute la substance organique azotée contenue dans la denrée alimentaire et sa conversion en azote minérale par l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur de minéralisation selon l'équation :



Mode opératoire : une masse de 0,5 g d'échantillon, 5 ml H₂SO₄ concentrés et une pincée de catalyseur de minéralisation ont été introduits successivement dans un matras de minéralisation et porté à chaud sur une rampe de minéralisation avec un collecteur de fumée jusqu'à obtention d'une solution limpide, soit pendant 6 heures. Après refroidissement, le minéralisât a été récupéré dans une fiole jaugée et son volume complété à 50 ml avec de l'eau distillée.

- **Dosage de l'azote**

Principe : il est basé sur la réaction en milieu aqueux, de l'ammoniac avec l'acétylacétone et le formaldéhyde pour former le 3,5-diacétyl-1,4-dihydrolutidine de couleur jaune qui présente un maximum d'absorption à 412 nm. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration en azote. L'équation de la réaction est la suivante :



Mode opératoire : dans un tube à essai, ont été introduits successivement 0,1 ml de minéralisât, 1,2 ml de solution d'acétate de sodium et 1,6 ml de solution réactive (15 ml de formaldéhyde + 8 ml d'acétylacétone dans 77 ml d'eau distillée). Le mélange a été incubé au bain-Marie (97,5°C) pendant 15 minutes. Une fois refroidi dans un courant d'eau froide, le volume du tube a été complété à 10 ml en ajoutant 7 ml d'eau distillée. L'absorbance a été lue à 412 nm contre un blanc constitué des solutions d'acétate de sodium, solution réactive, et de l'eau distillée. La gamme d'étalonnage de la solution d'azote a été établie à partir d'une solution de sulfate d'ammonium 0,4 g d'azote / ml.

La quantité d'azote a été déterminée à partir de la courbe d'étalonnage du sulfate d'ammonium. L'équation de droite d'étalonnage $y = 8,9472x$ a permis de calculer la quantité d'azote à partir de la formule :

$$X = Y \cdot \frac{Vt \cdot 100}{Vp \cdot m \cdot a}$$

X : Quantité d'azote (μg) ;

Y : Densité optique ;

V_t (ml) : Volume total de minéralisât ;

V_p (ml) : Volume total de minéralisât dosé ;

m (g) : Masse de l'échantillon minéralisé ;

a : Coefficient d'étalonnage (0,006).

II.2.3 Dosage des lipides totaux

Le dosage des lipides a été réalisé par la méthode décrite par **Bourelly, (1982)**

Principe : les lipides contenus dans un échantillon sont extraits par rapport à leur solubilité avec les solvants organiques. L'extraction se fait dans un Soxhlet pendant une durée de 12 h environ. Le solvant utilisé pour l'extraction a été ensuite éliminé par évaporation ou séchage et la teneur en lipides totaux a été calculée à 0% d'humidité par différence de poids du sachet avant et après extraction complète des lipides.

Procédure : des cartouches faites avec du papier cellulose du type Whatman ont été confectionnées puis séchées pendant 10 min dans une étuve à 105°C. Elles ont été ensuite refroidies dans un dessiccateur puis pesé à l'aide d'une balance de précision. Une masse de 2 g (M_0) de l'échantillon a été introduite dans les cartouches préalablement tarées et elles ont été fermées. L'ensemble a été séché complètement à l'étuve pendant au moins 2 h à 105°C, refroidi au dessiccateur et pesé (M_1). Les cartouches ont été introduites dans l'extracteur Soxhlet placé entre le réfrigérant à eau et le ballon contenant des billes de verre et environ 200 ml du solvant d'extraction (hexane). L'ensemble a été placé dans un chauffe-ballon thermostaté et le dispositif a été mis en marche. L'ébullition du solvant va permettre son évaporation du ballon vers l'extracteur et le lavage continu de l'échantillon sera fait. A la fin de l'extraction, après l'arrêt du chauffage et refroidissement du dispositif, les cartouches contenant l'échantillon ont été séchées à l'étuve à 105°C pendant au moins 2 h puis pesées (M_2). La teneur en lipides totaux a été déterminée par la différence de poids de la cartouche avant et après extraction complète des lipides par la formule suivante :

$$\% \text{Lipides} = \frac{M_1 - M_2}{M_0} \times 100$$

M_0 : masse de l'échantillon

M_1 : masse de l'ensemble échantillon +cartouche avant extraction

M_2 : masse de l'ensemble échantillon +cartouche après extraction

II.2.4 Teneur en sucres totaux

La composition en sucres a été déterminée selon la méthode de calcul de différence :

% Glucides = 100 % - (% Humidité + % Protéines + % Matière grasse + % Cendres)

II.2.5 Teneur en fibres brutes

La teneur des fibres brutes dans l'échantillon a été déterminée par la méthode de l'A.O.A.C., 1980

Principe : il consiste à traiter l'échantillon à l'ébullition par l'acide sulfurique ensuite par la soude. Le résidu obtenu est séché puis calciné et pesé.

Mode opératoire : dans un bécher de 250 ml, ont été introduits 0,5 g (M_1) d'échantillon et 25 ml d'acide sulfurique 0,255N. L'ensemble a été porté au bain-marie à 97,5°C pendant 30 min. La suspension a été filtrée, le résidu a été récupéré dans 25 ml de NaOH 0,313N et chauffé à nouveau pendant 30 min. Le mélange obtenu a été filtré. Le résidu obtenu a été lavé trois fois dans 30 ml d'eau distillée puis deux fois dans 20 ml d'acétone et récupéré dans un creuset préalablement taré et séché à l'étuve à 105°C (M_2). Après 8 h le creuset a été placé au dessiccateur pour refroidissement puis le résidu a été pesé afin de calciner dans un four à moufle à 550°C pendant 3 h (M_3). La teneur en fibres a été déterminée à partir de la formule suivante :

$$\% \text{ Fibres brutes} = \frac{M_2 - M_3}{M_1} \times 100$$

M_1 (g) : masse en gramme de la prise d'essais

M_2 (g) : masse en gramme du résidu séché à 105°C

M_3 (g) : masse en gramme des cendres obtenus après incinération

II.2.6 Teneur en cendre

La teneur en cendre a été déterminée par la méthode de (A.O.A.C, 1990)

Principe : il s'agit d'une incinération de l'échantillon de masse connue jusqu'à l'obtention des cendres. La masse de cendre obtenue nous a permis de déterminer leur teneur dans un échantillon.

Mode opératoire : exactement 0,5 g de poudre (M_2) a été introduit dans un creuset en porcelaine, préalablement conditionné au four à cendre à 550°C pendant 2 h et pesé (M_0). L'ensemble a été placé dans un four à 550°C pendant 24 h ; Après on a retiré le creuset contenant les cendres du four à l'aide d'une pince, puis l'ensemble refroidit dans un dessiccateur et la masse du creuset (M_1) et le % de la cendre est déterminé par la formule suivante :

$$\text{Teneur en cendre (\%)} = \frac{M_0 - M_1}{M_2} \times 100$$

M_0 = masse de la prise d'essais + creuset

M_1 = masse de creuset

M_2 = masse de la prise d'essais

II.2.7 Analyse des minéraux

Les minéraux Ca, P, Mg, Fe, et Zn étaient déterminés selon la méthode décrite par **Horwitz, 2000**.

Principe : l'analyse des minéraux dans les échantillons implique la séparation des minéraux de la matrice de l'échantillon par digestion humide de la matière organique. Les éléments minéraux séparés sont dilués dans l'acide et leur teneur est déterminée par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA).

Traitement des échantillons : une masse de 0,5 g de l'échantillon a été introduite dans le matras de digestion de Kjeldhal. On y ajoute 30 ml d'acide nitrique HNO_3 (65%) / d'acide perchlorique HClO_4 (70%) dans un ratio (2 /1). Le matras a été fermé et laissé à la température ambiante pendant 12 h de temps pour une prédigestion de l'échantillon. Le matras est ensuite porté dans le bloc de digestion sous une température d'environ 160°C et maintenu jusqu'à ce que le volume de l'échantillon dans le matras soit réduit de moitié. La température était réglée à 210°C et maintenue jusqu'à l'obtention des fumées blanches de HClO_4 et une présentation incolore de l'extrait. Après le refroidissement nous avons filtré le contenu du matras à l'aide du papier-filtre de Whatman et on a ajouté 15 ml d'eau désionisée dans le filtrat pour le diluer.

II.2.7.1 Analyse du calcium (Ca) et du magnésium(Mg)

Pour la détermination du Ca et du Mg, le filtra obtenu précédemment a été dilué 5 fois dans une solution de chlorure de lanthanum (0,25%). Les échantillons étaient ensuite portés au spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA) et nous avons lu leur densité optique (DO),

contre un blanc contenant de l'eau désionisée. La teneur en Ca et Mg était déterminée par la formule suivante :

$$\text{Ca, Mg (mg/100g)} = \frac{C_0 \times \text{Volume total (ml)} \times \text{facteur de dilution} \times 100}{M \times 1000}$$

C_0 : concentration de l'élément minéral obtenue à partir de la droite d'étalonnage

M : masse molaire de l'élément minéral

1000 : conversion de mL en L

II.2.7.2 Analyse de phosphore (P)

Dans les fioles jaugées de 100 ml contenant 5 ml de solution standard de phosphate (0,2 mg/ml) ou de filtrat obtenu précédemment ou d'eau désionisée (blanc) sont introduits 10 ml HNO_3 (6N), 10 ml de monovanadate d'ammonium (0,25%), puis 10 ml de molybdate d'ammonium (5%). Les solutions obtenues sont homogénéisées et laissées au repos pendant 15 min. Nous avons porté enfin les solutions au spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA). La teneur en phosphore a été déterminée par la relation suivante :

$$\text{P (mg/100g)} = \frac{\text{DO de l'échantillon} \times 1 \times V_0 \times 100}{\text{DO du standards} \times V_P \times \text{masse de l'échantillon}}$$

V_0 : volume total

V_P : volume de l'échantillon dilué

II.2.7.3 Analyse du fer (Fe) et du zinc (Zn)

Pour la détermination de la teneur en fer et zinc le filtrat obtenu précédemment était davantage dilué dans de l'eau distillé et porté au spectrophotomètre d'absorption (SAA) contre un blanc contenant d'eau désionisée. La droite d'étalonnage était réalisée à partir des DO des solutions de ces différents minéraux. La teneur en zinc et fer est calculée par la formule suivante :

$$\text{Fer, zinc (mg/100g)} = \frac{C_0 \times \text{volume total (ml)} \times \text{facteur de dilution} \times 100}{M \times 1000}$$

C_0 : concentration de l'élément minéral obtenue à partir de la droite d'étalonnage

M : masse molaire de l'élément minéral

1000 : conversion de ml en l

II.2.8 Analyse des anti-nutriments

II.2.8.1 Teneurs en tanins

Les tanins totaux ont été évalués par le protocole décrit par **Ndhlala et al., (2007)**

Principe : il repose sur la complexation des tanins par le réactif ferrique en milieux alcoolique acide, donnant une coloration rouge qui absorbe à 550 nm. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration du tanin dans l'échantillon. L'acide gallique est utilisé comme standard.

Préparation des extraits : dans un erlenmeyer de 50 ml ont été introduits 1g d'échantillon et 25 ml de l'éthanol (96%). Après 30 min d'agitation puis filtration, le mélange a été centrifugé à 3000 trs /min pendant 10 min. Le surnageant a été recueilli et utilisé pour le dosage des tanins.

Procédure : 0,5 ml d'extraits a été prélevé dans un tube à essai de 10 ml, on y ajoute 3 ml du réactif buthanol-HCl (95 :5) et 0,2 ml de réactif ferrique. Le mélange a été agité et incubé dans un bain-marie à 100°C pendant 1 h. L'absorbance a été lue contre un blanc réalisé faisant un mélange similaire sans incubation. La formule suivante développée par **Porter et al., (1986)** donne la teneur en tanins, exprimés en mg équivalent acide gallique/100g de matière sèche.

$$\% \text{ Tanins} = \frac{\text{DO} \times 78,26 \times \text{facteur de dillution}}{\text{Masse echantillon sec}} \times 100$$

II.2.8.2 Teneurs en phytates

La méthode de **Olayeye et al., 2013** a été utilisée pour le dosage des phytates.

Principe : il se repose sur la propriété des phytates à former des complexes stables et instables avec des ions ferriques en solution à pH acide où la source de phosphore est l'acide phytique.

Préparation des extraits ; 2 g d'échantillon en poudre ont été introduits dans un bécher, on y ajoute 100 ml de HCl (2%). L'ensemble a été agité par un agitateur magnétique et laisser reposer pendant 2 h, ensuite le mélange obtenu est filtré.

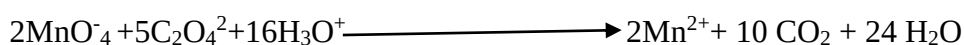
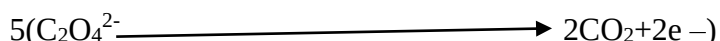
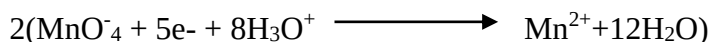
Procédure : 25 ml de l'extrait a été prélevé et introduit dans une fiole de 250 ml, on y ajoute 5 ml de solution de thiocyanate d'ammonium (0,3%) comme indicateur coloré et 53 ml d'eau distillée pour obtenir l'acidité désirée. La solution obtenue a été titrée par une solution étalon de chlorure de fer III jusqu'à l'obtention d'une couleur jaune brunâtre persistant pendant 5 min. La teneur en phytate a été calculée par la formule suivante :

$$\% \text{Phytates} = \text{valeur du titre} \times 0,00195 \times 1,19 \times 100$$

II.2.8.3 Détermination des oxalates

La teneur en oxalate a été déterminée par la méthode modifiée par **Aina et al., 2012**

Principe : en présence de l'acide sulfurique et à chaud, l'acide oxalique est oxydé par le permanganate de potassium. L'oxydation de l'acide oxalique est marquée par le virage du milieu au rose marquant la fin de la réaction.



Procédure : 1g d'échantillon a été introduit dans un erlenmeyer, on y ajoute 75 ml d'acide sulfurique (3N) et le mélange a été agité à l'aide d'un agitateur magnétique pendant 1 h. Ensuite la solution a été filtrée. 25 ml du filtrat a été prélevé et chauffé dans un bain-Marie à 80-90°C pendant 1 h. Ensuite l'échantillon chaud a été titré en continu avec une solution de 0,05M permanganate de potassium jusqu'à l'obtention de la couleur rose pale. La teneur en oxalates a été calculée par la formule suivante :

$$\% \text{Oxalates} = \frac{\text{volume de KMnO}_4 \text{ versé} \times 2,2}{\text{Masse échantillon}} \times 100$$

II.2.8.4 Détermination de la teneur en saponines

La détermination de la teneur en saponines a été réalisée par la méthode **d'Obadoni et al., 2001**

Procédure : une masse de 5 g d'échantillon a été filtré. Ensuite le résidu obtenu a été extrait à nouveau avec 200 ml de solution d'éthanol aqueuse 20%. Les filtrats ont été combinés et introduits dans le bain-Marie à 90°C jusqu'à réduction du volume à 40 ml. Le concentré du filtrat a été transféré dans une ampoule à décanter et 20 ml d'éther de diéthyle ont été ajoutés. L'ensemble du mélange a été vigoureusement agité. L'éther a formé une couche supérieure qui a été retirée et la partie aqueuse en dessous a été pesée et introduite dans un erlenmeyer puis 50 ml d'éthanol à 20% ont été ajoutés. Le mélange a été agité à l'aide d'un agitateur magnétique pendant 30 min puis chauffé dans un bain-Marie à 55°C pendant 4 h et introduit dans un bécher. Le contenu du bécher a été ensuite transféré dans une ampoule à décanter et 60 ml de n-butanol ont été ajoutés, puis l'ensemble a été vigoureusement agité. Nous avons procédé ensuite par

une élution de la partie inférieure et la couche supérieure contenant du n-butanol a été retenue. Après, la couche de butanol a été rincée avec 10 ml de NaCl aqueux 5%. La solution restant a été recueillie et chauffée dans un bain-marie jusqu'à l'évaporation puis chauffée à l'étuve jusqu'au poids constant à 40°C. La teneur en saponines a été calculée par la formule suivante :

$$\text{Teneur en saponines} = \frac{\text{Masse du residu}}{\text{Masse de l'échantillon initial}} \times 100$$

II.3 Analyse statistique

Les résultats ont été analysés par le logiciel IBM/SPSS 20.0 pour Windows en utilisant le test *ANOVA* suivi d'un test *post-hoc tukey* pour comparer les moyennes. Ils ont été présentés sous forme de moyenne $\pm$ écart-type avec un seuil de significativité de 5%. Le logiciel Microsoft Office Excel 2016 a été utilisé pour les représentations graphiques.

Chapitre III : Résultats et discussions

L'exploitation de cet ensemble de matériel et méthode cité en amont, nous a permis d'obtenir un certain nombre de résultats qui sont ci-après présentés et discutés simultanément.

III.1. Résultats et discussion du rendement d'extraction

Le rendement d'extraction est le pourcentage d'huile obtenu par rapport au poids des graines utilisées pour l'extraction. Le rendement d'extraction est important, car il permet de mesurer l'efficacité de la méthode d'extraction utilisée et de déterminer la quantité d'huile qui peut être obtenue à partir d'une certaine quantité de graines. Il est également utile pour les producteurs et les transformateurs d'huile pour évaluer la rentabilité de leurs activités et pour ajuster leur processus de production en conséquence (**GAGNON, 2021**).

Le tableau 4 ci-dessous présente le rendement d'extraction d'huile de nos échantillons.

Tableau 4: Rendement d'extraction

Echantillons	CTSF	CTSTo	CTSTT	CTSDé	CTSTr
Rendement(%)	30,58	35,16	34,90	28,43	25,78

***CTSF** : concentré du tourteau de sésame frais ; **CTSTT** : concentré du tourteau de sésame trempé et torréfié ; **CTSDé** : concentré du tourteau de sésame décortiqué ; **CTSTo** : concentré du tourteau de sésame torréfié ; **CTSTr** : concentré du tourteau de sésame trempé*

Les résultats de l'étude montrent clairement que le traitement des graines de sésame avant l'extraction de l'huile a un impact significatif sur les rendements. Le concentré de tourteau de sésame torréfié a donné le meilleur résultat avec un rendement de 35,16 %, suivi du concentré de tourteau de sésame trempé et torréfié avec un rendement de 34,90 %. Ceci pourrait être dû au traitement de torréfaction appliqué. En effet, la torréfaction améliore le rendement d'extraction des huiles. Pendant la torréfaction, la chaleur perturbe fortement les membranes cellulaires, la chaleur sèche améliorerait les coefficients de transfert de masse des graines et facilitait la libération de l'huile grâce à la porosité accrue de la paroi cellulaire (**Yoshida et al., 1995**). Il a déjà été constaté que la torréfaction des graines de sésame dans différentes conditions augmentait les rendements en huile avec l'augmentation de la température et du temps. Ces résultats sont cohérents avec les pratiques courantes dans l'industrie de l'huile de sésame, où les graines sont souvent torréfiées avant l'extraction de l'huile pour améliorer la saveur et la qualité de l'huile (**Lee et al., 2004**). .

D'autre part, les graines trempées ont donné les rendements les plus faibles avec seulement 25,71%. Cela peut être dû à l'absorption d'eau par les graines pendant le trempage,

empêchant la libération d'huile lors du processus d'extraction. Les graines décortiquées ont également donné des rendements relativement faibles avec seulement 28,43%. Cela peut être dû à la perte de matière grasse pendant le processus de décorticage (**GAGNON, 2021**). Nos résultats sont similaires comparativement au rendement obtenu avec extraction mécanique (35 %), par **Claire Clément en 2020**, mais très faibles au rendement obtenu avec extraction par solvant (98 %) par **GAGNON, 2021**.

Dans l'ensemble, les résultats de notre étude montrent que la torréfaction des graines de sésame avant l'extraction de l'huile est le moyen le plus efficace d'augmenter le rendement en huile. Le trempage des graines de sésame peut également augmenter le rendement en huile, mais dans une moindre mesure. Décortiquer les graines de sésame réduira le rendement en huile. En fin, la méthode d'extraction mécanique avec la presse Piteba reste moins efficace pour extraire toute la totalité de l'huile.

III.2 Résultats et discussions des macronutriments

Le tableau 4 montre les teneurs en macronutriments. Elles sont présentées et discutées simultanément.

Tableau 5: Teneurs en macronutriments (g/100gMS) des concentrés de tourteau de sésame obtenus.

Paramètre	CTSF	CTSTT	CTSDé	CTSTo	CTSTr
MS	94,96±0,16 ^b	96,45±0,60 ^a	94,92±3,97 ^b	96,64±1,17 ^a	93,52±3,53 ^c
Lipides	28,82±4,19 ^a	23,72±7,30 ^a	30,80±3,33 ^a	23,37±7,03 ^a	34,26±7,92 ^b
Protéines	36,72±0,47 ^a	27,31±0,76 ^c	26,54±0,26 ^{dc}	25,25±0,01 ^e	33,63±0,07 ^{ab}
Cendres	6,19±0,18 ^a	5,20±0,04 ^a	4,96±0,04 ^a	4,32±0,04 ^a	4,95±0,09 ^a
Glucides	23,23±6,84 ^a	15,22±2,59 ^b	16,76±4,55 ^b	19,09±3,03 ^b	20,14±27,88 ^a
Fibres	17,13±0,04 ^b	19,00±0,08 ^a	18,35±0,07 ^b	20,76±0,04 ^a	16,32±0,27 ^b

NB : les moyennes de la même ligne affectées des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5%.

***CTSF** : concentré du tourteau de sésame frais ; **CTSTT** : concentré du tourteau de sésame trempé et torréfié ; **CTSDé** : concentré du tourteau de sésame décortiqué ; **CTSTo** : concentré du tourteau de sésame torréfié ; **CTSTr** : concentré du tourteau de sésame trempé*

III.2.1 Teneur en eau

La matière sèche (MS) d'un échantillon correspond à sa masse après évaporation complète de l'eau libre. Les résultats obtenus sur les cinq(5) échantillons montrent que la MS a augmenté de manière significative ($P<0,05$) de $93,52\pm 3,53$ dans le concentré du tourteau de sésame trempé (CTSTr) à $96,45\pm 0,60$ dans celui torréfié (CTSTo). Au cours du trempage des graines, une dégradation considérable des constituants, et une synthèse des constituants de la paroi cellulaire, des protéines structurales, des vitamines et des composés secondaires ont lieu (**Kone et al., 2021**). Ainsi, l'augmentation de MS pourrait s'expliquer par une forte activité enzymatique qui va favoriser l'hydrolyse des macromolécules en éléments simples facilement assimilables au cours de ce processus de trempage (**Tian, et al., 2010**). En plus, la torréfaction a permis d'éliminer la majeure partie d'eau libre contenue dans les graines par évaporation. L'augmentation de la MS entraîne par conséquent une diminution de la teneur en eau des concentrés. En effet, pour les cinq (5) échantillons la teneur en eau varie de $3,36\pm 1,17$ dans le concentré du tourteau de sésame torréfié(CTSTo) à $6,48\pm 3,53$ dans celui trempé(CTSTr). Ces résultats montrent que les concentrés obtenus peuvent connaître une conservation de longue durée. D'autre part, sur le plan microbiologique, ces teneurs faibles en eau limitent le développement des microorganismes, à l'exception des moisissures (**Rizki, et al., 2015**)

III.2.2 Teneur en lipides résiduels

La teneur en lipides résiduels des tourteaux de sésame variait entre 23,37 à 34,28g /100gMS selon les différents traitements. Mais, l'analyse de la variance n'a révélé aucune différence significative ($P>0,05$). La teneur en matière grasse des graines atteint généralement 50-60% (**Aleyminie et al., 2011**, tandis que, une fois soumise à l'extraction de l'huile par pression à froid, la teneur en matière grasse dans les tourteaux est 30% en moyenne. Ce qui signifie que les systèmes sous pression permettent d'augmenter la valeur nutritionnelle des tourteaux obtenus car, ils laissent encore une fraction importante d'huile dans le tourteau. Cependant, la présence des lipides résiduels dans ces tourteaux de sésame est un facteur important à considérer, car elle montre que ces tourteaux de sésame constituent encore un atout énergétique important dans la lutte contre la malnutrition protéino-énergétique. En effet, les lipides sont des macronutriments essentiels à la santé humaine, ils apportent plus d'énergie à l'organisme et ont un rôle constitutionnel et précurseur (**Murray et al., 2013**).

III.2.3 Teneur en protéines

Le tableau 5 présente les teneurs en protéine de nos échantillons. Il en ressort que la teneur en protéines de nos échantillons variait de $25,25 \pm 0,01$ à $36,72 \pm 0,47$ g/100gMS avec une

valeur moyenne de 29,89 g/100gMS. L'analyse de la variance a montré une différence significative au seuil de 5%. Le concentré de tourteau du sésame frais (36,72 g/100gMS) et celui trempé (33,63 g/100gMS) présentaient la teneur en protéines la plus élevée. Le concentré de tourteau de sésame trempée et torréfié, le concentré de tourteau décortiqué et le concentré de tourteau torréfié avaient des teneurs en protéines plus faibles (27,31 g/100gMS, 26,57 g/100gMS et 25,25 g/100gMS, respectivement). Les variations de la teneur en protéines observées dans les différentes étapes de traitement sont le résultat de plusieurs facteurs : tout d'abord, l'augmentation du taux de protéines dans le concentré de tourteau trempé pourrait être liée à l'activation des enzymes métaboliques telles que les protéinases au cours du trempage. Leur action hydrolytique conduit à la libération de certains acides aminés et peptides dont la synthèse ou l'utilisation conduirait à la formation de nouvelles protéines (**Bau *al.*, 1997**) ; La réduction de la teneur en protéines dans le concentré du tourteau de sésame décortiqué, montre que le décortiquage pourrait entraîner une certaine perte de protéines car, ce processus implique l'élimination de l'enveloppe externe de la graine, qui contient une partie des protéines (**Ijarotimi , 2012**) ; enfin la réduction de la teneur en protéine observée dans le concentré du tourteau de sésame torréfié pourrait être dû à la dénaturation de ces protéines ou leur implication dans d'autres réactions biochimiques(réaction de Maillard) lors du processus de torréfaction (**Devi et *al.*, 2015**).

Globalement, les graines de sésame entières contiennent en moyenne 20 g/100gMS de protéines (**Sene *al.*, 2018**), tandis que nos concentrés de tourteaux en contiennent en moyenne 35g/100gMS. Ce qui signifie que, lorsque l'huile est éliminée, la teneur en protéines est concentrée, ce qui entraîne un pourcentage plus élevé de protéines dans les tourteaux. Par ailleurs, les teneurs en protéines dans nos concentrés étaient largement plus meilleures par rapport aux lignes directrices édictées par le **FAO/OMS(1991)** (11-21 g /100g) pour la mise au point des préparations alimentaires complémentaires destinées aux nourrissons du deuxième âge et aux enfants en bas âge donc nous pourrions en faire comme une source importante de protéines qui peut être utilisée pour enrichir d'autres aliments de base et améliorer leur valeur nutritionnelle afin de lutter contre la malnutrition protéique.

III.2.4 Teneurs en cendres totales

Les cendres totales représentent l'ensemble des minéraux contenus dans un échantillon. Dans cette présente étude, la teneur en cendres varie de $4,32 \pm 0,04$ - $6,19 \pm 0,18$ avec une valeur moyenne 5,12. L'analyse de la variance n'a montré aucune différence significative au seuil de significativité de 5%. Des résultats similaires ont été rapportés par **Kone et *al.*, (2021)** dans les

graines de sésame entières germées en Côte d'Ivoire : 4,75 - 5,25 g/100gMS. Toutefois, la fourchette des teneurs en cendres dans nos échantillons est plus large que celle-ci rapporté par **Nzikou et al., (2010)** dans les graines de sésame entières au Congo Brazzaville dont la valeur est de 3,2 g/100gMS. La présence des cendres dans les différents échantillons analysés indique que nos échantillons seraient d'importantes sources de minéraux.

III.2.5 Teneur en fibres

Dans cette présente étude les teneurs en fibres varient de $16,32 \pm 0,27$ dans le concentré de tourteau trempé à $20,76 \pm 0,04$ dans le concentré de tourteau torréfié. L'analyse de variance a révélé une différence significative au seuil de 5%. On notait une augmentation de teneur en fibres dans les concentrés du tourteau de sésame torréfiés. En effet la cuisson provoque en général une augmentation de la teneur en fibres mais celle-ci est plus ou moins selon la matière première impliquée. Le traitement par la chaleur peut augmenter la proportion des fibres totales en favorisant la formation d'amidon résistant et les produits de réaction de Maillard (**Bonnand-Ducasse et al., 2010**). En dégradant essentiellement les pectines, la cuisson provoque des solubilisations partielles. Ces composés solubilisés pourront augmenter la fraction des fibres solubles ou ne plus être comptabilisés si leur taille est très réduite (**Sila et al., 2005**).

Les fibres alimentaires résistent à la digestion et à l'absorption. Les prébiotiques sont des fibres alimentaires fermentescibles (qui peuvent fermenter) qui sont bénéfiques pour la santé grâce à leurs effets sur la composition et l'activité du microbiome. La consommation de fibres alimentaires confère toute une série de bienfaits physiologiques. Les enfants encouragés à manger des aliments riches en fibres apprennent à adopter un régime à forte teneur en nutriments. L'introduction de sources variées de fibres alimentaires chez les jeunes enfants contribue à cristalliser leurs futurs choix alimentaires et à diversifier leur microbiote intestinal. Une faible consommation de fibres est reliée à une plus forte prévalence de constipation et d'obésité (**Boctor, 2020**).

III.2.6 Sucres totaux

La teneur en sucres totaux de nos différents échantillons varie de $16,76 \pm 2,59$ dans le concentré de tourteau de sésame trempé et torréfié à $23,23 \pm 6,84$ dans le concentré de tourteau de sésame frais avec une moyenne de 18,88. L'analyse de variance a révélé une différence significative au seuil de 5%. On notait une réduction des sucres totaux dans le concentré de tourteau de sésame torréfié et dans le concentré de tourteau de sésame décortiqué. Ceci pourrait être le résultat de deux facteurs : la torréfaction à des hautes températures peut entraîner la décomposition d'une partie des sucres totaux surtout les sucres réducteurs présents dans le

concentré de tourteau lors de la réaction de Maillard ; Et le décorticage qui pourrait éliminer une partie de ces sucres contenus dans les enveloppes externes des graines (**Shakerardekani et al., 2012**). La présence des sucres totaux relativement élevés dans ces concentrés, pourrait être considéré comme un avantage important dans le traitement et la prévention de la malnutrition protéique. En effet les glucides fournissent de l'énergie et épargnent les protéines (lors que le corps n'a pas suffisamment de glucides, il décompose les protéines pour produire de l'énergie. cela peut entraîner une fonte musculaire et d'autres complications. Manger des glucides aide à éviter que cela se produise) (**Shilpa et Franck, 2023**).

III.3 Résultats et discussions des minéraux

Le tableau 6 présente des teneurs en minéraux. Elles sont présentées et discutées simultanément.

Tableau 6 : teneur en pourcentage pondéral (mg/100 g) de matière sèche des graines en éléments minéraux (Mg, P, Ca ; Fer et Zn) des différents concentrés

Paramètre	Phosphore	Zinc	Fer	Calcium	Magnésium
CTSF	20,47±0,74 ^d	0,71±0,00 ^c	6,42±0,60 ^c	15,75±0,00 ^c	48,05±0,07 ^d
CTSTT	43,58±0,74 ^c	0,89±0,00 ^c	8,99±0,60 ^b	32,59±26,99 ^c	13,45±0,07 ^e
CTSDé	176,66±0,76 ^a	2,40±1,56 ^b	4,90±0,02 ^c	2037,50±3,53 ^a	105,99±0,83 ^c
CTSTo	90,47±1,02 ^b	3,73±0,28 ^a	14,70±0,16 ^a	645,07±0,55 ^b	340,33±0,66 ^a
CTSTr	87,49±0,50 ^b	4,39±0,36 ^a	4,95±0,23 ^c	467,42±6,66 ^c	288,26±0,05 ^b

NB : les moyennes de la même colonne affectées des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5%

CTSF : concentré du tourteau de sésame frais ; **CTSTT** : concentré du tourteau de sésame trempé et torréfié ; **CTSDé** : concentré du tourteau de sésame décortiqué ; **CTSTo** : concentré du tourteau de sésame torréfiées ; **CTSTr** : concentré du tourteau de sésame trempé

Le tableau 6 ci-dessus présente les teneurs en matière sèche des graines en éléments minéraux (Mg, P, Ca; Fer et Zn) des différents concentrés du tourteau de sésames étudiés. Il ressort de ce dernier que les concentrés de tourteau de sésame étudiés contiennent une quantité importante de minéraux. La concentration moyenne en mg/100 g de matière sèche du calcium (639,66) est plus élevée, suivie de celle du magnésium (159,21), du phosphore (87,73), du fer (7,99) et en fin du zinc (2,42). La composition minérale (Ca, P, Mg, Fer, Zn) des différents

concentrés a montré des variations significatives. Parmi les macro-minéraux analysés, le calcium était prédominant suivi du magnésium et ensuite vient le phosphore. Cet ordre de prédominance des teneurs corrobore les études de **Deosthale, (1981)**, **Elleuch et al., (2007)** et **Sene et al., (2018)** sur les graines de sésame entières. Par contre, pour les deux microéléments minéraux analysés, le fer a donné la valeur moyenne la plus élevée (7,99 mg/100 g) suivi du zinc avec (2,42 mg/100 g). Les teneurs en fer et en zinc, obtenues dans cette étude sont en accord avec les travaux rapportés par **Deme et al., (2017)**. Des teneurs similaires ont été aussi rapportées par **Sene et al., (2018)** sur une variété de sésame très prisée au Sénégal avec même tendance de variation des teneurs, faisant du calcium l'élément minéral majoritaire, suivi du magnésium et du phosphore. De tous les concentrés étudiés, CTSTo a la plus forte teneur en calcium ($645,07 \pm 0,55$) et la plus faible ($15,75 \pm 0,00$) était trouvée sur le CTSF. Les teneurs en calcium de cette étude sont inférieures à celles rapportées par **Sher et al., (2010)** et par **Zebib et al., (2015)** qui ont trouvé, respectivement 1450 mg/100 g et 1172,08 mg/100 g dans certaines variétés de sésames indiens et dans des cultivars éthiopiens. Une moyenne plus faible en calcium (228,3 mg/ 100 g) a été rapportée chez certains cultivars libanais par **Pellet & Shadarevian, (1970)** cités par **Alyemeni et al., (2011)**. De même, **Nzikou et al., (2010)** ont obtenu la moyenne de calcium (415,38 mg/100 g) inférieure à la nôtre.

Les teneurs en phosphore varient entre 20,47 et 176,66 mg/100 g dans les concentrés de tourteaux étudiés. Cette fourchette de teneurs en phosphore est en-deçà des résultats de **Deosthale (1981)** sur certains cultivars indiens qui ont donné de teneurs plus élevées (872 mg/100 g). Comparées aux résultats de teneurs (540 à 640 mg/100 g) d'**Alyemeni et al., (2011)** sur des cultivars saoudiens, nos concentrés affichent une meilleure composition en phosphore mais confirment les teneurs trouvées par **Nzikou et al., (2010)** (177,25 mg/100 g).

Nous avons noté que les valeurs obtenues pour le magnésium (48,05 à 340,33 mg/100 g) sont plus élevées que celles rapportées par **Alyemeni et al. (2011)** sur des variétés saoudiennes et indiennes et plus faibles que celles (579,53 mg/100 g) de **Nzikou et al., (2010)** ; cette variabilité de teneur de ces macroéléments pourrait être attribuée à des combinaisons de facteurs environnementaux et génétiques ainsi qu'aux méthodes utilisées pour l'analyse.

Le choix de ces paramètres est justifié par leur abondance et/ou leur rôle biologique essentiel dans le corps. Au total, les éléments minéraux représentent environ 4% du poids corporel et interviennent dans une large gamme de fonctions : minéralisation, contrôle de l'équilibre en eau, systèmes enzymatiques et hormonaux, systèmes musculaire, nerveux et immunitaire (**Anses, 2017**). Cependant, pris individuellement, les minéraux choisis pour cette

étude interviennent, chacun pour un bon fonctionnement de notre corps: le calcium intervient dans l'édification et le renouvellement du squelette et des dents. Il participe également à la contraction musculaire et cardiaque, à la coagulation sanguine, aux échanges cellulaires, à la perméabilité membranaire, à la libération d'hormones et à la transmission de l'influx nerveux. Le calcium est nécessaire à la synthèse des protéines. Il agit comme un cofacteur pour certaines enzymes qui catalysent les réactions de synthèse des protéines. Par exemple, il est nécessaire à l'activité de l'enzyme RNA polymérase, qui est responsable de la transcription de l'ADN en ARN messenger, l'étape initiale de la synthèse des protéines. Enfin, le calcium joue un rôle dans la dégradation des protéines. Il active certaines enzymes, appelées protéases (protéinase K), qui dégradent les protéines en acides aminés. Cela est particulièrement important dans la digestion des protéines dans l'estomac (Alan et al., 2012). Le magnésium est un minéral essentiel pour l'activité enzymatique, comme le calcium et le chlorure. Il joue également un rôle dans la régulation du métabolisme glucidique et lipidique des tissus musculaires, cardiaques et nerveux et de l'équilibre acido-basique du corps. Le phosphore est nécessaire pour la croissance osseuse, la fonction rénale. Le phosphore est nécessaire pour la croissance osseuse et participe au bon fonctionnement de la fonction rénale de l'organisme. Il joue également un rôle dans le maintien de l'équilibre acidobasique du corps et participe à la plupart des réactions biochimiques de l'organisme, notamment sous forme d'adénosine triphosphate (ATP), la principale forme de stockage et de transport d'énergie dans la cellule. Quant au fer et au zinc, ils interviennent respectivement dans la fabrication et le fonctionnement de l'hémoglobine; une protéine des globules rouges qui véhicule l'oxygène depuis les poumons jusqu'aux cellules et dans la protection contre les radicaux libres et celles qui sont impliquées dans la synthèse protéique; d'où le rôle importance du zinc dans les phénomènes de renouvellement des cellules, de cicatrisation et d'immunité (Alan et al., 2012).

III.4 Résultats et discussions des anti-nutriments

Le tableau 6 présente des teneurs en anti-nutriments. Elles sont présentées et discutées simultanément.

Tableau 7:Teneurs en anti-nutriments (mg/100gMS des concentrés de tourteau de sésame

Paramètre	CTSF	CSTT	CTSDé	CTSTo	CTSTr
Phytates	0,12±0,01 ^a	0,09±0,00 ^b	0,08±0,01 ^b	0,11±1,17 ^b	0,10±0,01 ^b
Oxalates	1,04±0,12 ^a	0,48±0,01 ^b	0,49±0,01 ^b	0,70±0,00 ^b	0,64±0,01 ^b

Tanins	1,36±0,22 ^a	0,59±0,19 ^b	0,34±0,08 ^b	0,34±0,06 ^b	0,33±0,03 ^b
Saponines	1,10±0,00 ^a	0,50±0,06 ^b	0,084±0,03 ^c	0,58±0,18 ^b	0,33±0,06 ^b

NB : les moyennes de la même ligne affectées des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5%

CTSF : concentré du tourteau de sésame frais ; **CTSTT** : concentré du tourteau de sésame trempé et torréfié ; **CTSDé** : concentré du tourteau de sésame décortiqué ; **CTSTo** : concentré du tourteau de sésame torréfiées ; **CTSTr** : concentré du tourteau de sésame trempé

Malgré le fait que nos tourteaux de sésame soient riches en macronutriments surtout les protéines, en micronutriments, il contient également des anti-nutriments qui pourraient interférer avec l'utilisation de certains nutriments (**Hassan et al., 2011**). Ils contiennent entre autres les phytates, les oxalates, les tanins et les saponines. En outre les effets semblent être associés à leurs concentrations dans les aliments qui en revanche pourraient être réduites grâce à diverses méthodes de traitement (**Muhammad et al., 2007**). Les différences observées dans les valeurs déterminées dans cette étude pourraient être attribuées à la méthode d'analyse et des traitements appliqués.

III.4.1 Phytates

Les phytates sont des anti-nutriments présents dans de nombreux aliments d'origine végétale, y compris les graines de sésame. Le phytate peut se lier à des minéraux tels que le fer, le zinc et le calcium, ce qui rend ces minéraux moins biodisponibles pour l'organisme.

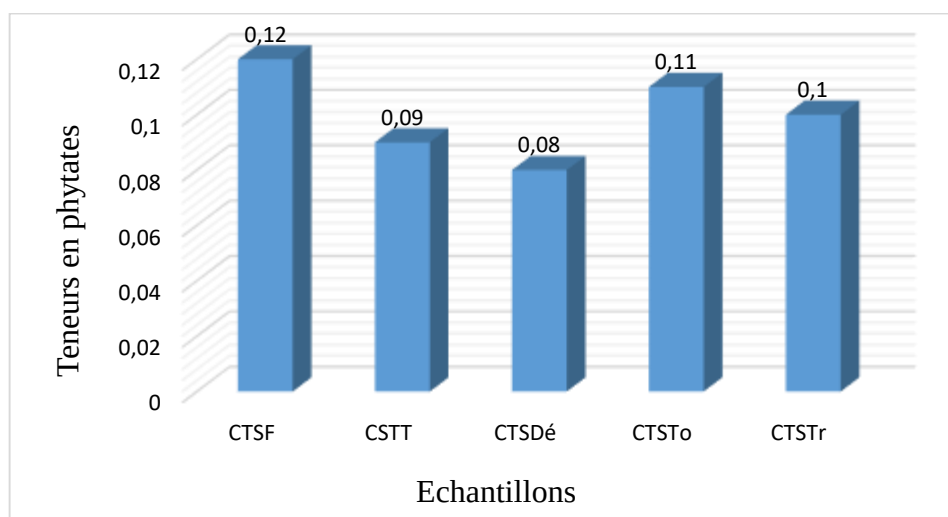


Figure 10: Teneur en phytates des concentrés du tourteau de sésame.

La figure 9 présente les teneurs en phytates. Il en ressort des analyses que les teneurs en phytates étaient respectivement 0,12 ; 0,09 ; 0,08 ; 0,11 et 0,10 dans nos échantillons de

concentré de tourteau sésame frais (CTSF), trempé et torréfiées (CTSTT), décortiqué (CTSDé), torréfié (CTSTo) et trempé (CTSTr) avec une moyenne de 0,10. La réduction des phytates dans les échantillons trempés et décortiqués peut s'expliquer d'une part par leur élimination lors du trempage par hydrosolubilité (**Mamiro et al., 2017**), par l'activation de la phytase endogène naturelle dans les oléagineuses et légumineuses qui a dégradé les phytates et facilité ainsi leur diffusion dans l'eau de trempage (**Afify et al., 2011**), et d'autre part cette réduction dans le concentré de tourteau décortiqué peut être due à la décortication. En effet le phytate se trouve principalement dans la couche externe des graines qui est éliminée lors de la décortication. Nos résultats étaient inférieures à ceux rapportées par **Okudu et al., (2016)** sur les graines de sésame blanches décortiquées au Nigeria (0,83-0,85 g/100gMS) et de **Mahgoub et al., (2014)** qui ont étudié la teneur en phytate de différentes graines de sésame et ont constaté que la teneur moyenne variait de 1,4g à 1,8g/100g de graines. Ils ont également observé que la décortication des graines de sésame réduisait la teneur en phytate d'environ 40%. Nos résultats étaient très inférieurs à la limite de toxicité qui est de 2000-2600 mg/jour pour un régime végétarien et de 150-1400 mg/jour pour un régime mixte (**Grases et al., 1999**). D'après la figure 9 de cette étude, il en ressort que le concentré de tourteau de sésame décortiqué qui présentait la teneur en phytate la plus faible.

III.4.2 Oxalates

Les oxalates sont des anti-nutriments qui peuvent se lier au calcium et aux protéines et causer des problèmes d'absorption de ces composés (**Sefa et al., 2004**).

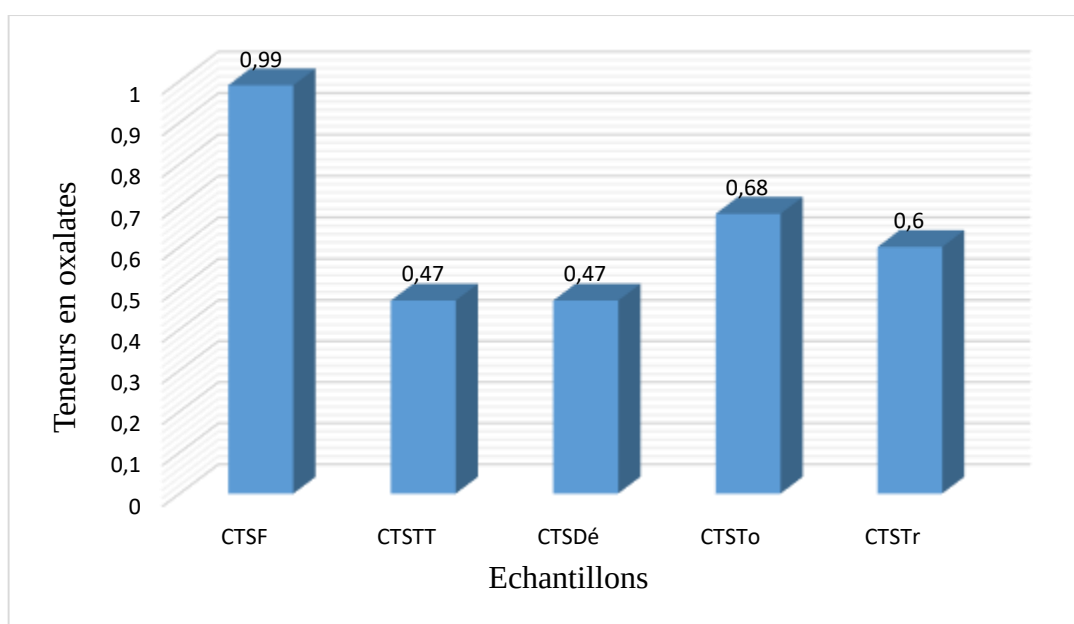


Figure 10: Teneur en oxalates des concentrés du tourteau de sésame.

La figure 10 présente les teneurs en oxalate. Il en ressort des analyses que les teneurs en oxalates étaient respectivement 1,04 ; 0,48 ; 0,49 ; 0,70 et 0,64 dans nos échantillons de concentré de tourteau de sésame frais (CTSF), trempé et torréfiées (CTSTT), décortiqué (CTSDé), torréfié (CTSTo) et trempé (CTSTr) avec une moyenne de 0,67. La teneur en oxalates est relativement élevée dans le concentré du tourteau de sésame frais. Le trempage et le décorticage ont réduit de manière significative ($P < 0,05$) les teneurs en oxalates. Ceci concorde avec les études de **Kaur et al., (2017)** dont leurs résultats ont montré que le décorticage et le trempage des graines de sésame ont réduit la teneur en oxalates de 47,5% passant de 13,75 mg/100g dans les graines entières à 7,22 mg/100g dans les graines trempées et décortiquées. Il est important de noter que ces résultats peuvent varier en fonction de nombreux facteurs tels que la variété de graines de sésame et les méthodes utilisées. Toutefois les teneurs en oxalates totaux dans les échantillons étaient très petites ($< 1\%$) et très inférieures à la limite de toxicité qui est de 2-5g/jour (**Hassan & Umar, 2004**) .

III.4.3 Tanins

La figure 11 présente les teneurs en tanins.

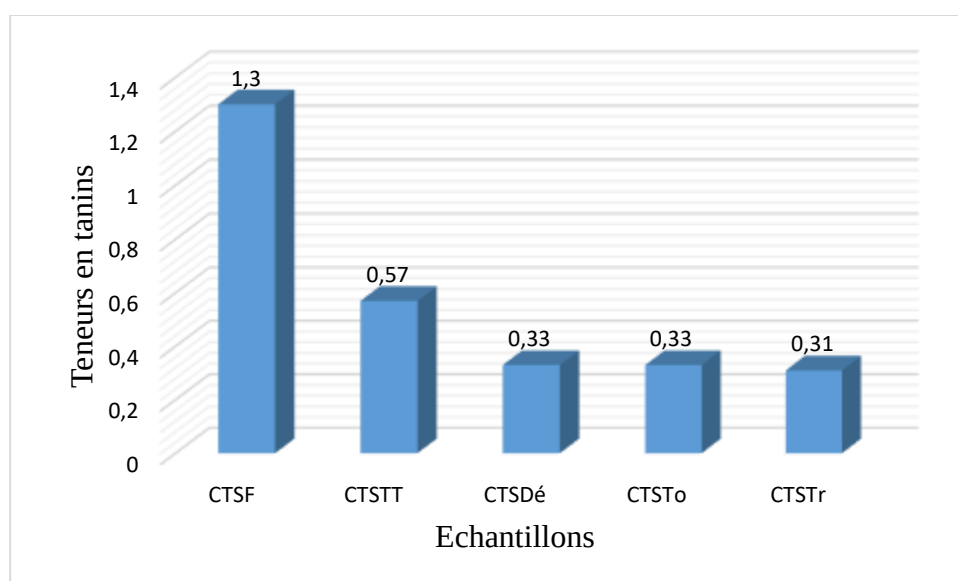


Figure 11: Teneur en tanins des concentrés du tourteau de sésame

Il en ressort des analyses que les concentrations de tanins étaient respectivement 1,36 ; 0,59 ; 0,34 ; 0,34 et 0,33 dans les concentré de tourteau de sésame frais (CTSF), trempé et torréfiée (CTSTT), décortiqué (CTSDé), torréfié (CTSTo) et trempé (CTSTr) avec une moyenne de 0,59. Cette diminution de la concentration des tanins observée dans le concentré du tourteau de trempé, décortiqué et torréfié peut s'expliquer par le fait que la décortication et

le trempage ont permis d'éliminer une partie des composants phénoliques des graines de sésame, y compris les tanins, qui sont solubles dans l'eau et peuvent être extraits pendant le trempage (**Mamiro et al., 2017**). De plus, la torréfaction peut également contribuer à la réduction des tanins en raison de la dégradation thermique de ces composés. En général, les tanins sont des composés antinutritionnels qui peuvent se lier aux protéines et aux nutriments, réduisant ainsi leur biodisponibilité et leur digestibilité. Le traitement des graines de sésame peut donc améliorer leur profil nutritionnel et la qualité des aliments produits à partir de ces graines (**Shahidi & Ho, 2005**). Nos étaient semblables comparés aux teneurs de 0,90 g/100g dans les graines trempées et 0,19 g/100g dans les graines décortiquées de **Adhikari et al., (2019)**. Les teneurs en tanins de nos échantillons étaient très inférieures à la limite de toxicité qui est de 560mg/jour (**Ikpeme et al., 2007**). Par conséquent, le trempage combiné à la torréfaction et le décortiquage pourraient être recommandés pour la réduction de la teneur en tanin dans le concentré du tourteau

III.4.4 Saponines

La figure 12 présente les teneurs en saponines.

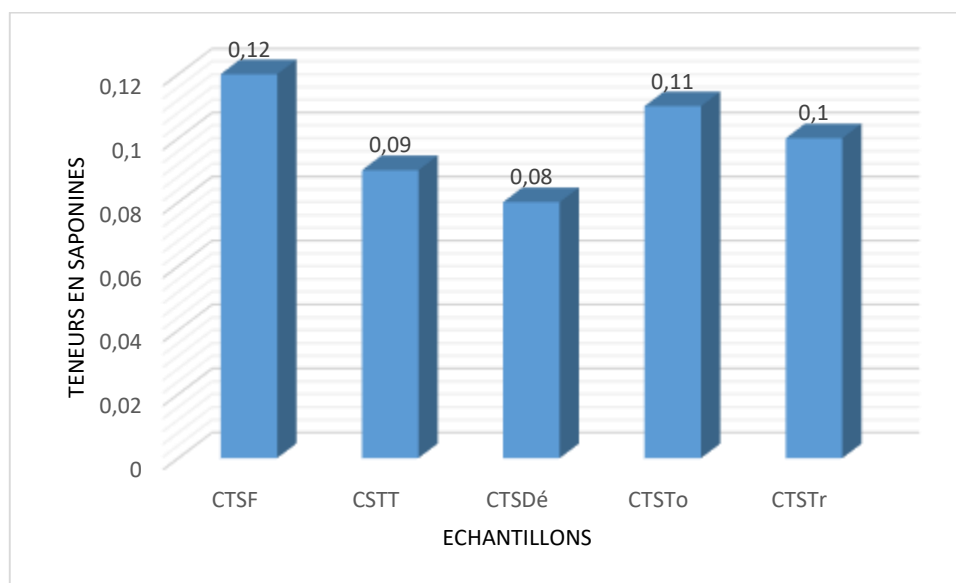


Figure 12: Teneur en saponines des concentrés du tourteau de sésame

Il en ressort des analyses que les teneurs en saponines variaient de $0,084 \pm 0,03$ dans le concentré du tourteau de sésame décortiqué (CTSDé) à $1,10 \pm 0,00$ dans le concentré du tourteau de sésame frais (CTSF). L'analyse statistique des données révèle une réduction significative ($P < 0,05$) des teneurs en saponines dans les concentrés traités et une différence significative entre les différents traitements ($P < 0,05$). Nos résultats étaient inférieurs aux 2,91 - 2,95 g/100g et 2,45 - 2,49 g/100g, valeurs obtenues par **Omayma et al., (2014)** et **Jimoh et**

al., (2011) sur les graines de sésames entières trempées et décortiquées mais corroborent par ceux de **Kone et al.**, (2021) qui ont observé une réduction significative dans les gaines de sésame après trempages et germination (1,17% dans les graines crues). Cette réduction de la concentration en saponines serait due à leur hydrolyse dans le milieu de trempages. De même le processus de décortilage peut éliminer une partie de couche externe des graines, qui peuvent contenir des saponines, conduisant à diminution des niveaux des saponines (**Kaur et al.**, 2017). De plus les saponines sont des composés thermolabiles, par conséquent, ils pourraient être détruits par les traitements thermiques (**Serna et al.**, 2013). Les variations des saponines de différents concentrés peuvent être attribuées aux facteurs environnementaux, les variétés de graines de sésame utilisées. Toutefois, les teneurs en tanins de nos échantillons étaient très inférieures aux valeurs sécuritaires qui sont de 60-600mg/Jour (**Shi et al.**, 2004).

CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

Conclusion

La présente étude qui avait pour objectif de faire une caractérisation nutritionnelle et anti- nutritionnelle du concentré de tourteau de sésame, il en ressort que :

Les analyses effectuées sur ces concentrés de tourteau de sésame montrent qu'ils sont une source importante en protéine (36,72 g/100gMS), en calcium (2037,50mg/100gMS, en magnésium (340,33mg/100gMS) en fer (14,70 mg/100gMS), et en zinc (4,39mg/100gMS).

Les différents traitements de trempage, de torréfaction et du décortilage ont réduit significativement les teneurs en anti-nutriments acceptables ($\leq 1\text{mg}/100\text{gMS}$). Le décortilage et le trempage restent les meilleurs traitements pour réduire les teneurs en anti-nutriments dans les graines de sésame.

En raison de leur importante valeur nutritive, ces tourteaux de sésame pourraient constituer de potentielles sources d'éléments nutritifs essentiels. Ils peuvent également servir de complément alimentaire ou d'additif dans la formulation de régimes complémentaires tel que la farine infantile pour les enfants malnutris. Cependant, la digestibilité des protéines, et la biodisponibilité des tels que le fer et le zinc, ainsi que les différents acides aminés de ces concentrés doivent être étudiés pour établir sa pertinence ou non comme complément alimentaire.

Recommandation

Nous suggérons à la population dont l'accès aux sources de protéines de bonnes qualités est difficile pour elle d'utiliser ces concentrés comme complément alimentaire pour améliorer les aliments pauvres en protéines afin d'assurer la couverture des apports nutritionnelles recommandés.

Perspectives

Pour compléter ce travail, il serait nécessaire d'approfondir les travaux sur les points suivant :

Développez des recettes qui incorporent le tourteau de sésame dans des repas et des collations nutritifs.

Déterminer la digestibilité des protéines et la biodisponibilité du Fer du Ca et Zinc.

Identifier les différents acides aminés disponibles.

Références bibliographiques

- A.O.A.C. (1990).** Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist (éd. 16th). Washinton D.C.
- A.O.A.C. (1980).** Official methods analysis of the association of official analytical chemists (éd. 11th). (W. Horwithh, Éd.) Washington D.C.
- Abou-Gharbia, Shehata AAY, & Shahidi F. (2000).** Effect of processing on oxidative stability and lipid classes of sesame oil. *Food Research International*, 33(4), 331–340.
- Adhikari S., Basak S., & Bhattacharyya, D. (2019).** Effect of processing on nutrient, anti-nutrient, and bioactive components of sesame (*Sesamum indicum L.*). Critical Reviews in *Food Science and Nutrition*, 59(13), 2115-2127.
- Ahmad Y. S. (2006).** Effect of dietary sesame oil as antioxidant on brain hippocampus of rat in focal cerebral ischemia. *Life sciences*, 79(20), 1921-19228.
- AinaV. O., Sambo B., Zakari A., Haruna H. M., Umar K. R., Akinboboye & Adama, M. (2012).** Determination of nutritional and anti-nutrient content of Vitis vinifera (Grapes) grown in Bomo (Area C) Zaria Nigeria. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 4(6), 445-448.
- Alan J., Barrett N. D., Rawling J. & Fred W. (2012).** Proteolytic Enzymes. *Life sciences*, 79(20), 1921-19228
- Aleymeni MN., Basahy AY., & Sher H. (2011).** Physico-chemical analysis and mieneral composition of some sesame seed (*Sesamum indicum L.*) grown in the Gizan area of Saudi Arabi. *Journal Med Plants*, 5(2), 270-274.
- Anilakuma K., Pal A., Khanum F., & Bawa A. (2010).** Nutritional, Medicinal and Industrial Uses of Sesame (*Sesamum indicum L.*) Seeds - An Overview. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 75(4), 159-168. doi:<https://hrcak.srce.hr/66001>.

- Anilakumar P. A. (2010).** Nutritional, Medicinal and Industrial Uses of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Seeds-une revue. *Agriculturae Conspectus Scientificus.*, 75(4), 159-168. doi:<https://hrcak.srce.hr/66001>.
- Agence national de sécurité sanitaire de l'alimentation et de l'environnement du travail (Anses). (2017).** <https://www.anses.fr/fr/content/les-min%C3%A9raux>.
- ASGA. (2011).** Sesame Markets [online]. Consulté le Mai 24, 2023, sur <http://www.sesamegrowers.org/usesofsesame.htm>.
- Bau H. M., Villaume J. P., Nicolas & Me-Jean. (1997).** Effect of germination on chemical composition, biochemical factors of soya bean (*Glycine max*) seeds. *Journal Science Food Agriculture*, 5(2), 1-9.
- Ben K. Z. (2017).** Caractérisation nutritive et activité biologique du tourteau de *Sesamum indicum* L. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah Fès. Consulté le janvier 2023
- Birama S., Fallou S., Diégane D., Mamadou S., Djibrine T., Amadou K., & Marène N. (2018, Juin).** Synthèse de connaissance et quelques acquis de recherche sur le sésame (*Sesamun Indicum* L.) au Sénégal. *International Journal Biological et Chemical Sciences*, 12(3), 1469-1483. doi:10.4314/ijbes.v12i3.32
- Boctor D. (2020).** Le rôle des fibres alimentaires et des prébiotiques dans le régime. *Société canadienne de pédiatrie*, 8(3), 100–2305. doi:10.1093/pch/pxaa062
- Bonnand-Ducasse M., Della Vella G., Lefebvre J., & Saulnier L. (2010).** Effect of wheat dietary fibres on bread dough development and rheological properties. *Journal of Cereal Science*, 5(2), 200-206. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.05.006>
- Borchani C., Besbes S., Blecker C., & Attia H. (2010).** Chemical characteristics and oxidative stability of sesame seed, sesame paste and olive oils. *Journal Agriculture Science Techenology* , 12(4), 585–596.
- Bourelly J. (1982).** Observation sur le dosage de l'huile de cotonnier. *Coton et Fibre Fropical*, 27(2), 183-196.
- Bournival J., Francoeur M., Renaud J., & Martinoli M. (2012).** Quercetin and sesamin protect neuronal PC12 cells from high-glucose-induced oxidation, nitrosative stress, and apoptosis. *Rejuvenation Research*, 15(3), 322-333. doi:10.1089/rej.2011.1242.

- Briend A., Maire B., & Desjeux, J. F. (1993).** Malnutrition protéino-énergétique dans les pays en voie de développement. Dans *Traité de nutrition pédiatrique* (pp. 467-512). Paris: Maloine.
- Burden. (2005).** Sesame Profile. Récupéré sur [http://: www.cropprofile.mht/](http://www.cropprofile.mht/) consulté le 15 avril 2022.
- Chatterjee R., Dey T., Ghosh M. & Dhar P. (2015).** Enzymatic modification of sesame seed protein, sourced from waste resource for nutraceutical application. *Food and bioproducts processing*, 94(3), 70-81.
- Chavan U. D., McKenzie D. B. & Shahidi F. (2001).** Protein classification of beach pea (*Lathyrus maritimus L.*). *Food Chemistry*. 75(1), 145–153.
- Claire CLEMENT. (2020).** Sésame : de la graine à l'huile (avec la presse Piteba). Récupéré sur <http://1ruche3pintades.over-blog.com/2020/06/sesame-de-la-graine-al-huile-avec-la-presse-piteba.html>
- Cruz J., Hounhouigan D., Havard M. & Ferré T. (2019).** La transformation des grains (éd. Quæ, Presses agro-nomiques de Gembloux, CTA, Versailles, Gembloux, Wageningen). Collection Agricultures tropicales en Poche. 120-130
- Dang T., Tu G., Tu N. & Le T. (1997).** Use of sesame powder to prepare foods for babies at 12-36 months of age. *Journal Prevention Medicine*. 7(4), 78-80.
- Dar et Arumugam. (2013).** Les lignanes de sésame : les méthodes de purification, les activités biologiques et la biosynthèse-une revue. *Journal Bioorganic chemistry*. 50(6), 1-10.
- Deen L., Funck M., Guevara C., Saloojee H., James Y., Doe Y., Weber W. (2003).** Implementation of WHO guidelines on management of severe malnutrition in hospitals in Africa. *Bulletin of the World Health Organization*, 81(4), 237-243.
- Deme T., Haki G., Retta N., Woldegiorgis A. & Geleta, M. (2017).** Mineral and ant-nutritional contents of Niger Seed (*Guizotia abyssinica L.f.*) Cass, Linseed (*Linum usitatissimum L.*) and Sesame (*Sesamum indicum L.*) Varieties grown in Ethiopia. *Foods*, 6(27), 59-62. doi:10.3390/foods6040027
- Deosthale Y. (1981).** Trace element composition of common oilseeds. *Journal American Chemical Society*, 58(8), 988–990.

- Devani M., Shisho S. & Suhagia B. (1989).** Spectrophotometric method for the micro determination of nitrogen in kjedahl digest. *Journal of the A.O.C.*(72), 953-956.
- Devi C. B., Kushwaha A., & Kumar A. (2015).** Sprouting characteristics and associated changes in nutritional composition of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Journal Food Science Technology*, 52(10), 6821 - 6827.
- Diana M., Manuel A.O., Maria A. N., Anabela S. C., Susana M., Rita C. A., Maria B. O. (2021).** Whole or Defatted Sesame Seeds (*Sesamum indicum L.*) The Effect of Cold Pressing on Oil and Cake Quality. *Foods*. 10(5), 21-27.
- Diouf M. & Diop M. (2002).** Effet de l'interaction génotype x milieu sur la croissance et la productivité du sésame (*Sesamum indicum L.*) au Sénégal. Mémoire d'ingénieur agronome, Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture (ENSA).
- El Mokni R. & El Aouni M.H. (2013).** Le sésame (*Sesamum indicum L.*) une adventice récemment naturalisée en Tunisie. *POIRETIA, la revue naturaliste du Maghreb*. 7(5), 6-14.
- Elleuch M., Besbes S., Roiseux O. & Blecke C. (2007).** Quality characteristic of sesame seeds and by-products. *Food chemistry*, 103, 641–650.
- Ezounou A., Imo C. & Nkaa. (2017).** Protein Levels and Amino Acid composition in Some Leaf Vegetables Sold at Wukari in Taraba State, Nigeria. *Internal journal of Biological Sciences and Applications*, 4(2), 19-24.
- FAO. (2006).** Investir dans l'agriculture pour la sécurité alimentaire. *Journée mondiale de l'alimentation / Téléfood*. Rome.
- FAO. (2020).** Soaring Food Prices: Facts, perspectives, impacts and actions required. Background paper prepared for the Highlevel conference on World Food Security: The Challenges of Climate Change and Bioenergy. Rome.
- FAO & WHO. (2007).** Protein and amino acid requirements in human nutrition. Report of a Joint WHO/ FAO / UNU Expert. Technical Report Series 935. Cholé – Doc N°111.
- Gadade B., Kachare D., Satbhai R. & Naik R. (2017).** Nutritional composition and oil quality parameters of sesame (*Sesamum indicum L.*) genotype. *International Research Journal Multidisciplinary Studies*, 3(7), 2454–8499.

- Gauthaman K., & Mohamed S. (2009).** Nutraceutical value of sesame oil. *Pharmacognosy Reviews*, 3(6), 264. doi:<http://www.phcogrev.com/text.asp?2009/3/6/264/59526>
- GAGNON Yancie. (2021).** Étude de l'extraction des huiles végétales en milieu aqueux assistée par des tensioactifs. Mémoire de thèse de l'Université Alliance Sorbonne
- Gessendorfer B., Koehler P. & Wieser H. (2009).** Preparation and characterization of enzymatically hydrolyzed prolamins from wheat, rye, and barley as references for the immunochemical quantitation of partially hydrolyzed gluten. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 395(6), 1721-1728.
- Graf E., & John W. E. (1986).** Antioxydant functions of phytic acid. *Science Directe*, 8(1), 61-69. doi:[http://doi.org/10.1016/0891-5849\(90\)90146-A](http://doi.org/10.1016/0891-5849(90)90146-A)
- Grases F., March R., Prieto B. & Simonet A. (1999).** Urinary phytate in calcium oxalate stone formers and healthy people dietary effects on phytate excretion. *Scandinavian Journal of Urology and Nephrology*, 34, 162-164.
- Gueguen J. & Azanza J. (1983).** Propriétés biochimiques et physico – chimiques des protéines végétales. Dans *Protéines végétales* (éd. 2ème éd. Technique et documentation –Lavoisier, p. 666). Paris, France.
- Gupta M., Sarkar K., Baral R. & Laskar S. (2010).** Some chemical investigations of Amoorah rohituka seed proteins. *Food Chemistry*, 119(3), 1057–1062.
- Hassan. (2012).** Studies on Egyptian sesame seeds (*Sesamum indicum L.*) and its products 1 – physicochemical analysis and phenolicacids of roasted Egyptian sesame seeds (*Sesamum indicum L.*). *World Journal Dairy Food Science*, 7(2), 195–201.
- Hassan A. & Umar K. (2004).** Antinutritive factor in African locust beans(*Parkia biglobosa*). Proceedings of the 27th International Conferences of the Chemical Society of Nigeria. 322-326.
- Hidvégi M. & Lasztity R. (2002).** Phytic acid content of cereals and legumes and interaction with proteins. *Periodica polytechnica:Chemical Engineering*, 46(1-2), 59–64.
- Honjaya S., Cottel N., Saf S., Just J., Bidat E. & Benoist G. (2021).** Allergie au sésame: revue générale Allergie au sésame. *Science Direct*, 61(6), 415-420. doi:10.16/j.reval.2021.04.004

- Horwitz W. (2000).** Official method of analysis of AOAC (éd. 17th). Maryland, USA: AOAC.
- Hurrell R., Finot P. & Cuq, J. (1982).** Protein-polyphenol reactions: Nutritional and metabolic consequences of the reaction between oxidized caffeic acid and the lysine residues of casein. *British Journal of Nutrition*, 47(2), 191-211.
- Ijarotimi O. S. (2012).** Influence of germination and fermentation on chemical composition, protein quality and physical properties of wheat flour (*Triticum aestivum*). *Journa Cereals Oilseeds*, 3(3), 35-47.
- Ikpeme C., Eneji C., & Igile, G. (2007).** Nutritional and organoleptic properties of wheat (*Triticum aestivum*) and Beniseed (*Sesamum indicum*) composite flour baked foods.
- Iwe Van Z., Ngoddy P. O. & Lammers W. (2001).** Amino acid and protein dispersibility index (PDI) of mixtures of extruded soy and sweet potato flours. *Food Science and Technology*, 34(2), 71-75 . doi: <https://doi.org/10.1006/fstl.2000.0731>
- Jansman A., Verstegren M. W. & Huisman, J. (1993).** Effects of dietary inclusion of hulls of faba beans (*Vicia faba* L.) with a low and high content of condensed tanins on digestion and some physiological parameters in piglets. *Science Dierct*, 44(3), 239-257. doi:10.1016./0377-8401(93)90080-4
- Jean-François C. (1998).** Décorticage du sésame.
- Johannes O., Einar N., Tor A. & Giorgio V. (2003).** Effect on protein digestibility of different processing conditions in the production of fish meal and fish feed. *Journal of the science of food and agriculture*,. *Journal des sciences de l'alimentation et de l'agriculture*, 83(8), 775-782. doi:10.1002/jsfa.1396
- Joshi P. & Varma K. (2016).** Effect of germination and dehulling on the nutritive value of soybean . *Nutrition. Food Science*, 46(4), 595 - 603.
- Junnien I., Liu J. & Tao S. (2003).** Effects of tannic acid on the food intake and protein digestibility of root voles. *Acta Theriologica Sinica*, 23(1), 52–57.
- Kafiriti et Deckers. (2001).** Sésame (*Sesamum indicum* L.): In Raemaekers, Agriculture en Afrique Tropicale. Direction Générale de la Coopération Internationale (DGCI). Bruxelles.

- Kanu. (2011).** Biochemical analysis of black and white sesame seeds from China. *American Journal Biochemistry Molecular Biology*, 1(2), 145–157.
- Kapseu C. & Tchiégang, C. (1995).** Chemical properties of Ricinodendron heudelotii (Bail.) seed of oil. *Journa Food Lipids*, 2(2), 87-98.
- Kaur et Saini. (2000).** Sesamol exhibits antimutagenic activity against oxygen species mediated mutagenicity. *Mutation Research*, 470, 71–76. doi:10.1016 / S1383-5718 (00) 00096-6
- Kaur S., Nanda A., Singh B. & Singh N. (2017).** Effect of dehulling and roasting on oxalate content of sesame seed. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 2(6), 65-68.
- Khantaphant S. & Benjakul S. (2010).** Purification and characterization of trypsin from the pyloric caeca of brownstripe red snapper (*Lutjanus vitta*). *Food Chemistry*. 120 (3), 658-664.
- KONE F., KOUAME I., & FAULET M. (2021).** Qualité nutritionnelle des graines germées de sésame(*Sesamum indicum* L.) cultivées en Cote D'Ivoire. *Agronomie africaine*, 33(2), 203-215
- Lee Y. C., Oh S. W., Chang J. & Kum I. H. (2004).** Chemical composition and oxidative stability of safflower oil prepared from safflower seed roasted with different temperatures. *Food Chemistry*, 84(3), 1–6. doi:10.1016/S0308-8146(03)00158-4
- Maya S. J. (2009).** Protein-calorie malnutrition in developed countries. *New Iraqi Journal of Medecine*, 5 (1), 49–53.
- Mahgoub S., El Amin H., Salih M. & El Owni O. (2014).** Chemical composition, Antinutritional Factors and Functional Properties of Sesam(*Sesamum indicum* L.) Seed Flour. *Journal of Food Science and Technology*, 9(5), 3464-3469.
- Morris. (2002).** Food, industrial, nutraceutical, and pharmaceutical uses of sesame genetic resources. Dans *Trends in New Crops and New Uses*, Alexandria VA (Eds.). ASHS Press (pp. 153-156.).
- Moughan J. P. & Rutherford M. S. (2008).** Available lysine in foods: A brief historical overview. *Journal of AOAC international*, 91(4), 901–906.

- Muller O. & Krawinkel M. (2005).** Malnutrition and health in developing countries. *Canadian medical Association Journal*, 279-286.
- Murray R., Granner D., Mayes P. & Rodwell V. (2013).** *Biochimie de Harper* (éd. 5e). (T. d. Domenjoud, Éd.)
- Nalinanon S., Benjakul S. & Kishimura H. (2010).** Biochemical properties of pepsinogen and pepsin from the stomach of albacore tuna (*Thunnus alalunga*). *Food Chemistry*, 121(1), 49-55.
- Ndhlala A., Kasiyamhuru A., Mupure C., Chitindingu K., Benhura M. & Muchuweti M. (2007).** Phenolic composition of *Flacourtia indica*, *Opuntia megacantha* and *Sclerocarya birrea*. *Food chemistry*, 103(1), 82-87.
- Nzikou .2010).** Characterization of seeds and oil of sesame (*Sesamum indicum L.*) and the kinetics of degradation of the oil during heating. *Research Journal of Applied Sciences Engineering and Technology* 2(3) , 227–232.
- Obadoni B. & Ochuko P. (2001).** Phytochemical studies and comparative efficacy of the crude extracts of some homeostatic plants in Edo and Delta States of Nigeria. *Global Journal of Pure and Applied sciences*, 8(2), 203-208.
- Okudu H., Oguizu A. & Nwaokoro C. (2016).** Nutrients and anti-nutrients contents of white beniseed cultivar (*Sesamum indicum L.*) in Nigeria. *Direct Research Journal of Agriculture and Food Sciences*, 4(10), 290-293.
- Oladejo T., Augusta C. & Adeola Y. (2010).** Proximate and mineral composition of whole and dehulled Nigerian sesame seeds. *Africa Journal Food Science Technology*, 1(3), 71–75.
- Olayeye L., Owolabi F., Adesina A. & Isiaka A. (2013).** Chemical composition of red and white cocoyam (*Colocasia esculenta*) leaves. *International Journal of Science and research*, 11(2), 120-122.
- OMS. (2021).** Conférence Internationale sur la Nutrition : Les grands enjeux des stratégies nutritionnelles.
- Pellet P., & Shadarevian S. (1970).** Food composition, tables for use in composition, *in the Middle East*, 2nd ed. Beirut (éd. 2e). Beirut: American University of Beirut.

- Perez J. M. & Bourdon, D. (1992).** Energy and protein value of peas for pigs: synthesis of french results. *First European conference on grain legumes, Angers*, (pp. 489 – 490). Paris.
- Peter RS. (2007).** Improving the protein content and composition of cereal grain. *Journal of Cereal Science*, 46(3), 239-250.doi: 10.1016/j.jcs.2007.06.006
- Rasolofomanana, V. M. (2016).** Valorisation du sésame (*Sesamum indicum*) de Mandritsara: Etude de sa fraction lipidique pour une utilisation en cosmétique. Dans *Memoire de Master en Sciences Agronomiques et Environnementales à l'université d'Antananarivo* (p. 36). Madagascar.
- Rebbas K., Ghadbane M., Miara M., Hammou M. & Rebbas N. (2020).** Découverte de *Sesamum indicum* L.(Pedaliaceae) dans la région de Selatna (Bordj Bou Arreridj). *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 89, 123-129. doi:10.25518/0037-9565.9707
- Rizki H., Kzaiber F., Nablousi A., & Hanine H. (2015).** Chemical composition and morphological markers of 35 cultivars of sesam(*Sesamum indicum* L.) from differnt areas in Morocco. *IJTEER*, 3(1), 50-55.
- Rizki Nabloussi A., Kzaiber F., Latrache H. & Hanine H. (2017).** Mineral Composition of Some Accessions of Sesame Seeds (*Sesamum Indicum* L.) Collected from Morocco. *International Journal of Engineering Research and AlliedSciences*, 2(8), 2455-9660. doi:10.17957/IJAB/15.0145
- Rongead. (2013).** Réseau Non-Gouvernemental Européen sur l'Agroalimentaire, l'environnement et le Développement): Le sésame au Burkina Faso. Livret 1, Généralité sur les sésame au au Burkina Faso. Oaugadougou.
- Saha R., Dinar A., Nabila K. & Roy P. (2014).** HPLC analysis and cell surface receptor binding activities of the crude aqueous and methanolic extract of *Sesamum indicum*. *Asian Pacific Journal of Tropical. Biomedicine*, 4(1), 516-520.
- Sami A. & Vickie E. B. (2008).** Nutrition clinique et métabolisme. *Science Directe*, 22(4), 168-173. doi:https://doi.org/10.1016/j.nupar.2008.10.003

- Sana N., Badal R., & Huque E. M. (2001).** Biochemical study of some oil seeds (Brassica, Sesame and linseed). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 4(8), 1002-1005.
doi:10.3923/pjbs.2001.1002.1005
- Sefa-Dedeh S., Kofi E. & Agyir-Sackey. (2004).** Chemical composition and the effect of processing on oxalate content of cocoyam *Xanthosoma sagittifolium* and Colocasia. *Science Direct*, 85(4), 479-487. doi:10.16/S0308-8146(02)00244-3
- Sell D. R., Reed W. M., Chrisman C. L., & Rogler J. C. (1985).** Mucin excretion and morphology of the intestinal tract as influenced by sorghum tannins. *Nutrition Report international*, 31(6), 1369-1374.
- Sene B., Sarr F., Diouf D., Kane A. & Traore D. (2018).** Étude de la composition minérale et des teneurs en protéines et en matières grasses de huit variétés de sésame (*Sesamum indicum* L.) introduites au Sénégal pour un criblage variétal. *EDP Sciences*, 25(6), 601.
- Serge W. & Pierre M. (2004).** Aminoacides, peptides et proteines. Dans *Toute la biochimie* (p. 7). Paris, France: Dunod.
- Shahidi F., & Ho C. (2005).** Phytochemicals and Health. CRC Press.
- Shakerardekani A., Karim R. & Ghazali H. (2012).** Effet du trempage et de la torréfaction des graines de sésame sur la qualité du tahini (pâte de sésame) et du halva. *Journal of Food Science and Technology*, 49(4), 490-496.
- Sher H., Al-Yemeni M. & Bahkali A. (2010).** Effect of environmental factors on the yield of selected mushroom species growing in two different agro ecological zones. *Saudia Journal of Biology Sciences*, 17(3), 321–326. doi:10.1016/j.sjbs.2010.06.004
- Shivhare et Satsangee. (2012).** Wonders of Sesame: Nutraceutical Uses and Health Benefits In Chemistry of Phytopotentials: Health, Energy and Environmental Perspectives. *Springer: Berlin Heidelberg*, 63-68.
- Shilpa N. Bhupathiraju; Fanck Hu. (2023).** Carbohydrates, Protein and Fats. *MSD Manual*, 6(2), 16-27.
- Stéphane L. (2008).** Digestion et absorption des nutriments. *Science Directe*, 40(1), 45-50.
doi:https://doi.org/10.1016/S0007-9960(08)70279-7

- Stevens. (2011).** Angiosperm Phylogeny. Récupéré sur <http://www.mobot.org/mobot/research/apweb/> consulté le 14 mars 2022.
- Tian B., Xie B., Shi J., Wu Cai Y., Xu T., Deng Q. (2010).** Physicochemical changes of oat seeds during germination. *Chemistry. Food*, 119(12), 1195-1200.
- Weiss E. (2000).** Sesam. Dans *Oilseed Crops* (éd. 2e, pp. 259-273). United Kingdom: Blackwell Science, Malden.
- Yogranjan Satpute G., Marabi, R., Manish, K., & Mishra, S. (2014).** Global resurgence of sesame (*Sesamum indicum* L.) utilization: a current scenario. *Indo-American Journal of Agriculture. & Veterinary Sciences*, 2(3), 2321-9602.
- Yoshida H., Shigezaki J., Takagi S., & Kajimoto G. (1995).** Variations in the composition of various acyl lipids, tocopherols and lignans in sesame seed oils roasted in a microwave oven. *Journal of Sciences Food and Agriculture*, 68, 407–415.
doi:10.1002/jsfa.2740680403
- Zebib H., Bultosa G., & Abera S. (2015).** Physico-chemical properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties grown in Northern Area, Ethiopia. *Agriculture Sciences*, 6(4), 238–246. doi:10.4236/as.2015.62024

Annexes

Annexe 1: Photographie de quelques appareils du laboratoire et matériels utilisés



Photo du spectrophotomètre d'absorption atomique



Photo du minéralisateur



Photo du concentré du tourteau de sésame

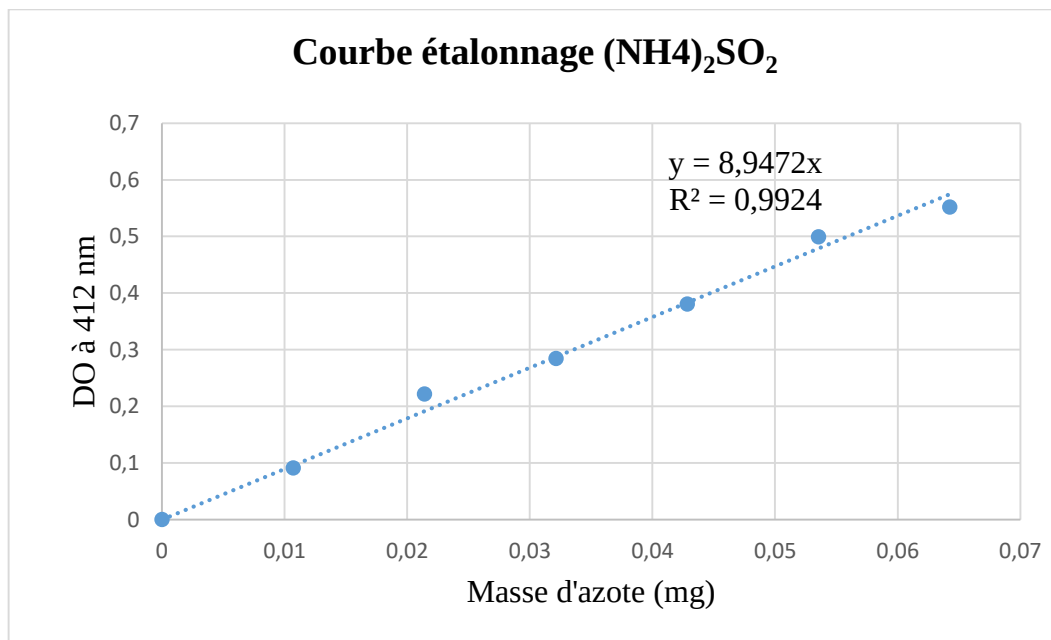


Photo de l'extracteur mécanique



Photo de l'extracteur Soxhlet

Annexe 2: Diagramme d'étalonnage des protéines



Annexe 3: Préparation de dosage des protéines

➤ **Réactifs de dosage des protéines**

- ✚ Solution d'acétate de sodium (4,1 g pour 50 ml d'eau distillée)
- ✚ Solution standard : 0,04 mg d'azote/ml préparée à partir du $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (PM=132,14 g) de concentration 0,188mg/ml
- ✚ Solution réactive (15mL de formaldéhyde 37% + 7,8 ml d'acétylacétone puis compléter le volume à 100ml avec de l'eau distillée)