

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA - Bejaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Alimentaires
Filière : Sciences Alimentaires
Spécialité : Technologie agroalimentaire



Réf :

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Incorporation de sous-produit de la moutarde de Dijon
dans la mayonnaise**

Présenté par :

BENNAI Tarik & KERKAR Arezki

Soutenu le : 02/07/2024

Devant le jury composé de :

M. BOUDRIES Hafid	Président
M ^{me} . BRAHMI Fatiha	Encadreur
M ^{me} . MEKHOUKHE Aida	Examinatrice

Année universitaire : 2023/2024

Remerciements

Avant toute chose, nous exprimons notre gratitude envers Allah pour nous avoir donné l'opportunité d'acquérir des connaissances, ainsi que la force, la guidance et la persévérance nécessaires pour développer nos compétences et nous épanouir intellectuellement au cours de nos études supérieures.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers Mme Brahmi F. Votre engagement, votre expertise et votre dévouement ont été une source d'inspiration constante pour nous. Grâce à votre enseignement et à votre soutien, nous avons pu développer nos compétences et enrichir nos connaissances. Votre passion pour l'éducation et votre patience nous ont permis de surmonter de nombreux défis. Nous vous remercions sincèrement pour tout ce que vous avez fait pour nous et pour tous vos étudiants.

Nous sommes reconnaissants envers l'organisation Cevital ainsi que M. Belaid, M. Aloui Adel, Mme Ouattah Siham, Aïmed et Ferhat pour leur soutien précieux, leur expertise et leur dévouement. Leur accompagnement constant nous a aidés à mener à bien ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui, par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques, ont guidé nos réflexions dans ce travail.

Nous exprimons également notre reconnaissance envers nos proches, nos familles et nos amis pour leur soutien indéfectible, leurs encouragements constants et leur compréhension durant cette période exigeante. Leur présence et leurs encouragements nous ont permis de persévérer et de repousser nos limites.

Enfin, nous tenons à adresser nos remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de notre mémoire. Votre appui moral, vos conseils avisés et votre confiance en notre travail ont été d'une importance capitale.

Nous vous sommes profondément reconnaissants pour votre soutien inestimable tout au long de ce processus académique. Votre contribution a grandement contribué à notre réussite.

Veillez accepter nos plus sincères remerciements.

Cordialement,

Kerkar Arezki, Benai Tarik

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

A mes parents

Je tiens à vous dédier ces quelques mots pour vous rendre hommage et vous remercier pour tout ce que vous avez fait pour moi. Vous êtes les piliers de ma vie, mes modèles et mes guides. Vous m'avez aimée, éduquée et soutenue tout au long de ma vie, avec patience, bienveillance et dévouement. Vous avez été là pour moi dans les moments de bonheur et de tristesse, dans les succès et les échecs. Je suis fière de vous avoir comme parents, et je suis reconnaissante pour tout ce que vous avez fait pour moi.

A mes sœurs et à mon frère

Kahina, Nadine et Massi, Vous êtes des personnes remarquables, intelligentes, courageuses et généreuses. Vous m'inspirez et m'encouragez à être la meilleure version de moi-même. Je suis fière de vous avoir comme membres de ma famille.

A mon très cher cousin

Masta, qui a été à mes côtés dans les hauts et les bas de ce parcours. Ta présence, tes encouragements et ton soutien inconditionnel ont été d'une grande importance pour moi. Cette dédicace t'est adressée avec gratitude et reconnaissance pour notre amitié précieuse

A mes chers ami(e)s

A Dehia, Sarah, Hanine, Imene et Haroun pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

A mes enseignants

Vous m'avez inspiré, motivé et encouragé à aller plus loin, à explorer des domaines qui m'intéressent et à développer mon potentiel. Vous avez été des modèles de dévouement, de passion et de compétence.

A mon binôme et frère de cœur « Tarik » avec qui j'ai partagé mon cursus universitaire, pour son sérieux, sa patience, sa générosité et son humour.

Arezki

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail en signe de respect, remerciement et de gratitude

A mes chères parents, ma mère, qui a contribué à mon succès grâce à son amour, son soutien, tous les sacrifices qu'elle a faits et ses précieux conseils, pour son aide et sa présence dans ma vie tant précieuse.

Mon père qui m'a soutenue tout au long de mes années d'études et qui m'a soutenue dans mes efforts pour progresser dans ma vie. Que ce travail soit fructueux ; je vous remercie pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien constant que vous apportez.

Je tiens à exprimer ma gratitude envers mes frères Nabil et Rafik, qui sont toujours des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

À ma vaste famille : je mentionne notamment mon cher grand-père, mes grands-mères, mes oncles, mes tantes, mes cousins et cousines, pour que ce modeste travail reflète les vœux que vous avez continuellement formulés dans vos prières, et que Dieu vous accorde une bonne santé et une longue vie.

Je souhaite à mes chers amis (es) le succès et le bonheur pour l'amitié qui nous a toujours liés et les moments agréables que nous avons passés ensemble,

A mon binôme et frère de cœur « Arezki » avec qui j'ai partagé mon cursus universitaire, pour son sérieux, sa patience, sa générosité et son humour.

Tarik

Table des matières

Liste des abréviations	I
Liste des figures.....	II
Liste des tableaux	III

Introduction	1
---------------------------	----------

I. Synthèse Bibliographique

Chapitre I : Généralités sur la graine de moutarde	3
1.1. Historique	3
1.2. Origines et description de la graine de moutarde	3
1.2.1. Brassica alba (Sinapis alba).....	3
1.2.2. Brassica juncea	4
1.2.3. Brassica nigra	4
1.3. Composition chimique des moutardes.....	5
1.4. Valeur thérapeutique de la moutarde.....	7
1.5. Utilisation de la moutarde	7
1.6. Les sous-produits de la moutarde	7
1.6.1. Gamme d'utilisation du tourteau de moutarde	8
1.6.2. Composition du tourteau de moutarde	9
Chapitre II : Origine et composition de la mayonnaise	11
2.1. Origine.....	11
2.2. Définition	11
2.3. Composition	12
2.4. Propriétés de l'émulsion.....	13
2.5. Processus industriels de fabrication.....	14

II. Matériel et méthodes

1. Procéder de fabrication de la moutarde	16
1.1. Étape du procéder de fabrication	16
2. Analyses du tourteau de la moutarde	18
2.1. Détermination des propriétés fonctionnelles des poudres	18
2.2. Caractérisations physicochimiques de la poudre.....	19
2.3. Analyses phytochimiques	22
2.4. Évaluation de l'activité antioxydante	23
3. Préparation de la mayonnaise	24
3.1. Ingrédients.....	24
3.2. Préparation de la mayonnaise traditionnelle.....	24
4. Analyses de la mayonnaise	25
4.1. Analyses physicochimiques de la moyonnaise.....	25
4.2. Analyses microbiologiques de la mayonnaise traditionnelle.....	28

4.2.1 Recherche des différentes flores microbiennes	28
5. Analyses sensorielles	30
5.1. Déroulement de l'analyse sensorielle	30
5.2. Analyse statistique	30

III- Résultats et Discussion

1. Analyse du tourteau de moutarde	31
1.1. Détermination des propriétés fonctionnelles de tourteau de la moutarde	31
1.2. Détermination des propriétés physicochimiques et composition approximative de tourteau de la moutarde	33
1.3. Détermination des teneurs en polyphénols totaux, flavonoïdes et flavonols	34
1.4. Détermination de l'activité antioxydante	35
2. Analyse de la mayonnaise	36
2.1. Analyses physicochimiques de la mayonnaise	36
2.2. Résultats des analyses microbiologique	37
3. Analyse sensorielle de la mayonnaise	39
3.1. Caractérisation de produit	39
3.2. Moyennes ajustées par produit	39
3.3. Analyse en composante principale (ACP)	40
3.4. Carte de préférence	41

Conclusion	42
-------------------------	-----------

Références bibliographiques

Annexe

Résumé

Liste des abréviations

AACC : association des agences de conseil et création

AIA : Cendres insolubles dans l'acide

CAE : Capacité d'absorption d'eau

CAH : Capacité d'absorption d'huile

CG : Capacité de gonflement

CM : Capacité moussante.

CP : Protéine brute

DA : Densité apparentée

DOC : Tourteau déshuilé

DM : Matière sèche

EAG : équivalents de l'acide gallique

EE : Extrait à l'éther

EF : Fibres brutes

H/E : Huile dans l'eau

NFE : Extrait sans azote

SE : Substances extractibles

SOT DOC : Tourteau de SOJA déshuilé

TA : Cendres totaux

UFC : Unité formant colonies

Liste des figures

Figure 01 : photographies des graines de la moutarde blanche (A), brune (B), noir (C)	5
Figure 02 : Photographie de différentes gammes de mayonnaise (Cevital)	11
Figure 03 : Étape du procédé de fabrication de la moutarde (Cevital).....	16
Figure 04 : Photographie du tourteau de moutarde (photo original)	18
Figure 05 : Préparation de la mayonnaise traditionnelle	24
Figure 06 : Pouvoir discriminant par descripteur pour les mayonnaises.....	38
Figure 07 : Analyse par l'ACP des mayonnaises	39
Figure 08 : Carte PREFMAP pour les échantillons de tourteau de moutarde	40

Liste des tableaux

Tableau I : principaux composants, acides gras et acides aminés des graines de <i>Sinapis alba</i> et <i>Brassica juncea</i>	6
Tableau II : composition approximative (%) du tourteau de moutarde noire et de la moutarde jaune	9
Tableau III : composition chimique du tourteau de moutarde et des tourteaux déshuilés (% sur la base des aliments).....	10
Tableau IV : propriétés fonctionnelles de la poudre de tourteau des graines de moutarde	30
Tableau V : propriétés physicochimiques et composition approximative de la poudre de tourteau des graines de moutarde.....	32
Tableau VI : teneurs en composés phénoliques de la poudre de tourteau des graines de moutarde	33
Tableau VII : activité antioxydante de la poudre de tourteau des graines de moutarde	34
Tableau VIII : paramètres physicochimiques de la mayonnaise	35
Tableau IX : analyse microbiologique effectuée pour le produit fini.....	37
Tableau X : moyennes ajustées par produit pour les mayonnaises.....	38
Tableau XI : pourcentage de juges satisfaits pour chaque objet.....	39

Introduction

Introduction

Les moutardes sont largement utilisées comme légumes verts, comme culture de salade, comme culture importante de graines oléagineuses, comme engrais vert ou comme fourragère et à des fins oléicoles industrielles (**Peter, 2004**).

Les graines de moutarde possèdent une composition chimique complexe, riche en glucosinolates (5-12% du poids sec), qui se transforment en isothiocyanates et contribuent à leur goût piquant et à leurs propriétés biologiques. Ces graines contiennent principalement des acides gras comme l'acide érucique et l'acide linoléique, ainsi que des protéines (environ 28%). Cette richesse en composés bioactifs et nutritifs en fait un ingrédient précieux pour ses bienfaits potentiels pour la santé (**Zhang et al., 2021**).

Le tourteau de moutarde représente 60% de la graine générée comme sous-produit durant l'extraction de l'huile (**Sehwag et al., 2015**). C'est une source précieuse de nutriments et de composés bioactifs. Il contient typiquement 35-40% de protéines, 12-14% de fibres et 5-7% de matières grasses résiduelles. En outre, il est riche en glucosinolates (jusqu'à 10-12 g/kg), composés soufrés responsables de ses propriétés antimicrobiennes. Une étude récente de **Singh et al. (2023)** a précisé ces valeurs, soulignant aussi la présence significative de minéraux tels que le calcium et le magnésium, essentiels pour l'utilisation en alimentation animale et en fertilisation.

Le développement de nouveaux produits alimentaires semble être un défi de plus en plus important, car il doit répondre à la satisfaction des consommateurs, en particulier pour les aliments diététiques. Dans ce domaine, les aliments fonctionnels qui présentent des avantages pour la santé en plus de leur contenu nutritionnel, et en particulier les aliments à teneur réduite en matières grasses, sont d'une grande importance (**Bigdelian et Razavi, 2014; Miele et al, 2010**).

Bien que le remplacement de la graisse soit la partie cruciale de la production d'une mayonnaise saine, de nos jours, les consommateurs exigent non seulement un aliment sain, mais aussi un produit fonctionnel, un produit qui peut répondre aux besoins médicaux des personnes au-delà de leurs besoins nutritionnels (**Aganovic et al., 2018**).

Plusieurs ingrédients bénéfiques, riches en antioxydants et protéines qui peuvent être des agents conservateurs ou antimicrobiens naturels ont été ajoutés à la mayonnaise. Cependant, est-ce que l'incorporation de tourteau de moutarde dans la composition de la mayonnaise maison peut-il améliorer ses propriétés nutritionnelles, fonctionnelles et sensorielles ?

Dans ce contexte, ce présent travail vise à en premier à valoriser le tourteau des graines de moutarde par son utilisation dans l'enrichissement de la mayonnaise. Au préalable, ce tourteau a été

analysé en déterminant ses propriétés fonctionnelles, physicochimiques, phytochimiques. Ensuite, ce sous-produit a été utilisé dans la production de la mayonnaise dont les caractéristiques physicochimiques, microbiologiques et sensorielles ont été évaluées.

Afin de mener ce travail, la démarche suivie consiste à réaliser :

- ⇒ Une synthèse bibliographique afin de donner des informations sur la moutarde, son sous- produit qui est le tourteau puis la mayonnaise.
- ⇒ Une partie expérimentale qui englobe le matériel utilisé dans la réalisation de ce travail et les résultats obtenus ainsi que leur interprétation.
- ⇒ Enfin, une conclusion qui rassemble les résultats obtenus et des perspectives pour compléter ce travail.

I. Synthèse Bibliographique

Chapitre I : Généralités sur la graine de moutarde

1.1. Histoire

La moutarde est l'une des plus anciennes épices enregistrées, comme le montre les archives sanskrits datant d'environ 3000 ans avant J-C, elle est l'une des premières cultures domestiques. A l'origine, c'était le condiment connu sous le nom de moutarde et le mot était dérivé du latin muséum (**Mehra,1968**).

Le mout, le jus de raisins ou d'autres fruits mélangés à des graines de moutarde moulues pour former du muséum ardents (moût chaud ou brulant) ; était un condiment de spécialité romaine. L'amour des Romains pour la moutarde c'est répandu dans toute l'Europe où elle est devenue populaire pour assaisonner la viande et le poisson. Outre son utilisation comme condiment, sa valeur médicinale a également été reconnue très tôt, car elle a été mentionnée par Pythagore en 530 avant J-C comme remède contre les piqûres de scorpion. Certains disent que la moutarde était utilisée pour aromatiser les aliments afin de masquer le goût des denrées périssables dégradées (**Peter, 2004**).

1.2. Origines et description de la graine de moutarde

Les moutardes font partie de la famille des crucifères, qui appartient au genre Brassica. Ce genre comprend 150 espèces d'herbes annuelles ou bisannuelles, dont plusieurs sont cultivées comme oléagineux, légumes ou fourrage. Trois types de graines sont cultivées dans le monde : *Brassica alba* (moutarde jaune ou blanche), *Brassica juncea* (moutarde brune), et *Brassica nigra* (moutarde noire) (**Rahman al., 2018**).

1.2.1. *Brassica alba* (*Sinapis alba*)

Elle est originaire de la région méditerranéenne et elle se trouve dans le monde entier comme espèce végétale cultivée ainsi que comme mauvaise herbe. C'est une plante hiver-printemps qui peut être cultivée en cycles courts, généralement en rotation avec d'autres cultures céréalières, avec possibilité de cultures de deuxième récolte (**Falasca et Ulberich, 2011**).

En Europe, la moutarde blanche est l'espèce de moutarde la plus utilisée et en Amérique du Nord, c'est la seule espèce en production commerciale pour les industries de transformation des aliments et des condiments (**Katepa-Mupondewa et al., 2005**).

Brassica alba est une plante herbacée annuelle. Ses feuilles sont alternes, longues, ramifiées, irrégulièrement dentées, pétiolées, poilues. Ses fleurs sont petites, jaune à quatre pétales cruciformes avec des étamines tétradynames et un pistil bicarpellé. Son fruit est une silique hérissée ronde, côtelée, ronflée au niveau des graines, et avec un long bec ensiforme. Les graines sont globuleuses et jaunâtres (Figure 1A), elles mesurent environ 1,5-3 mm sont finement piquées. La graine de moutarde jaune n'a aucune odeur lorsqu'elle est broyée dans l'eau (Parry, 1969).

1.2.2. *Brassica juncea*

C'est la moutarde brune, communément appelée moutarde chinoise en raison de son introduction initiale de Chine vers le nord indien, elle est une espèce de plante herbacée bisannuelle, cette espèce est issue de l'hybridation de *Brassica nigra* et *Brassica campestris* (Saucer, 1993).

La moutarde brune comprend deux variétés, à savoir l'orientale qui est principalement utilisée par les chinois, et l'autre variété brune qui est bien connue en Inde depuis des siècles pour ses valeurs nutritives et médicinales, cette graine a également été cultivée pour produire une plus grande variété d'avantages, notamment des compléments alimentaires à base de sélénium, de chrome, de fer et de zinc (Ram Manohar et al., 2009).

C'est une plante herbacée annuelle dressée et très ramifiée et c'est la principale source de piquant parmi les moutardes cultivées. Ses fleurs sont petites et de couleur jaune vif à petites graines (Figure 1B). Aux Etats-Unis, avant les années 1940, *Brassica juncea* était considérée comme inférieure par rapport à *Brassica nigra*. Cependant, avec l'introduction d'une nouvelle variété de graines de *Brassica juncea* en provenant de Chine, elle est devenue populaire (Peter, 2004).

1.2.3 *Brassica nigra*

Les graines de moutarde noire sont appelées vrai moutarde. La moutarde noire est probablement endémique dans la région sud de la méditerranée. *Brassica nigra* est importante non seulement en tant que plante cultivée, mais elle a également contribué à l'évolution de plusieurs espèces du genre *Brassica* (Peter, 2004).

C'est une plante herbacée annuelle qui atteint une hauteur d'environ 1 m. Les feuilles sont pétiolées, alternes et poilues vert foncée. Les feuilles inférieures sont grandes, rugueuses irrégulièrement sinueuses, dentées. Les feuilles supérieures sont lisses et modérément lobées, les feuilles sont petites jaunes vif, cruciforme à quatre pétales. Les graines sont petites de couleur rouge brun à noir et finement dénoyautées (Figure 1C), elles mesurent environ 2 mm ou moins, beaucoup plus piquantes que les blanches (Uhl, 2000)..

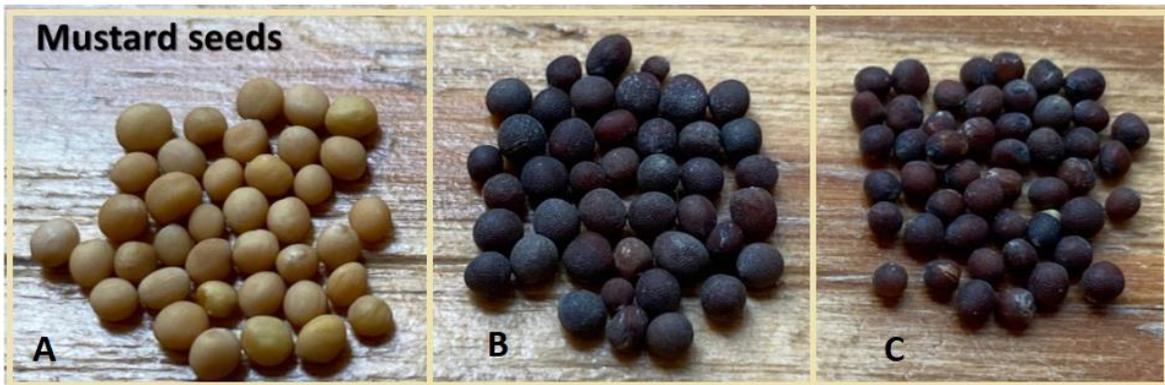


Figure 01 : photographies des graines de la moutarde blanche (A), brune (B), noir (C) (Lietzow, 2021).

1.3. Composition chimique des moutardes

La moutarde contient de nombreux composés phytochimiques tels que des vitamines, des minéraux, des fibres alimentaires, des chlorophylles, des glucosinolates (et leurs produits de dégradation), des polyphénols et des composants volatils (isothiocyanate d'allyle, isothiocyanate de 3-butyle, etc.) (Tian et Deng, 2020).

La moutarde blanche ou jaune (*S. alba*) contient la glucosinolase ou sinalbine qui est hydrolysée par une enzyme (myrosine ou glucosinolases) qui donne le *p*-hydroxybenzyl-isothiocyanate, la *p*-hydroxy-benzylamine connue sous le nom de « principes blancs » et d'autres composées similaires (protéines, huiles fixes, mucilage, etc...) (Peter, 2004).

Le constituant le plus important de la moutarde brune est un glucosinolate, la sinigrine (myronate de potassium) et l'enzyme myrosine (myrosinase), l'acide sinapique et les huiles fixes (25%-37%) (Leung et Foster, 1996).

La sinigrine hydrolysée par la myrosine donne de l'isoyhiocyanate d'allyle, du glucose et du bisulfate de potassium, le rendement d'isothiocyanate d'allyle et de 0,25 à 1,4% (Peter, 2004).

I. Synthèse Bibliographique

La moutarde noire (*Brassica nigra*) contient des constituants similaires ceux de *Brassica juncea*, principalement du glucosinate de 2-propényle (allyle) (sinigrine), qui donne par hydrolyse de l'isoyhiocyanate d'allyle connu familièrement sous le nom de l'huile volatile. La différence entre les types de moutarde réside dans les composants responsables de la réaction et les produits finaux produits (Tainter et Grenis, 2001).

La composition détaillée notamment en acides gras et en acides aminés de la graine de la moutarde est donnée en tableau I.

Tableau I : Principaux composants, acides gras et acides aminés des graines de *Sinapis alba* et *Brassica juncea* (Vose, 1972).

Composants	Pourcentages	
Lipides polaires	6-12	
Protéine	20-30	
Glucides	12-18	
Glycoside	1-3	
Phytines	2-3	
Eau	8-12	
Acides gras (%)	Brassica alba	Brassica juncea
Huile neutre	25-30	35-45
Acide palmitique	2-3	2-4
Oléique	16-18	7-22
Linoléique	7-10	12-24
Linoléique	9-12	10-15
Eicosénoïque	6-11	6-14
Acide érucique	33-51	18-49
Acides aminés (mg/g d'azote)		
Lysine	362	335
Méthionine	97	104
Cystine	124	159
Isoleucine	207	236
Leucine	412	395
Phénylalanine	233	240
Tyrosine	206	167
Thréonine	171	251

1.4. Valeur thérapeutique de la moutarde

La moutarde peut posséder une pléthore d'activités pharmacologiques y compris l'anti-oxydation, l'anti-inflammation et l'activité bactériostatique et antivirale. La moutarde a également été utilisée pour combattre plusieurs maladies telles que le cancer, l'obésité, la dépression, le diabète et la cataracte (**Tian et Deng, 2020**). L'extrait de moutarde possède également des propriétés antidépressives, antimutatives. En outre, il a été démontré que les extraits de moutarde ont inhibé l'enzyme de conversion de l'angiotensine, et ont abaissé le taux de cholestérol plasmatique, et ont augmenté le taux de cholestérol à lipoprotéines de haute densité et ont fourni une protection contre l'ischémie rénale. Enfin, l'extrait de moutarde a été associé à une réduction du risque de cancer dans plusieurs types de cancer, notamment le cancer du côlon et le cancer de la prostate (**Lee et al., 2010**).

1.5. Utilisation de la moutarde

L'utilisation et les applications de la moutarde en tant qu'ingrédient sont basées sur les arômes antioxydants naturels et, surtout, agit comme un agent émulsifiant, aidant à lier les phases huileuses de la recette. C'était peut-être une vertu fondamentale de la moutarde en tant qu'épice, techniquement pour renforcer la saveur ou déguiser le goût des viandes ou des poissons salés mais aussi pour faciliter la digestion par son utilisation avec des viandes grasses ou des poissons gras (**Benjamin, 2003**). La production de condiments nécessite des variétés à forte teneur en certains glucosinolates, dont la sinigrine (**Merah, 2015**).

1.6. Sous-produits de la moutarde

Parmi tourteaux sont des produits qui restent après l'extraction de l'huile des graines oléagineuses. Il existe deux types de tourteaux : les tourteaux comestibles et les tourteaux non comestibles (**Usman et al., 2023**).

De nombreuses explorations scientifiques antérieures ont montré que les tourteaux contiennent des composés tels que des tanins, des flavonoïdes, des saponines, des alcaloïdes, des glycosides cardiaques, des stéroïdes, des anthocyanes et des allantoïnes qui jouent un rôle essentiel dans la prévention et la guérison des maladies (**Usman et al., 2023**).

1.6.1. Utilisation du tourteau de moutarde

- **Alimentation humaine**

Le potentiel antioxydant plus élevé montre que les déchets de moutarde ont un potentiel thérapeutique important en raison de leur riche profil antioxydant et devraient donc être utilisés pour le développement de produits fonctionnels contre les troubles liés au mode de vie (**Usman et al., 2023**).

Les tourteaux de moutarde sont utilisés dans l'alimentation humaine pour diverses raisons. Ils constituent une excellente source de protéines, ce qui en fait un choix intéressant pour les personnes recherchant des alternatives végétales ou ayant des restrictions alimentaires (**Jahan et al., 2013**). De plus, les tourteaux de moutarde peuvent être utilisés comme complément alimentaire pour augmenter l'apport en nutriments essentiels tels que les acides aminés et les fibres alimentaires. Enfin, ils peuvent servir de substitut de matières grasses dans certaines recettes, ce qui permet de réduire la teneur en graisses tout en ajoutant une saveur distincte aux plats (**Hébert, 2020**).

- **Pesticide naturelle**

L'eau des tourteaux de moutarde (solution) est un engrais organique liquide populaire ; il est très utilisé au Bengale occidental et au Bangladesh comme pulvérisation foliaire pour le développement des plantes cultivées (**Hassan, 2017**). Il contient des éléments nutritifs importants, une population microbienne bénéfique, des stimulateurs de croissance et des substances biologiques bénéfiques, des promoteurs de croissance et des agents de biocontrôle (**Chakraborty et al., 2019**).

- **Alimentation de bétail**

Le tourteau de moutarde est utilisé comme aliment pour le bétail, la volaille et les animaux aquatiques ; cependant, les informations sur le pourcentage d'aliment à donner sont rares. Dans le cas des ovins et des caprins, les tourteaux de moutarde n'affectent pas la consommation alimentaire, l'efficacité alimentaire, l'équilibre azoté, l'équilibre minéral et les performances de croissance des agneaux en croissance (**Tripathy et al., 2003**).

Le remplacement partiel de la farine de soja par du tourteau de moutarde à raison de 80 g/kg d'alimentation n'a eu aucun effet néfaste sur la croissance et la santé des lapins en croissance. L'énergie métabolisable moyenne du tourteau de moutarde était de 9 à 62 et de 8 à 75 MJ/kg pour les poussins de type viande et de type œuf. Lors de l'étude de l'effet de l'alimentation en tourteau de moutarde chez les poules pondeuses, le poids des œufs, l'épaisseur de la coquille et la qualité du jaune n'ont été affectés négativement qu'après l'inclusion de 15 % de tourteau de moutarde, tandis que la qualité de l'albumen a commencé à se détériorer à partir de 10 % d'auto-incision de plus, le gâteau est moins savoureux, aux ruminants en raison de son goût amer résultant de la présence de tanins, selon **(Brown et al., 1991)**.

1.6.2. Composition du tourteau de moutarde

Le tourteau est riche en différents nutriments tel qu'il est indiqué dans le tableau suivant :

Tableau II : Composition approximative (%) du tourteau de moutarde noire et de la moutarde jaune **(Sarker et al., 2015)**.

Matériel	Humidité	Minéraux	Acide %	Huile %	Fibre	Protéine	Allylisothio-Cyanate %
Tourteau de moutarde noir	9,20 ± 0,5	7,10 ± 0,3	1,93 ± 0,4	8,70 ± 0,8	12,17 ± 1,3	38,17 ± 1,0	0,086 ± 0,009
Tourteau de moutarde jaune	9,73 ± 0,6	5,9 ± 0,3	1,23 ± 0,3	15,67 ± 0,6	14,80 ± 0,2	28,80 ± 0,7	0,077 ± 0,003

La composition du tourteau de moutarde varie en fonction de la variété, des conditions de culture et des méthodes de transformation ; les tourteaux ont une valeur nutritionnelle élevée en particulier, leur teneur en protéines qui varie de 15 à 50 % **(Ramachandran et al., 2007)**.

La composition en acides aminés de la protéine de moutarde est bien équilibrée ; elle est riche en acides aminés essentiels cette composition chimique avantageuse et son prix relativement bas offrent de vastes possibilités d'utilisation de cette graine précieuse **(Gadei et al, 2012)**.

I. Synthèse Bibliographique

Afin de montrer la différence entre la composition chimique de tourteau de moutarde et celui déshuilé **Sharma (2013)** a effectué une comparaison qui est donnée dans le tableau suivant :

Tableau III : Composition chimique du tourteau de moutarde et des tourteaux déshuilés (% sur la base des aliments) (**Sharma,2013**)

Composition		Tourteau de moutarde	Moutarde déshuilé
Nombre d'échantillons		31	43
Matière sèche	Minimum	90,03	84,42
	Maximum	93,49	94,76
	Moyen	91,42	89,84
	SE	0,16	0,30
Protéine brute	Minimum	27,32	33,54
	Maximum	34,31	36,97
	Mean	30,12	35,65
	SE	0,28	0,14
Fibres	Minimum	4,40	9,68
	Maximum	7,85	11,55
	Moyen	5,98	10,28
	SE	0,16	0,16
Extrait à l'éther	Minimum	8,12	0,30
	Maximum	11,20	0,99
	Moyen	9,29	0,69
	SE	0,18	0,02
Cendres totales	Minimum	5,79	6,48
	Maximum	8,37	9,63
	Moyen	6,73	7,61
	SE	0,10	0,12
Extrait sans azote	Minimum	34,03	30,21
	Maximum	40,52	38,35
	Moyen	37,39	33,68
	SE	0,30	0,57
Cendres insolubles dans l'acide	Minimum	3,23	0,40
	Maximum	1,58	1,93
	Moyen	0,15	1,00
	SE	3,23	0,06

Chapitre II : Origine et composition de la mayonnaise

2.1. Origine

La mayonnaise serait originaire de Port Mahon, France en 1756. Elle a été fabriquée pour célébrer la conquête de Port Mahon par les forces commandées par Louis François Armand de Vignerot du Plessis, duc de Richelieu (1696-1788), maréchal de France elle fut appelée Maho'nnaise. Le mot a ensuite été remplacé par le mot mayonnaise, probablement à cause des anciens mots français pour le jaune d'œuf et pour remuer, moyennement, et de l'anglais, mayonnaise (Morley L, 2016).

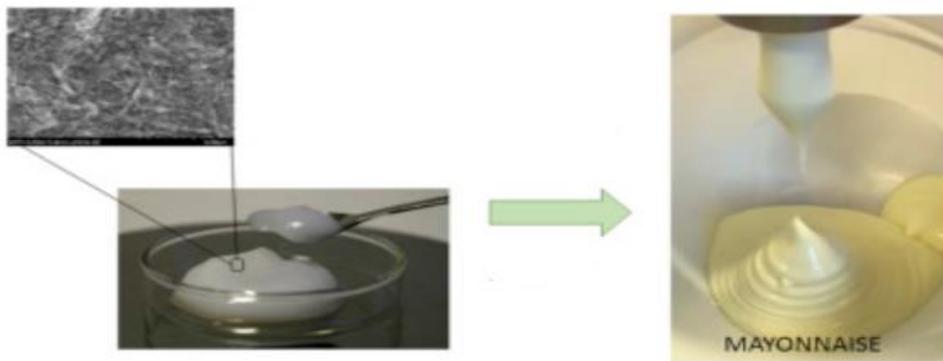


Figure 03 : Photographie d'une mayonnaise finie (Heggset et al.,2020)

2.2. Définition

La mayonnaise est une émulsion semi-solide de type huile dans l'eau qui est obtenue en mélangeant soigneusement l'huile, le vinaigre, le jaune d'œuf et les épices. En outre, la mayonnaise contient traditionnellement 70 à 80 % d'huile et le jaune d'œuf est un ingrédient clé qui contribue à sa stabilité (Mirzanajafi-Zanjani et al., 2019).

L'utilisation d'émulsifiants et de substituts de graisse alternatifs peut affecter les caractéristiques sensorielles, texturales et antioxydantes de la mayonnaise. En outre, la mayonnaise est riche en matières grasses, est vulnérable à l'auto-oxydation. En plus de des matières grasses, la mayonnaise est accompagnée d'ingrédients bioactifs pour produire un système sain (Mirzanajafi-Zanjani et al., 2019).

La mayonnaise est une denrée alimentaire qui a une stabilité microbienne en raison de sa teneur élevée en matières grasses et de son acidité, et peut être conservée à température ambiante ; néanmoins, la perte de qualité existe toujours en raison de l'auto-oxydation des acides gras insaturés (Aganovic et al., 2018).

2.3. Composition

La matière grasse, l'un des principaux ingrédients, affecte positivement les attributs rhéologiques et les caractéristiques sensorielles de la mayonnaise finale produite, elle contribue également à la saveur, à la texture, à l'onctuosité, à la palatabilité, à l'apparence et à la durée de conservation de la mayonnaise (**Mun et al., 2009**).

- **Le rôle de la fraction d'huile**

L'émulsion de la mayonnaise est formée par le mélange de l'huile avec un pré-mélange comprenant du vinaigre, de la moutarde et du jaune d'œuf, le mélange de la phase aqueuse et de l'huile en une seule fois entraînerait la création d'une émulsion eau dans l'huile (**Xu et Guo, 2007**).

- **Le rôle du sel et du vinaigre**

Le rôle le plus important du vinaigre est l'ajustement du pH. Le pH de la mayonnaise a un impact profond sur la structure de l'émulsion. La stabilité et la viscoélasticité de la mayonnaise sont maximales lorsque le pH atteint le point isoélectrique du jaune d'œuf, lorsque la valeur du pH atteint le point isoélectrique des protéines du jaune d'œuf, à tel point que la charge superficielle des protéines diminue. La floculation des protéines ne se produirait jamais si les protéines étaient très chargées ; les gouttelettes d'huile de mayonnaise sont chargées positivement (**Deprea et Savage, 2001**).

Un pH faible (pH = 4) rompt les ponts ioniques présents entre la phosphatidylsérine et le fer. En outre, les ions ferriques sont insolubles et solubles dans des valeurs de pH neutres et faibles, respectivement. Par conséquent, la diminution de la valeur du pH peut également entraîner une augmentation de la solubilisation des ions ferriques dans la mayonnaise (**Timm et Meyer, 2001**).

- **Le rôle du jaune d'œuf**

Dans la recette de la mayonnaise, le jaune d'œuf est l'élément le plus important pour la stabilité de l'émulsion (**Nikzade et al., 2012**). L'utilisation de la pâte d'amidon allonge la durée et le prix de la transformation à un effet défavorable sur la texture et la saveur de la mayonnaise.

L'autre approche consiste à utiliser du jaune d'œuf à faible teneur en cholestérol comme agent émulsifiant dans la mayonnaise (**Laca et al., 2010**).

2.4. Propriétés de l'émulsion

Les propriétés de l'émulsion peuvent être de nature physique ou chimique, ou les deux. Bien qu'il soit difficile de caractériser toutes les facettes des émulsions, leurs propriétés dépendent généralement des propriétés de la phase continue et de la proportion de la phase continue par rapport à la phase dispersée (**Lynch et Griffin, 1974**).

- **Apparence**

Les ingrédients utilisés, leur couleur et la différence d'indice de réfraction, ainsi que la taille des particules de la phase dispersée influencent tous l'apparence d'une émulsion. Une taille de particule de 0,5 à 5 μ donne une émulsion opaque. La couleur de l'émulsion dépend généralement de la couleur de la phase continue. (**Lynch et Griffin, 1974**).

- **Dispersibilité et type d'émulsion**

Les émulsions huile dans l'eau peuvent être dispersées et diluées dans l'eau, tandis que les émulsions eau dans l'huile ne peuvent être dispersées et diluées dans les huiles. (**Lynch et Griffin 1974**).

- **Viscosité**

La viscosité d'une émulsion dépend principalement de la viscosité de sa phase externe et du rapport entre les phases externe et interne. Dans les émulsions à faible rapport de phase interne, comme le lait, la viscosité est proche de celle de la phase externe. À mesure que la concentration de la phase interne augmente, la viscosité augmente également. Lorsque la phase interne dépasse la phase externe en volume, comme dans les émulsions à fort rapport de phase interne comme la mayonnaise, la viscosité continue d'augmenter. Théoriquement, les gouttelettes sphériques peuvent occuper jusqu'à 74 % du volume total de l'émulsion. Cependant, dans les émulsions à fort rapport de phase interne, où plus de 75 % du volume est occupé par la phase dispersée, les gouttelettes peuvent être déformées, ce qui entraîne une plus grande plasticité et une sensibilité accrue de la viscosité aux tailles et charges des particules dispersées (**Lynch et Griffin, 1974**).

- **La taille des particules**

Le diamètre des globules de la phase interne est généralement considéré comme la taille des particules. Les émulsions fines contiennent des particules de petit diamètre, tandis que les émulsions grossières contiennent de gros globules. Une bonne stabilité est généralement associée à une taille de particules fines et uniformes. Le type et la quantité d'émulsifiant, l'ordre d'ajout des ingrédients et la quantité de travail effectué pour former l'émulsion influencent tous la taille des particules (**Lynch et Griffin, 1974**).

- **pH**

Ce n'est que récemment que les effets du pH sur la stabilité des émulsions ont commencé à faire l'objet d'une attention particulière de la part des chercheurs. Des changements dans les émulsions peuvent souvent être obtenus par des ajustements du pH. (**Lynch et Griffin, 1974**).

- **La stabilité**

La stabilité d'une émulsion fait référence à la durée pendant laquelle la phase interne restera dispersée dans des conditions normales d'expédition et de stockage. Lorsque les gouttelettes de la phase dispersée fusionnent et que les phases se séparent, l'émulsion est dite « brisée ». La vitesse à laquelle la coalescence se produit dépend du type et de la concentration de l'émulsifiant, de la taille des gouttelettes dispersées, de la charge des particules, de la viscosité de l'émulsion et des conditions de transport et de stockage auxquelles l'émulsion est soumise. (**Lynch et Griffin, 1974**).

2.5. Processus industriels de fabrication

En émulsion, la fabrication de la mayonnaise nécessite deux phases.

- **Phase grasse**

La phase grasse est constituée de l'huile dans les proportions définies selon la recette ainsi que des auxiliaires de fabrication qui sont solubles tels que : l'émulsifiant, les vitamines, les arômes. La préparation proprement dite de la phase grasse consiste à dissoudre les additifs dans l'huile. Le liquide limpide ainsi obtenu constitue la phase grasse complète (**Kone, 2001**).

- **Phase aqueuse**

Composée d'eau et du vinaigre ainsi que des adjonctions qui y sont solubles tels que : sel, sucre, arômes, conservateurs ...etc. La préparation proprement dite de la phase grasse consiste à dissoudre les additifs dans l'huile. Le liquide limpide ainsi obtenu constitue la phase grasse complète (**Kone, 2001**) :

- Introduire la phase aqueuse et le jaune d'œuf dans la cuve ;
- Mettre en marche le broyeur colloïdal avec retour dans la cuve ;
- Introduire, en petites quantités au départ, la phase huileuse ;
- Augmenter progressivement la quantité de la phase huileuse à ajouter au fur et à mesure que l'émulsion commence à devenir visqueuse.

II. Matériel et Méthodes

1. Procéder de fabrication de la moutarde

1.1. Étape du procéder de fabrication

- **Réception de la graine et nettoyage de la graine :**

Les graines brunes (*Brassica juncea*) arrivent dans les sacs de 25 kg déjà nettoyer d'inde elle subit un test de conformité avant le début de la production.

- **Broyage grossière de la graine :**

Les graines passent dans un broyeur pour un broyage partiel à faible température pour ne pas altérer la composition chimique de la graine de moutarde et éviter la sécrétion d'huile de moutarde pare la graine au cours du broyage.

- **Déshuilage « dépend du la quantité de MG dans la graine » :**

Diminution de l'huile présente dans la graine pour avoir une teneur avoisinons les 12 g pour 100g dans notre gâteau cette étape se fait dans une presse à broche elle sépare aussi la farine de moutarde.

- **Macération ou brassage**

Cette l'étape ou en ajout notre verjus, les arômes, écorce de fruit ; le curcuma qui va nous donner la couleur jaunâtre. Chaque industrielle à sa propre recette bien à l'entreprise.

- **Fermentation**

La fermentation se fait entre deux a dix jours dépendamment du couple temps/ température qui agit sur la qualité du produit et dû piquent.

- **Tamisage**

A l'aide d'un tamise industrielle en sépare la pâte a moutarde du tourteau.

- **Broyage humide et refroidissement :**

Finement la moutarde fermentée humide en plusieurs étapes afin d'obtenir un aspect plus agréable et une consistance plus fine. Pour les phases de refroidissement, il est possible de mettre fin au broyage, car la température de la pâte de moutarde ne doit pas dépasser 27°C/28°C. Dans la production industrielle, les meules traditionnelles en basalte, grès ou lave sont substituées par des disques en corindon afin d'obtenir un débit plus élevé. On presse la pâte de moutarde à travers l'espace de broyage en utilisant une surpression.

- **Stockage pour post-fermentation**

Par la suite, la pâte de moutarde est conservée dans de vastes cuves ou des fûts de chêne pour une fermentation ultérieure afin de la faire mûrir, de perdre son goût amer et d'obtenir une consistance plus solide.

- **Ventilation sous vide et évité les poches d'aire :**

Lors de la prochaine étape, la moutarde est ventilée sous vide. Il est possible que les poches d'air provoquent une oxydation et aient un impact sur la couleur et le goût. Si cette étape est effectuée immédiatement après le broyage, il est nécessaire de refroidir la pâte de moutarde à 40°C.

- **Remplissage et stockage :**

Arriver dans des cuves la moutarde prête à la vente, sera remplis dans des récipients en verre ou en plastique destinés à la consommation stocké dans des chambres froides.

Les différentes étapes sont résumées dans la figure suivante :

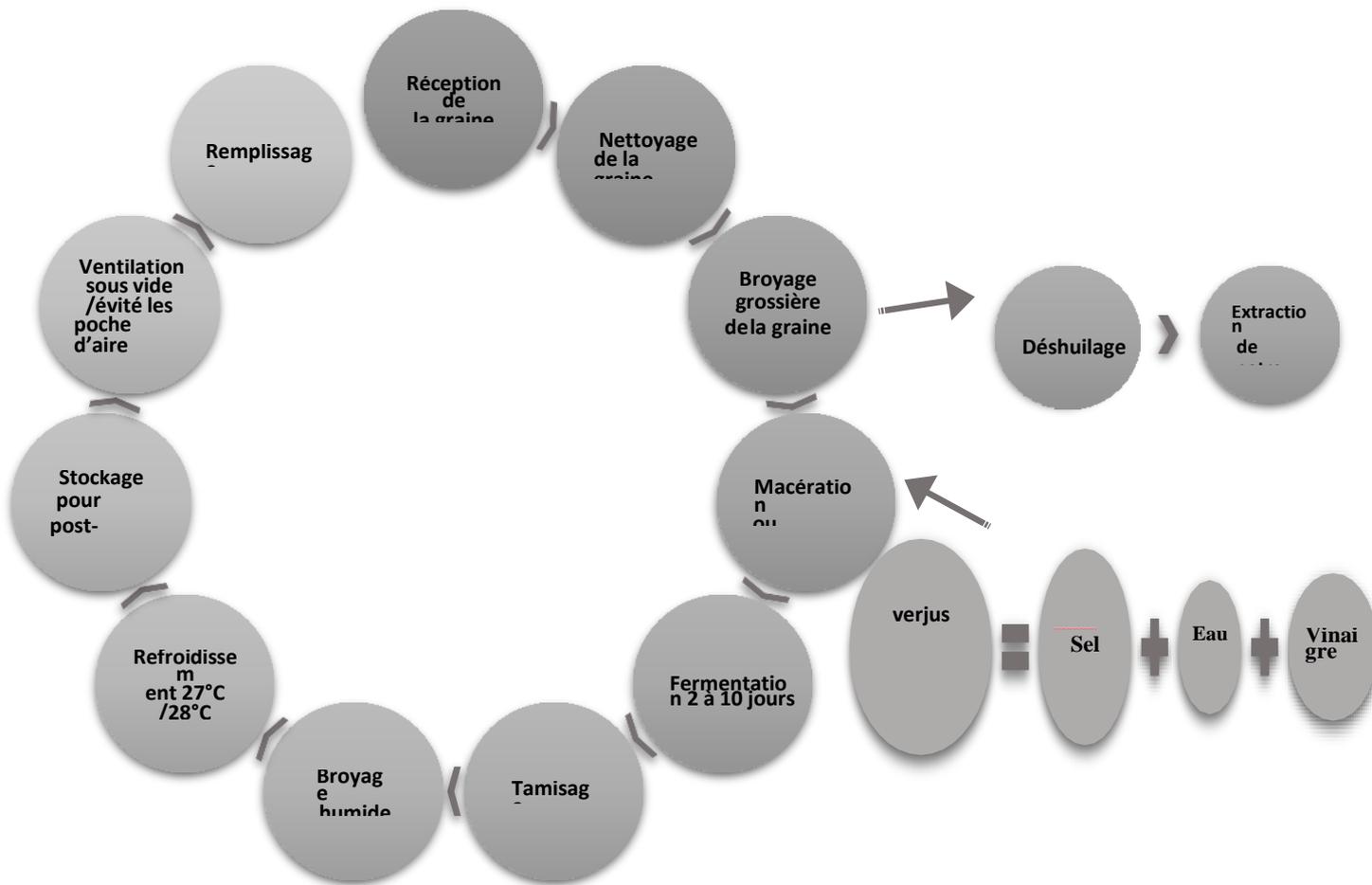


Figure 03 : Étape du procédé de fabrication de la moutarde. (Cevital)

2. Analyses de tourteau de la moutarde

Le traitement des graines de moutarde génère un sous-produit (tourteau) (Figure 05) que nous avons valorisé dans ce présent travail.



Figure 04 : photographie du tourteau de moutarde (photo originale).

2.1. Détermination des propriétés fonctionnelles des poudres

- **Densité apparente (DA)**

La densité apparente est définie comme la masse de particules occupant une unité de volume d'un récipient. La densité apparente des solides granulaires et des poudres dépend largement de la taille des particules, de l'humidité, de la composition chimique, du transport et des opérations de traitement (**Dedebas et Cebi, 2024**).

La densité apparente est déterminée selon la méthode de **Chinma et al. (2009)**. Une éprouvette graduée de 10 mL est préalablement pesée m_0 (g) est remplie de poudre jusqu'à un volume connu V (mL), puis repesée m_1 (g).

La densité apparente est calculée selon l'équation suivante :

$$DA \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{(m_1 - m_0)}{V} \quad (1)$$

- **Capacité d'absorption d'eau (CAE) et d'huile (CAH)**

Les méthodes décrites par **Zouari et al. (2016)** ont été appliquées. Brièvement, 1 g de poudre m_0 est mélangée avec 10 mL d'eau distillée ou d'huile végétale, la suspension est mélangée au vortex puis laissée reposer pendant 30 min. Après centrifugation (5000 tr/30 min), le surnageant est éliminé et le culot est récupéré puis séché dans une étuve à 105 °C pendant 30 minutes. La masse de culot séché est mesurée m_1 (g).

La capacité d'absorption d'eau (CAE) ou la capacité d'absorption d'huile (CAH) est exprimée en g d'eau ou d'huile absorbé par g de la poudre selon la formule suivante :

$$CAE \text{ (g/g)} = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \quad (2)$$

- **Capacité de gonflement (CG)**

La méthode décrite par **Mateos-Aparicio et al. (2010)** et **Ouazib (2016)** a été utilisée pour déterminer la capacité de gonflement des poudres préparées. Dans une éprouvette graduée, 100 mg de poudre (P (g)) sont hydratés dans un 10 mL d'eau distillée, puis le volume V0 (mL) occupé par le mélange est mesuré. Après 18 h, le volume final V1 (mL) est mesuré. La capacité de gonflement (CG) est déterminée par la formule suivante :

- $CG \text{ (\%)} = \frac{V_1 - V_0}{P} \times 100$ (3) **Capacité moussante (CM)**

La capacité moussante est déterminée selon la méthode décrite par **Elkhalifa et Bernhardt (2010)** et **Ouazib (2016)**.

1 g de la poudre est dispersé dans 50 mL d'eau distillée puis fouetté à l'aide d'un batteur pendant 1 min. Le volume final VF (mL) est mesuré dans une éprouvette graduée. La capacité moussante (CM) est calculée selon la formule suivante :

$$CM \text{ (\%)} = \frac{V_f - V_i}{V_i} \times 100 \quad (4)$$

2.2. Caractérisations physicochimiques et composition approximative de la poudre

- **Détermination de la teneur en eau**

Les capsules vides ont été séchées dans l'étuve pendant 15 minutes puis laissées refroidir au dessiccateur. Ensuite, 5 g de l'échantillon ont été pesé et les capsules été introduites dans l'étuve à 103 ± 2 °C et séchées jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Les capsules ont été laissées refroidir avant de les peser dans un dessiccateur et évaluer la quantité d'eau évaporée.

Les résultats ont été exprimés comme suit :

$$H (\%) = \frac{M1-M2}{P} \times 100 \quad (5)$$

Où :

H (%) : humidité.

M1 (g) : masse de la capsule + l'échantillon avant étuvage.

M2 (g) : masse de l'ensemble après l'étuvage.

P (g) : masse de la prise d'essai.

La teneur en matière sèche (MS) est calculée selon la relation suivante :

$$MS (\%) = 100 - H (\%) \quad (6)$$

- **Détermination de la teneur en cendres**

Une quantité de 5 g de l'échantillon est mise dans un creuset préalablement taré. Les creusets ont été fait passer au four à une température de 550 °C jusqu'à l'obtention d'un résidu blanchâtre. Ensuite, ils étaient retirés et refroidis au dessiccateur avant d'être repesés. Les résultats sont exprimés comme suit :

$$MO (\%) = \frac{M1-M2}{P} \times 100 \quad (7)$$

Où :

MO (%) : matière organique.

M1 (g) : masse de la capsule + l'échantillon.

M 2 (g) : masse de la capsule + cendres.

P (g) : masse de la prise d'essai.

La teneur en cendres est calculée par la formule suivante :

$$\text{Cendres (\%)} = 100 - MO \quad (8)$$

- **pH**

Les échantillons ont été caractérisés pour le pH selon la méthode n° 02-52 de l'AACC (2000). En utilisant un pH-mètre avec une électrode combinée. 10 g d'échantillon broyé sont ajoutés 25 mL d'eau distillée. Le mélange est agité pendant une demi-heure et le pH est mesuré à l'aide un pH mètre.

- **Degré Brix**

Elle consiste à bien mélanger 1 g d'échantillon avec 10 mL d'eau distillée. Puis, une goutte du mélange est placée sur la surface du prisme du réfractomètre pour mesurer la valeur.

- **Dosage des sucres totaux**

La méthode de dosage des sucres totaux repose sur la déshydratation des sucres présents dans l'extrait par l'acide sulfurique concentré et à chaud, ce qui implique la formation de l'hydroxy méthyl furfural (HMF) et d'autres composés réactionnels qui réagissent avec le phénol. Ces réactions donnent un complexe stable de couleur jaune-orange dont l'intensité est proportionnelle à la quantité en sucre présente dans l'échantillon (**Dubois et al., 1956**).

Le protocole expérimental est réalisé en versant :

Un volume de 200 μL de chaque extrait dans un tube à essai et 400 μL de phénol (5%) ont été ajoutés. Le mélange est additionné de 2mL d'acide sulfurique concentré (95-98%) puis chauffé au bain Marie à 100 °C" pendant cinq minutes Après refroidissement, la lecture des absorbances est faite à 490 nm.

- **Détermination de la teneur en protéines**

Selon la méthode de **Bradford (1976)**, le colorant bleu brillant de CoomassieG250 interagit avec les protéines. En milieu acide, ce colorant se lie aux protéines par des liaisons ioniques avec les acides aminés basiques tels que l'arginine, la lysine et l'histidine et forme également des interactions hydrophobes avec les acides aminés hydrophobes présents dans les protéines.

Ces interactions entre le colorant et les protéines entraînent un déplacement du pic d'absorption du colorant de 465 nm à 595 nm qui se traduit par un changement de couleur du milieu, passant d'une teinte brune orangé à une teinte bleue. L'intensité de la couleur est proportionnelle à la teneur en protéines dans les extraits analysés (**Bradford, 1976**).

Le dosage des protéines dans l'échantillon étudié est fait en rajoutant 500 μL d'extrait à 2 mL de réactif de Bradford. Le mélange est agité au vortex puis incubé à l'obscurité pendant 5 min. Les absorbances sont lues à 595 nm.

2.3. Analyses phytochimiques

- **Extraction par ultrasons**

La poudre des échantillons (10 g) a été mélangée avec 100 mL de mélange éthanol-eau dans un tube, puis immergée dans un bain ultrasons (300 W) et irradié à une puissance de 50 Hz à 53 °C pendant 60 min. Après l'extraction, les mélanges ont été filtrés et les filtrats ont été recueillis et séchés dans une étuve à 40 °C et conservés à 4 °C (**Brahmi et al., 2022**).

- **Dosage des polyphénols totaux**

Le dosage des polyphénols totaux par la méthode utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu a été décrit en 1965 par Singleton et Rossi. Depuis, son utilisation s'est largement répandue pour caractériser les extraits végétaux de différentes origines.

Le réactif de Folin-Ciocalteu, de couleur jaune, est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique et d'acide phosphomolybdique. Il est réduit lors de l'oxydation des phenols, en un mélange d'oxydes bleu de tungstène et de molybdene. La présence de carbonate de sodium rend le milieu légèrement alcalin qui se traduit par une coloration bleu foncé (**Ribéreau-Gayon, 1968**). La coloration produite, dont l'absorption maximum à environ 760-765 nm, est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux (**Boizot et Charpentier, 2006**).

La teneur en composés phénoliques totaux est déterminées selon le protocole suivant :

0.5 mL du réactif de Folin-Ciocalteu ont été ajoutés à 0,5 mL de l'extrait. Après trois minutes un volume de 1,5 mL du mono carbonate de sodium (06%) a été additionné. Ce mélange est ajusté avec l'eau distillé jusqu'à 10 mL puis incubé à l'obscurité. Après 30 minutes d'incubation, la lecture de l'absorbance a été faite à 760 nm (**Haddadi Guemghar et al., 2014**).

- **Dosages des flavonoïdes**

La teneur en flavonoïdes a été déterminée par la méthode colorimétrique de **Lamaisonet Carnat (1991)**. Cette méthode est basée sur la formation de complexe jaunâtre suite à la chélation de l'ion Al^{3+} , utilisés sous forme de chlorure d'aluminium ($AlCl_3$), par les groupements OH des flavonoïdes. Ce complexe jaunâtre absorbe la lumière visible a une longueur d'onde de 430 nm. La coloration ainsi formée est proportionnelle au taux de flavonoïdes dans le mélange (**Ribereau-Gayon, 1968**).

Selon la méthode de AlCl_3 de **Lamaison et Carnat (1990)**, la teneur en flavonoïdes est déterminée comme suit : un volume de 1 mL de la solution de chlorure d'Aluminium (2%) a été ajouté à 1 mL de l'extrait. Ces mélanges ont été ensuite incubés à l'obscurité. Après 15 minutes d'incubation, la lecture de l'absorbance est réalisée à 430 nm.

- **Dosage des flavanols**

La méthode utilisée pour la détermination de la teneur en flavanols est celle de **Kumaran et Karunakaran (2007)**. Un volume de 0,5 mL de l'extrait est additionné à 0,5 mL de chlorure d'aluminium (2%). Ensuite, 0,75 mL d'acétate de sodium (5%) est ajouté, le mélange est agité à l'aide d'un vortex et incubé pendant 30 min à l'obscurité. Les absorbances sont mesurées à 440 nm.

2.4. Evaluation de l'activité antioxydante

- **Test au phosphomolybdate**

L'extrait (100 μL) à différentes concentrations est ajouté à 1 mL de mélange réactif. Le mélange est incubé dans un bain Marie à 90 °C pendant 90 min. Après refroidissement, la lecture est effectuée à 695 nm. La valeur d' IC_{50} est la concentration efficace à laquelle l'absorbance était de 0,5 (**Brahmi et al., 2014**).

- **Test de piégeage du DPPH**

L'activité scavenger du radical DPPH a été déterminée selon méthode proposée par **Blois (1958)**. Un volume (2 mL) de différentes concentrations des extraits est ajouté à 150 μL de la solution de DPPH (10⁻³ M). Le mélange est incubé à l'obscurité et à température ambiante pendant 1 h et les absorbances sont mesurées à 517 nm.

Le pourcentage d'inhibition du radical DPPH par les échantillons a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{Effet d'inhibition DPPH (\%)} = \frac{\text{Abs contrôle} - \text{Abs échantillon}}{\text{Abs contrôle}} \times 100$$

La concentration de l'extrait fournissant une inhibition de 50% (IC_{50}) a été obtenue en traçant le pourcentage d'inhibition en fonction des concentrations de la solution d'extrait (**Brahmi et al., 2015**).

3. Préparation de la mayonnaise

3.1. Ingrédients

1 jaune d'œuf	250 ml de l'huile de tournesol	1 cuillère à café du vinaigre
2 g de sel	40 ml du jus de citron	1 gousse d'ail
2g de sucre	4 g du tourteau de moutarde	30 g du fromage

3.2. Préparation de la mayonnaise traditionnelle

Dans un bol alimentaire stérilisé, le jaune d'œuf avec le sel, le poivre noir, le tourteau de moutarde et la vinaigre ont été mélangés avec un mixeur à main. Ensuite, l'huile est versée progressivement tout en mixant jusqu'à l'obtention d'une émulsion puis on augmente la cadence du versement d'huile (en filet) jusqu'à l'obtention d'une bonne texture et consistance. Enfin, la mayonnaise est assaisonnée avec le fromage, le sucre et une gousse d'ail, jus de citron pour améliorer la qualité nutritionnelle, la saveur et la texture. Les différentes étapes suivies sont résumées dans la figure suivante :

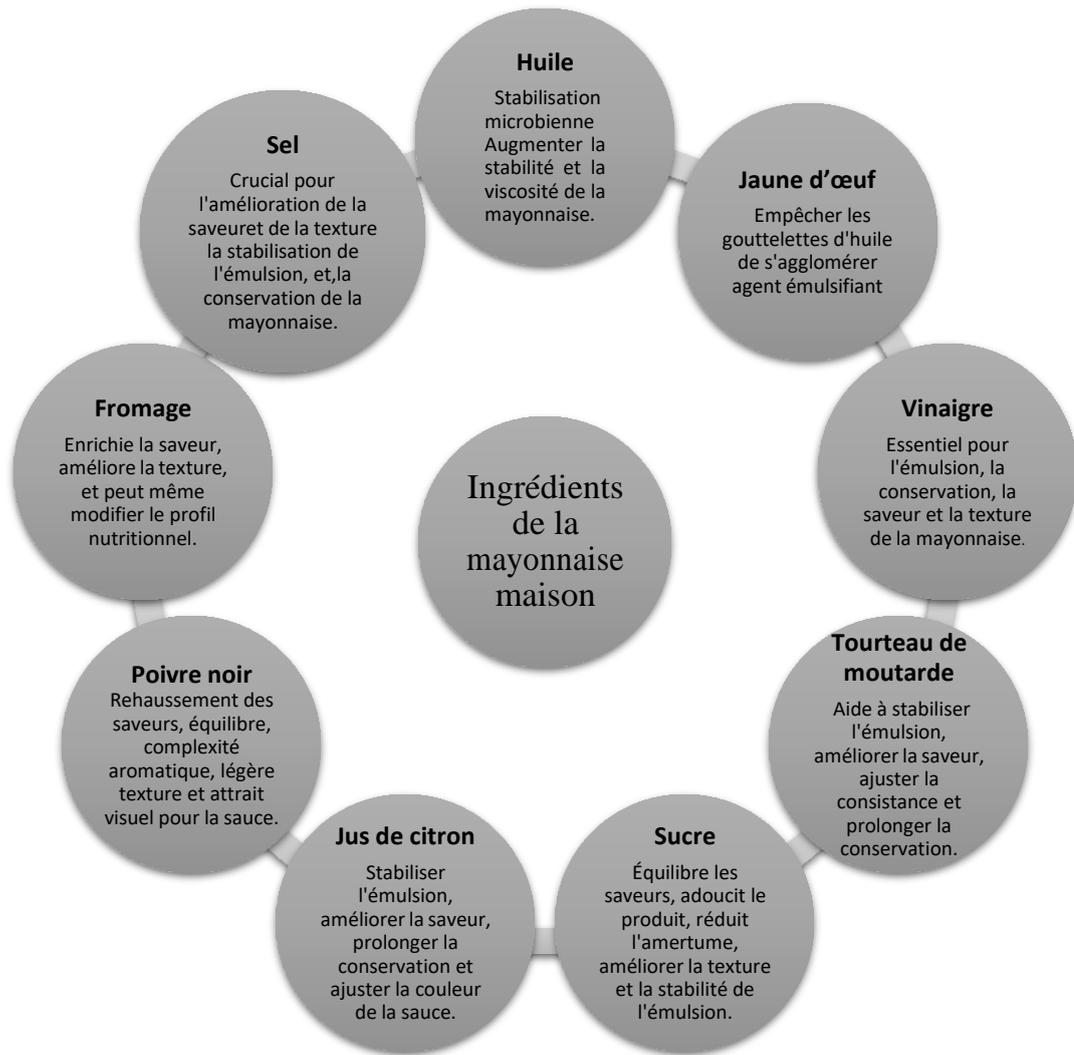


Figure 05 : Préparation de la mayonnaise traditionnelle

4. Analyses de la mayonnaise

4.1. Analyses physicochimiques de la mayonnaise

• Détermination du Brix

Le Brix est déterminé à l'aide de réfractomètre. Il donne par simple lecture le coefficient de la réfraction d'un produit en fonction de la matière sèche (Alvoine et al., 1988).

Le taux de Brix de la mayonnaise est déterminé après la préparation de réfractomètre, puis une homogénéisation de la mayonnaise est réalisée, une petite quantité de l'échantillon à analyser est déposée et étalée sur la surface du prisme à l'aide d'une spatule, puis le deuxième prisme est rabattu sur le premier, le résultat est lu après l'ajustage (Alvoine et al., 1988).

- **Détermination de la viscosité** Un liquide au repos est considéré idéalement comme un ensemble de couches moléculaires parallèles. Soumise à une contrainte tangentielle, une des couches du liquide se déplace par rapport à celle qui lui est sous-jacente ; en raison du frottement permanent sur les molécules de la seconde couche, le mouvement est transmis partiellement à cette dernière, en même temps que la vitesse de déplacement de la première couche diminue. Cet effet de retard, provoqué par la friction interne des molécules de la couche sous-jacente sur celle de la couche supérieure, est appelé la viscosité (**Scher, 2006**).

Afin de mesurer la viscosité de la mayonnaise, le mobile ainsi que son protecteur sont placés sur la partie tournante. Le mobile idéal (L1 L2 L3 ou bien L4) est sélectionné et, l'échantillon à tester est mis dans un bécher de 600 mL. La température de l'échantillon à analyser est vérifiée (24-26 °C) et le mobile est inséré et centré dans le produit à tester jusqu'à ce que le niveau de fluide atteigne le repère pratiqué sur la tige. La valeur de viscosité est affichée sur l'écran.

- **Détermination de pH**

La mesure de pH est l'un des paramètres les plus importants dans le contrôle de la qualité de toute denrée alimentaire en outre le pH est important lors de l'utilisation des régulateurs d'acidité en tant qu'agent de conservation (**Amiot et al., 2002**).

Le pH de la mayonnaise est déterminé par un pH-mètre en introduisant l'électrode dans l'échantillon à analyser. La valeur du pH est lue sur l'afficheur (**Rodier et al., 1984**).

- **Détermination de l'acidité :**

L'acidité correspond à la somme des acides minéraux et organiques libres, elle est déterminée suivant la méthode titrage acide/base à l'aide d'une solution de NaOH (**AFNOR, 1974**).

A l'aide d'une spatule une quantité de mayonnaise est prélevée, puis introduite dans un Erlenmeyer. L'ensemble est, pesé, ensuite l'échantillon est dilué avec l'eau distillée. L'Erlenmeyer est bien agité afin d'éliminer les traces d'échantillon, sur les parois jusqu'à voir une solution homogène et est mis dans un bain Marie. Quelques gouttes de phénophtaléine à 10% ont été ajoutées, puis réaliser une titration avec la soude 1/10N est réalisée jusqu'à apparition de la couleur rose pâle qui persiste pendant une dizaine de minute (AFNOR, 1986).

L'acidité est exprimée par la relation suivante :

$$\text{Acidité} = V \cdot 0,64.$$

V : volume NAOH, 0,64 : coefficient correspondant à l'acide citrique.

- **Détermination de la consistance (écoulement)**

La consistance est l'une des principales caractéristiques de texture à prendre en compte lors de la préparation de la mayonnaise

Lors de la préparation de la mayonnaise à teneur réduite en matière grasse est la consistance (Lee al., 2013).

Elle est mesurée à l'aide d'un matériel appelé consistomètre de Bostwick en le positionnant d'une façon inclinée. La porte de compartiment à échantillon est fermée en le poussant vers le bas, leveret le bras de levier est aussi levé haut que possible. L'échantillon à analyser est versé dans le compartiment en le remplissant jusqu'à la limite supérieure de la porte. L'échantillon est libéré en pressant le bras du levier vers le bas, le produit est laissé s'écouler pendant 30 secondes. La distance parcourue en lisant sur la graduation indiquée sur la pente est mesurée. Et la valeur obtenue est considérée comme étant la consistance de l'échantillon.

- **Détermination de l'extrait sec :**

La matière sèche d'une mayonnaise représente tous ses composants à part l'eau. Elle est mesurée au moyen d'un dessiccateur. Dans ce dernier, l'échantillon est mis puis étalé sur toute la coupelle d'aluminium préalablement tarée. Le couvercle du dessiccateur est fermé. Après quelque minute, la valeur de l'extrait sec est indiquée en pourcentage sur l'afficheur de l'appareil.

4.2. Analyses microbiologiques de la mayonnaise enrichie :

Ces analyses microbiologiques ont été effectuées en suivant le protocole rédigé par la réglementation du journal officiel de la république algérienne arrêtée interministérielle.

L'intérêt du contrôle microbiologique est de garantir un niveau organoleptique et assurer une qualité hygiénique saine du produit. Aussi dans le but d'avoir le moins possible de produit non conforme et minimiser la perte des produits dues aux mauvaises conditions de fabrication en favorisant un bon rendement

Les analyses de la mayonnaise ont été effectuées en préparant 3 échantillons après sa préparation dans des conditions aseptiques et conservée à une température de 4 °C pendant 24h.

Pour éviter une toute façon contamination de l'échantillon tous les moyens préventifs ont été pris en considération (plan de travail désinfecté, utilisation de et spatules stériles...).

4.2.1 Recherche des différentes flores microbiennes

- **Analyse des coliformes totaux par la méthode VRBL**

L'objectif de cette étude était de rechercher et de dénombrer les coliformes totaux dans un échantillon donné. La méthode utilisée était la technique VRBL (Violet Red Bile Lactose Broth), une méthode classique pour la détection des coliformes.

Une solution mère a été préparée en dissolvant 10 g de mayonnaise dans 90 g d'eau peptonée tamponnée double concentrée contenant 0,7 g de Tween 80.

Une série de dilutions au facteur 10 a été réalisée à partir de la solution mère, jusqu'à une dilution finale de 10^6 . Puis, 1 mL de chaque dilution a étéensemencé sur des boîtes de Pétri contenant le milieu VRBL.

Les boîtes ont été incubées à 44 °C pendant 48 heures pour favoriser la croissance et la détection des coliformes totaux.

- **Recherche des staphylocoques aureus**

Pour cela, une solution mère a été préparée en diluant 10g de mayonnaise dans 90g d'eau peptonée tamponnée contenant 0,7g de Tween 80.

Le milieu Baird-Parker a été versé dans des boîtes de Pétri, refroidi et inoculé en stries avec 0,1 ml de la solution mère. Les boîtes ont été incubées à 37°C pendant 48 heures pour permettre la croissance et la détection de *Staphylococcus aureus*.

- **Recherche des levures et moisissures :**

Le protocole pour le dénombrement des levures et moisissures reprend les mêmes étapes que celui des coliformes totaux, à quelques exceptions près. Yeast Glucose Chloramphenicol Agar (YGCA) est utilisé comme milieu de culture qui présente la particularité d'être sélectif vis-à-vis des levures et moisissures, tout en inhibant la croissance des bactéries.

Les boîtes de Petriensemencées sont incubées à 25°C pendant 5 jours. Cette durée prolongée permet une meilleure croissance et un dénombrement plus précis des levures et moisissures. Recherche et dénombrement de *Staphylococcus aureus* L'objectif est d'évaluer la salubrité microbiologique des échantillons de mayonnaise en y recherchant et en quantifiant la présence de *Staphylococcus aureus*, une bactérie pathogène pouvant causer des infections alimentaires. 10 g de mayonnaise ont été dilués dans 90 g d'eau peptonée tamponnée double concentrée contenant 0,7 g de Tween 80 (solution mère). Le milieu Baird-Parker est versé dans des boîtes de Pétri stériles et laissé refroidir. Chaque boîte de Pétri est inoculée avec 0,1 mL de la solution mère en stries. Les boîtes ont été incubées à 37 °C pendant 48 heures pour favoriser la croissance de *Staphylococcus aureus*.

- **Recherche de Salmonella**

25 g de mayonnaise ont été mélangés avec 225 mL d'eau peptonée tamponnée, puis incubés à une température de 37 °C pendant 24 heures. Pour l'enrichissement en milieux sélectifs, 0,1 mL du bouillon de pré-enrichissement est transféré dans 10 mL de bouillon de soja Rappaport Vassiliadis (RVS) est utilisé et incubation à une température de 42°C ± 1°C pendant 24 heures. En même temps, 1 mL de bouillon de pré-enrichissement est ajouté à 10 de bouillon Muller-Kauffmann, le tout est agité et déposé dans une étuve à 37 °C pendant 24 heures.

Une boucle de 10 µL est étalée et est ensemencé contenant le bouillon Muller-Kauffmann et le bouillon RVS sur des boîtes de gélose xylose lysine désoxycholate (XLD) et Hektoen. Ensuite, les boîtes ont été incubé à une température de 37°C pendant 24 heures.

5. Analyses sensorielles

Dans le but d'évaluer la qualité organoleptique des mayonnaises traditionnelles formulées, nous avons effectué un test discriminatif et descriptif en fixant les critères suivants : l'acidité, odeur, couleur, arrière-gout, salinité, arôme et consistance.

5.1. Déroulement de l'analyse sensorielle

Le jury sensoriel est constitué de 10 experts en dégustation. La dégustation s'est déroulée dans le laboratoire d'analyse sensorielle de l'université de Bejaia, où l'atmosphère générale du local (aération, température et silence) est réglée et préparée, ainsi que les installations et le matériel utilisés pour l'évaluation sensorielle (**Annexe**).

5.2. Analyse statistique

Les données sont la moyenne de trois essais. Une analyse statistique a été effectuée pour traiter les données en utilisant une analyse de variance (**ANOVA**) et un test de LSD de Fisher à l'aide du logiciel **STATISTICA**. Les résultats sont considérés comme significatifs lorsque la probabilité $p < 0,05$.

III- Résultats et Discussions

1. Analyse du tourteau de moutarde

1.1. Détermination des propriétés fonctionnelles de tourteau de la moutarde

Parmi les propriétés des poudres, les propriétés fondamentales et fonctionnelles. Les propriétés fondamentales sont les caractéristiques physiques et chimiques inhérentes aux poudres et influencent les propriétés fonctionnelles. Ces propriétés fonctionnelles sont liées aux applications des poudres en tant que produits ou ingrédients (M'be, 2022).

Dans ce présent travail, nous avons déterminé quelques propriétés fonctionnelles de la poudre de tourteau des graines de moutarde pour une éventuelle application dans la formulation d'un aliment fonctionnel qui est la mayonnaise. Les propriétés déterminées sont la densité apparentée (DA), les capacités d'absorption d'eau et de l'huile (CAE ET CAH, respectivement), la capacité de gonflement (CG) et la capacité moussante (CM). Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau IV : propriétés fonctionnelles de la poudre de tourteau des graines de moutarde.

Les tests	DA (g/m³)	CAE (g/g)	CAH (g/g)	CG (%)	CM (%)
Résultats	0,57 ±0,03	6,1±1,5	3,4 ±1,02	5,5 ±0,4	2,60 ±0,11

DA : la densité apparenté, **CAE** : la capacité d'absorption d'eau, **CAH** : la capacité d'absorption d'huile, **CG** : la capacité de gonflement, et **CM** : la capacité moussante.

Pour la densité apparente (DA), la poudre de tourteau de moutarde a donné une valeur de $0,556 \pm 0,025$. la DA dépend de la nature chimique et de la granulométrie de la poudre et, dans une plus grande mesure encore, de l'humidité (Sone 1972) et (Schubert 1987).

Rani et al. (2021) ont déterminé la DA pour les tourteaux de graines de soja de graines et de moutarde et ont révélé des valeurs de 0.40 ± 0.01 et 0.51 ± 0.01 , respectivement. Les résultats trouvés par ces auteurs sont inférieurs à ceux trouvé dans cette présente étude. Cela est probablement dû à l'origine des graines utilisées (Tezpur, Assam, Inde).

En outre, en général, la cohésion de la poudre, que ce soit en raison de sa petite taille ou de l'absorption d'humidité, entraîne une faible densité apparente (Peleg et Hollenbach, 1981).

En ce qui concerne la capacité d'absorption de l'eau (CAE) et la capacité d'absorption d'huile (CAH), la poudre de tourteau de moutarde a donné $6,1 \pm 1,5\%$ et $3,4 \pm 1,02\%$, respectivement.

Ces propriétés sont de très faibles mais il est à signaler que le tourteau étudié n'est pas dégraissé et la charge de surface de l'adsorbant peut être influencée par la valeur du pH de la phase liquide coexistante. (Singh et al., 2023).

D'ailleurs, **Rani et Badwaik (2021)** ont démontré que la CAH et la CAE sont en relation avec le taux de dégraissage et ils ont constaté que la CAE et la CAH sont plus élevées dans les tourteaux de graines dégraissées de moutarde et de soja.

De plus, ces capacités dépendent de la nature des graines où le tourteau dégraissé des graines de soja (24,67 %) a enregistré la CAE la plus élevée comparativement aux tourteaux dégraissés de graines de moutarde et de lin. Alors que, parmi les trois échantillons de tourteaux, la CAH la plus élevée est attribuée au tourteau de lin (14,3%).

L'immersion de la poudre de tourteau de moutarde dans l'eau durant 18 h a donné une capacité de gonflement de $5,5 \pm 0,4\%$. D'après **Malaviya et al. (2022)**, le gonflement d'un échantillon est la capacité de ses particules à absorber de l'eau et à augmenter de taille lorsque l'échantillon est immergé plus longtemps dans l'eau, ce qui augmente l'occupation du volume par l'échantillon pour un certain temps.

La capacité de moussage la poudre de tourteau de moutarde est de $2,60 \pm 0,11\%$ et qui est similaire aux résultats trouvés par **Rani et Badwaik (2021)** mais les tourteaux de soja et de lin ont révélé des capacités plus importantes avec des valeurs de 21,19% et 11,95%, respectivement. Cette capacité est influencée par le dégraissage de moment que ces auteurs ont trouvé que les farines de graines de soja, de lin et de moutarde dégraissées ont montré des résultats différents qui sont de $14.69 \pm 0.76\%$, $6.34 \pm 0.50\%$ et $17.00 \pm 0.29\%$, respectivement (**Rani et Badwaik ,2021**).

Asokapandian et al. (2016) indiquent que la cause réside dans l'amélioration de la consistance des protéines, ce qui conduit à la formation d'une couche adsorbée élastique et cohésive en raison de leur nature hydrophobe et de leurs réarrangements.

1.2. Détermination des propriétés physicochimiques et composition approximative de tourteau de la moutarde

Les paramètres physicochimiques et la composition approximative de la poudre de tourteau des graines de moutarde sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau V : propriétés physicochimiques et composition approximative de la poudre de tourteau des graines de moutarde.

Les tests	Teneur en eau (%)	pH	Brix (%)	Teneur en cendre (%)	Taux de sucres (%)	Teneur en protéine (%)
Résultats	9,50 ± 0,62	4,62 ± 0,05	3,9 ± 0,1	11,47 ± 0,16	17,91 ± 0,01	33,27 ± 1,78

La teneur en eau a une influence sur la qualité du tourteau de moutarde. Les résultats ont montré que le tourteau de moutarde a une faible teneur en eau qui est de 9,50 ± 0,62%. Ce résultat est similaire à celui obtenu par **Damien (2014)** qui a déterminé des valeurs entre 7% et 15,99% et aussi similaire au résultat donné par **Sarker et al. (2015)**.

La poudre de tourteau des graines de moutarde possède un pH acide de 4,62 ± 0,05, ce qui concorde avec les résultats obtenus dans les études réalisées par **Pandey et al. (2019)** et **Kushwaha et al. (2020)** qui ont révélé des valeurs de 5,15±0,35 et 5,5±0,3, respectivement.

Le taux de Brix de ce tourteau est de 3,9 ± 0,1%, cela indique une faible concentration en solides solubles en comparaison avec le résultat donné par **Agnihotri et Premi (2007)** qui est de 6 ± 1%. **Kasote et al. (2015)** indiquent que les poudres de résidus végétaux comme le tourteau de moutarde peuvent contenir des quantités minimales de sucres solubles, car la majorité des sucres a été extraite ou transformée lors des processus de déshuilage et de raffinage.

La teneur en cendre de la poudre de tourteau de moutarde est de 11,47 ± 0,16%, elle est similaire à celle obtenue dans le travail de **Patel et al. (2024)**. Cependant, d'après **Sarker et al. (2015)**, la teneur en cendres des tourteaux de moutarde est plus faible (7,10 ± 0,3%). Ce taux de cendre dépend de plusieurs facteurs y compris l'origine des graines.

Dans ce contexte, **Thilakarathne et al. (2018)** ont noté que le tourteau de graines de *Nigella sativa* d'origine d'Inde à un taux de cendre de $5,31 \pm 0,20\%$ mais le tourteau de celle d'Éthiopie a un taux de $4,98 \pm 0,17\%$. Cette teneur est impacté aussi par la composition en fibres, matière grasse et en protéines.

Les résultats obtenus ont montré que le taux de sucre du tourteau de moutarde est de $17,91 \pm 0,01\%$, c'est une quantité considérable mais moins que les résultats obtenus par **Sehwag et al. (2015)** qui ont déterminé une teneur de 21%, cela est dû probablement à la différence des variétés et la méthode d'extraction.

En outre, la teneur en protéines du tourteau de moutarde analysé est de $33,27 \pm 1,78\%$. Le résultat obtenu est similaire à ceux obtenus par **Patel et al. (2024)** mais plus élevé que ceux trouvés dans les études menées par **Sharif et al. (2017)** et **Chowdhury et al. (2010)** et inférieur aux résultats déterminés par **Prapakornwiriya et Diosady (2004)** qui sont de 45,0 % et 34,0 %. Cela pourrait être dû à l'application d'engrais azotés et aux pratiques écologiques et agronomiques (**Sharif et al., 2017**).

1.3. Détermination des teneurs en polyphénols totaux, flavonoïdes et flavonols

Les composés phénoliques sont d'importants produits qui trouvent sous forme de substances naturelles dans les plantes et qui sont dotés de fort pouvoir antioxydant et qui peuvent ainsi protéger les aliments d'éventuelle oxydation. Dans ce travail, nous avons quantifié les différentes classes de polyphénols de tourteau des graines de moutarde et les résultats sont donnés dans le tableau suivant:

Tableau VI : teneurs en composés phénoliques de la poudre de tourteau des graines de moutarde.

Les tests	Polyphénols totaux (mg EAG/g MS)	Flavonoïdes (mg EQ/g MS)	Flavonols (mg EQ/g MS)
Résultats	$10,17 \pm 0,60$	$3,16 \pm 0,90$ mg/g	$1,16 \pm 0,15$ mg/g

Les résultats obtenus ont montré un taux en polyphénols totaux de $10,17 \pm 0,60$ mg EAG/g MS. La présence des polyphénols favorise l'activité antioxydante du tourteau de moutarde. Les résultats sont similaires aux résultats trouvés par **Efrem et al. (2022)** qui ont révélé une valeur de $11,20 \pm 1,36$ mg/g et même aux résultats de enregistrés par **Mayengbam et al. (2014)**.

III-Résultats et Discussion

Les flavonoïdes sont très importants car ils ont une activité antioxydante ce qui peut aider à prévenir des maladies cardiaques et chronique. Le dosage des flavonoïdes a permis d'avoir une teneur en flavonoïdes de $3,16 \pm 0,90$ mg QE/g MS. Ces résultats sont similaires aux résultats mesurés par **Efrem et al. (2022)** et **Youssef et al. (2014)** ont déterminé une valeur aussi proche de 4,65 mg/g.

Les flavonols sont présent dans de tourteau de graines de moutarde a une teneur de $1,16 \pm 0,15$ mg QE/g. D'après **Kaur et al. (2021)** le tourteau de moutarde renferme une teneur importante en certains flavonols telle que la rutine (12,22 mg/g) et une faible quantité en quercétine (0,02 mg/g).

1.4. Détermination de l'activité antioxydante

L'activité antioxydante de l'extrait de tourteau de graines de moutarde est évaluée par deux méthodes (activité scavenger du radical DPPH et activité antioxydante totale) et les résultats sont exprimés en IC₅₀ (mg/mL).

Tableau VII : activité antioxydante de la poudre de tourteau des graines de moutarde.

Les tests	DPPH (IC ₅₀ mg/mL)	Phosphomolybdate (IC ₅₀ mg/mL)
Résultats	$1,49 \pm 0,02$	$0,93 \pm 0,01$

Le test au DPPH effectué sur l'extrait de la poudre de tourteau de moutarde a donné une IC₅₀ de 1,49 mg/mL. Cette valeur est légèrement supérieure à celle donné par le Trolox (0,93 mg/mL) ce qui montre que le tourteau de moutarde a une activité antioxydante importante. Ce résultat est comparable à celui calculé par **Efrem et al. (2022)** qui ont étudié les graines moutarde *Brassica nigra* et ont trouvé une valeur e $1,76 \pm 0,45$ mg/mL.

Quant au test au phosphomolybdate, l'extrait de la poudre de tourteau de moutarde a révélé une IC₅₀ de 0,93 mg/mL. Par contre, le trolox utilise comme standard a donné une valeur de 0,35 mg/mL. Cela signifie que l'extrait de tourteau de graine de la moutarde procède une activité antioxydante totale appréciable.

2. Analyse de la mayonnaise

2.1. Analyses physicochimiques de la mayonnaise

Le tourteau de graines de moutarde a été utilisé dans la deuxième partie de ce travail dans l'enrichissement de la mayonnaise. Les paramètres physicochimiques de cette dernière ont été évalués et les résultats sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau VIII : paramètres physicochimiques de la mayonnaise.

Les tests	pH	Viscosité (Ps.s)	Acidité (g/l)	Consistance (cm/30s)	Teneur en sel (%)	Densité (g/cm ³)	Extrait sec (%)
Mayonnaise non enrichie	3,7±0,25	73,12±0,24	0,4±0,1	0,6±0,1	1,57±0,2	0,96±0,01	77±2,5
Mayonnaise enrichie	3,57 ± 0,06	75,73 ± 0,27	0,46 ± 0,05	0,5 ± 0,1	1,49 ± 0,11	0,955±0,007	75,86 ± 0,81

En générale les résultats de la mayonnaise enrichie ont été proches aux résultats de l'analyse de la mayonnaise industrielle de Cevital.

Les résultats obtenus ont montré que la mayonnaise enrichie a un pH acide (3,57 ± 0,06). Cette faible acidité est due au vinaigre et au jus de citron rajoutés pour leur saveur et qui aident aussi à stabiliser l'émulsion. La faible valeur de pH empêche la croissance bactérienne ce qui favorise la conservation de la mayonnaise enrichie. Ce résultat répond aux exigences de l'entreprise et proche de celui obtenu par **Gaikwad et al. (2017)** qui est de 3,84 ± 0,05.

La viscosité joue un rôle très important dans la stabilité et texturalité de produit alimentaire, ce paramètre est lié à la composition de la mayonnaise enrichie (ingrédients), le procédé de fabrication (la technique de mélange) et la température de conservation. La viscosité de la mayonnaise enrichie est de 75,73 ± 0,27 Ps.s. Cette valeur est conforme aux normes de l'entreprise Cevital.

L'acidité est la caractéristique intrinsèque la plus importante de la mayonnaise enrichie pour déterminer la croissance et la survie des bactéries pathogènes (**Tavakoli et al., 2020**). Elle a une influence sur le goût, la conservation, la stabilité et la saveur du produit, elle dépend principalement de la recette.

L'échantillon de la mayonnaise enrichie analysé montre une acidité de $0,46 \pm 0,05$ g/l. Le résultat est conforme aux normes de l'entreprise. **Gaikwad et al (2017)** ont révélé une acidité de $0,66 \pm 0,08$ g/l qui est plus grande que notre résultat, cela est probablement dû à la quantité de vinaigre et de jus de citron rajoutée

La consistance est liée à la composition en matières grasses, l'émulsifiant (jaune d'œuf), la température et la méthode de mélange des ingrédients. Tous ces facteurs ont une influence sur la texture et la consistance de la mayonnaise enrichie. Là, le résultat de l'échantillon de la mayonnaise enrichie analysée a révélé une valeur de consistance de $0,5 \pm 0,1$ (cm/30s). Le résultat obtenu est conforme aux normes de l'entreprise Cevital ou elle exige une consistance ≤ 2 .

Une bonne teneur en sel ralentit l'activité des microorganismes ce qui augmente la durée de conservation du produit, le sel est utilisé en dose précise selon le poids du produit car une forte dose peut causer une hypertension et des maladies cardiovasculaire. L'échantillon analysé présente une teneur en sel de $1,49 \pm 0,11$ (%). Les résultats sont conformes aux normes de l'entreprise et aux ceux de **Khoshtinate et al. (2021)**.

La densité est influencée par les ingrédients utilisés et la texture spécifique de la mayonnaise enrichie. La densité de la mayonnaise étudiée est de $0,955 \pm 0,007$. Ce résultat est conforme aux normes de l'entreprise Cevital où ils exigent une densité de $0,96 (\pm 0,001)$.

La teneur en matière sèche de l'échantillon analysé indique une valeur de $75,86 \pm 0,81\%$. Un extrait sec plus élevé veut dire probablement une mayonnaise enrichie riche et plus épaisse, le résultat obtenu répond aux exigences de l'entreprise et moins que les résultats obtenus par **Wendin et al. (1997)** qui ont trouvé une valeur de 82%, cette différence est probablement dûe à la quantité des ingrédients utilisés.

2.2. Résultats des analyses microbiologique

Nous sommes référés à l'arrêté interministériel 4 OCTOBRE 2016 fixant les critères microbiologiques des denrées alimentaires (N° 39) afin de réaliser les analyses microbiologiques de la mayonnaise.

Le tableau ci-dessous résume l'ensemble des résultats de l'analyse microbiologique effectuée sur les 3 échantillons de la mayonnaise enrichie.

III-Résultats et Discussion

Tableau IX : Analyse microbiologique effectuée pour le produit fini référés a l'arrêté interministériel

Paramètres	Seuil d'acceptation		Unité	Ech 1	Ech 2	Ech 3
	m	M				
<i>Escherichia coli</i>	4	40	Ufc /g	00	00	00
Levures	10	10 ²	Ufc /g	00	00	00
Moisissure	10	10 ²	Ufc /g	00	00	00
Staphylocoque	10	10 ²	Ufc /g	00	00	00
Salmonella	Absence		Ufc /25g	Absence	Absence	Absence

m : représente la limite des concentrations de micro-organismes correspondant à une hygiène satisfaisante des procédés considérés, exprimée en nombre d'ufc par g ou ml ou cm².

M : représente la limite des concentrations correspondant à une hygiène insatisfaisante, généralement exprimée en nombre d'ufc par g ou ml ou cm².

Les résultats présentés dans le tableau IX montrent l'absence totale des champignons de type levure et moisissure, nous avons enregistré aussi l'absence totale des germes pathogènes (*Staphylococcus* coagulase positive, *Escherichia coli* et *Salmonella*) témoignant d'un bon niveau d'hygiène pendant la préparation de la mayonnaise, ceci confirme également l'activité antimicrobienne du tourteau de moutarde et de la moutarde de Dijon rajoutée.

L'interprétation de ces résultats se fait selon les normes fixées par le **journal officiel Algérien n°39 4 OCTOBRE 2016** fixant les critères microbiologiques des denrées alimentaires, nous concluons donc que nos résultats sont satisfaisants ce qui signifie que notre produit est d'une bonne qualité microbiologique.

Les analyses microbiologiques de la mayonnaise enrichie mettent en évidence l'absence complète de flores bactériennes. Cela prouve l'état hygiénique durant la préparation, le pouvoir antibactérienne de la moutarde de Dijon et du tourteau de moutarde contre plusieurs pathogènes d'origine alimentaire. Allyle isothiocyanate est un composant de la moutarde Dijon précieux pour l'industrie alimentaire, où il a trouvé une application en tant que composant antimicrobien pour prévenir la détérioration des aliments causée par la contamination par des bactéries et des champignons (**Maruthupandy et Seo, 2019**).

3. Analyse sensorielle de la mayonnaise

3.1. Caractérisation de produit

Les intensités de l'arrière-gout et l'odeur sont les caractéristiques qui varient le plus entre les échantillons (pouvoir discriminant le plus élevé), suivi de la couleur légèrement moins élevée par rapport au deux précédents.

L'intensité du goût salé et la consistance ont un pouvoir discriminant moyennement faible. Par contre, l'intensité du goût acide et de l'arôme ont le pouvoir discriminant le plus faible car leurs intensités ne varient pas significativement entre les échantillons (Figure 06).

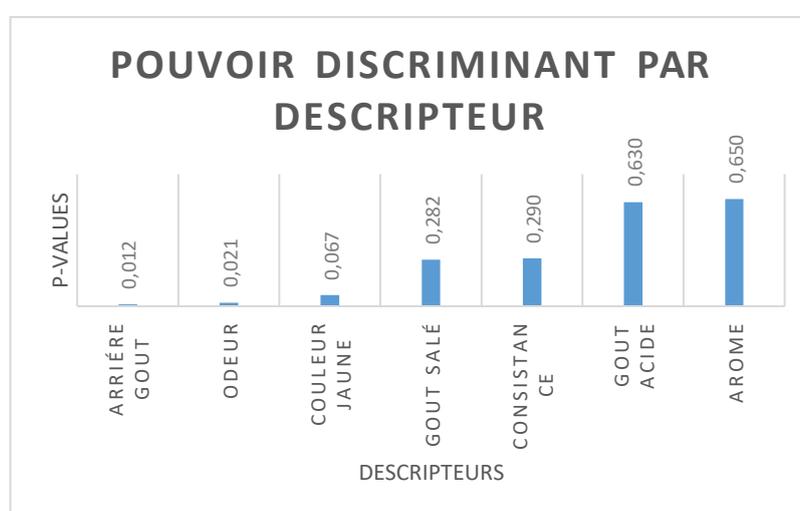


Figure 06 : Pouvoir discriminant par descripteur pour les mayonnaises.

3.2. Moyennes ajustées par produit

Les moyennes ajustées calculées à partir du modèle pour chaque combinaison descripteur-produit sont définies dans le but de ce test. Le tableau suivant met en évidence les moyennes lorsque les différents produits et caractéristiques sont croisés. Les moyennes bleues sont celles qui sont significativement supérieures à la moyenne globale, tandis que les moyennes rouges sont celles qui sont significativement inférieures à la moyenne globale.

Tableau X: Moyennes ajustées par produit pour les mayonnaises.

	Gout acide	odeur	Couleur jaune	Arrière-gout	gout salé	arome	consistance
Echant C	3,500	3,300	1,500	2,900	2,800	3,200	3,300
Echant B	3,400	3,100	1,400	3,000	2,400	3,400	3,600
Echant A	3,200	2,700	1,100	2,300	2,300	3,100	3,600

L'échantillon C (enrichi à 5%) : est caractérisé par une odeur et une acidité forte, une faible couleur jaune les autres caractéristiques sont d'une intensité moyenne.

L'échantillon B (enrichi à 3%) : est caractérisé par un arôme et une consistance légèrement forte, faible couleur jaune. Les autres caractéristiques sont d'une intensité moyenne.

L'échantillon A (mayonnaise non enrichie) : est caractérisé par une faible intensité de couleur jaune, odeur, arrière-gout, la consistance est légèrement forte les autres paramètres sont d'une intensité moyenne.

3.3. Analyse en composante principale (ACP)

Dès lors que l'on dispose d'un tableau de données quantitatives (continues ou discrètes), l'ACP est l'une des méthodes les plus couramment utilisées pour analyser des données multi variées. Dans ce tableau, les observations (individus, produits,...) sont décrites par variable (caractéristiques, mesures,...) (Jolliffe, 2002). D'après la figure suivante, toutes les caractéristiques sont en corrélation.

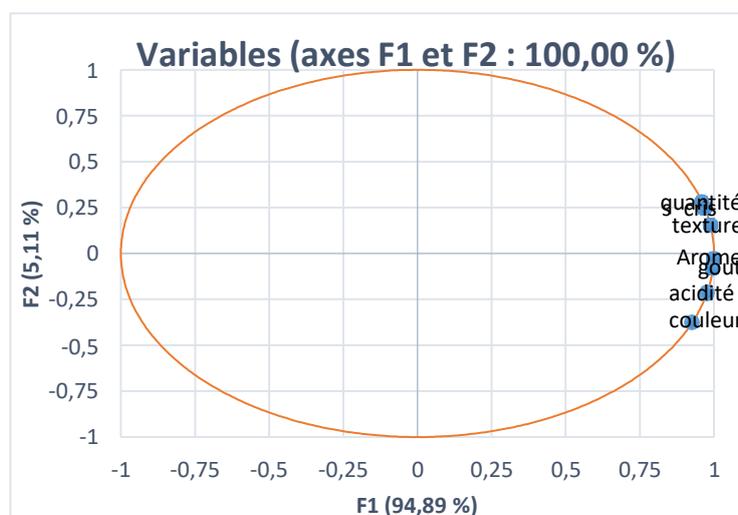


Figure 07 : Analyse par l'ACP des mayonnaises.

3.4. Carte de préférence

D’après la figure et le tableau précédent et la carte PREFMAP on déduit que l’échantillon B qui est caractérisé essentiellement par sa consistance moyenne et l’intensité de l’arôme élevée est plus apprécié par les juges (100%) suivie de l’échantillon A qui est caractérisé par sa forte consistance est appréciée par les juges (80%). L’échantillon C n’est pas apprécié par les juges cela est dû à son odeur et acidité fortement élevée.

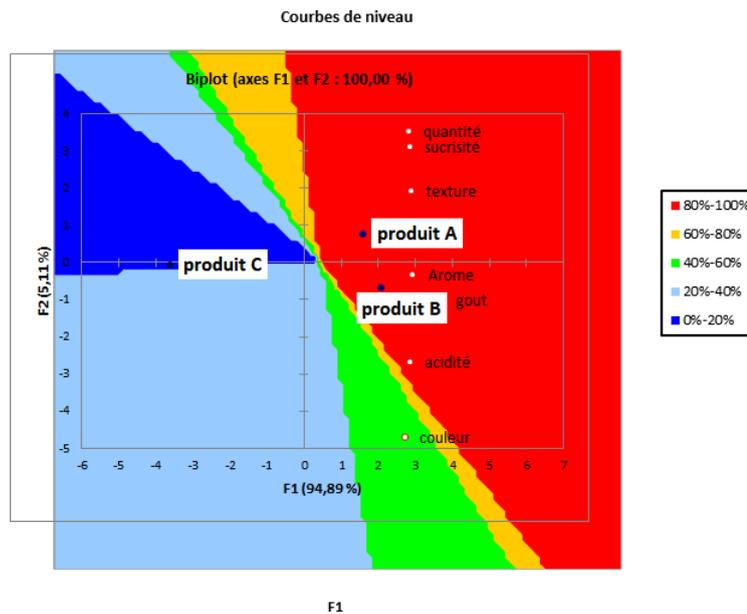


Figure 08 : Carte PREFMAP pour les échantillons de tourteau de moutarde.

Tableau XI : Pourcentage de juges satisfaits pour chaque objet.

Objet	%
produit A	80%
Produit B 3%	100%
Produit C 5%	0%

Conclusion

Conclusion

L'ajout de sous-produits de moutarde (tourteau de moutarde) à la mayonnaise est une initiative innovante dans le domaine de l'alimentation moderne. La réduction des déchets n'est pas le seul avantage de cette pratique, elle présente également des bénéfices importants en matière de nutrition.

L'objectif de cette étude était de mettre en valeur la valorisation du tourteau de moutarde (obtenu après déshuilage des graines) en examinant ses diverses caractéristiques et en envisageant son utilisation comme additif alimentaire (épaississant) dans l'enrichissement d'une sauce alimentaire (mayonnaise traditionnelle).

Les résultats obtenus suite aux analyses physicochimiques, phytochimiques et l'évaluation de l'activité antioxydante de tourteau ont démontré une faible teneur en eau ($9,50 \pm 0,62\%$) se qui ralenti l'activité microbienne et le développement des moisissures, la richesse du tourteau de moutarde en protéines estimées à $33,27 \pm 1,98\%$, une teneur importante en composés bioactifs ($10,17 \pm 0,60$ mg EAG/g de MS pour les polyphénols totaux et $3,16 \pm 0,90$ mg EQ/g de MS pour les flavonoïdes) et un pouvoir antioxydant appréciable (IC_{50s} de 1,35mg/ml, 0,93mg/ml pour les tests au DPPH et phosphomolybdate, respectivement),

Une analyse physico-chimique sur la mayonnaise enrichie par le tourteau pour déterminer les paramètres qui influence le produit (pH, acidité, viscosité, consistance, densité, teneur en sel et extrait sec) a indiqué un pH acide ($3,57 \pm 0,07$), une teneur en sel de $1,49 \pm 0,11\%$ et une consistance de $0,5 \pm 0,1$ cm/30 s. Les analyses microbiologiques ont montré l'absence complète des germes mentionnés par la réglementation algérienne (levure et moisissure, *Staphylococcus* coagulase positive, *Escherichia coli* et Salmonella), donc un produit sain et prêt pour la consommation.

L'analyse sensorielle des échantillons A non enrichie, B et C enrichis par , 3%, 5% du tourteau de moutarde respectivement, a révélé des préférences distinctes chez les juges en fonction de leurs caractéristiques sensorielles. L'échantillon B caractérisé par un arôme et une consistance légèrement forte, faible couleur jaune a été largement préféré, ce qui suggère que l'arôme et la consistance sont importants du point de vue des dégustateurs.

À l'inverse des échantillons C caractérisé par sa forte odeur et acidité qui a suscité une réaction moins favorable. Ces résultats soulignent l'importance cruciale du dosage de tourteau de moutarde.

Ces nouvelles connaissances pourraient ouvrir de nouvelles perspectives. Il serait donc crucial de poursuivre les recherches et de mener des études plus approfondies sur les propriétés du tourteau de moutarde afin de développer de nouvelles possibilités pour l'utilisation de ce sous-produit dans des applications alimentaires et non alimentaires tels que :

- ✓ Réaliser d'autres recherches sur l'éventuelle utilisation du tourteau de moutarde seul ou en mixture avec d'autres substances hydrocolloïdes dans d'autres produits pour améliorer leurs propriétés fonctionnelles.
- ✓ Réaliser des études nutritionnelles sur le tourteau de moutarde pour leur utilisation ultérieure en thérapeutique, en industrie pharmaceutique et cosmétique.
- ✓ Effectuer des recherches sur son utilisation dans l'agriculture autant qu'engrais organique et pesticide naturel.

Références bibliographiques

- Aganovic, K., Bindrich, U., & Heinz, V. (2018).** Ultra-high pressure homogenisation process for production of reduced fat mayonnaise with similar rheological characteristics as its full fat counterpart. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45, 208–214. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.10.013>
- Agnihotri, A., & Premi, B. R. (2007).** Utilization of mustard by-products in biotechnological applications. *Bioresource Technology*, 98(9), 1915-1921. doi:10.1016/j.biortech.2006.06.018
- Asokapandian, S., Venkatachalam, S., Swamy, G. J., & Kuppusamy, K. (2016).** Optimization of Foaming Properties and Foam Mat Drying of Muskmelon Using Soy Protein. *Journal of Food Process Engineering*, 39(6), 692–701.
- Banerjee, A., Ganguly, S., Chatterjee, N., & Dhar, P. (2003).** *Food Chemistry Advances*.
- Barbosa-Cánovas, G. V., Málave-López, J., & Peleg, M. (1987).** Density and compressibility of selected food powders mixture. *Journal of Food Process Engineering*, 10, 1–19.
- CANOVAS, G. V. B., Malave-Lopez, J. O. S. E., & Peleg, M. I. C. H. A. (1987).** Density and Compressibility of Selected Food Powders Mixtures 1. *Journal of Food Process Engineering*, 10(1), 1-19.
- Chowdhury, M.F.N., Ahmed, K.U, Nuruddin, M.M. and Hosen, M. (2010).** Study on fatty acid composition, oil and protein of different varieties and advanced lines of mustard and rapeseeds. *Bangladesh Res. Pub. J.*, 4(1): 7.
- Damien, C. (2014).** Propriétés physiques des graines de moutarde (*Sinapis alba* L.).
- Dedebas, T., & Cebi, N. (2024).** Investigation of the Effect of Different Seed Flours on Gluten-Free Products: Baton Cake Production, Characterization, and TOPSIS Application. *Foods*, 13(6), 964.
- Efrem, M., Negussie, R., Sekwati-Monang, B., Kobue-Lekalake, R., Selebatso, T., Setlalekgomo, M., & Haki, G. (2022).** Effect of Germination on Polyphenol Contents and Antioxidant Activity in Mustard Seeds (*Brassica nigra*) Grown in Ethiopia. *Int. J. Pharm. Sci. Res.*, 13, 4087-4092.
- Elewa, M., El-Saady, G., Ibrahim, K., Tawfek, M., & Elhossieny, H. (2020).** A novel method for brix measuring in raw sugar solution. *Egyptian Sugar Journal*, 15, 69-86.
- Fahey, J. W., Zalcmann, A. T., & Talalay, P. (2001).** The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. *Phytochemistry*, 56(1), 5-51.

Harrison, L. J., & Cunningham, F. E. (1985). Factors influencing the quality of mayonnaise: a review. *Journal of food quality*, 8(1), 1-20.

Hébert, M., Mhemdi, H. et Vorobiev, E. (2020). Récupération sélective et écologique des glucosinolates des graines de moutarde (*Brassica juncea*) grâce à l'optimisation des procédés et à un prétraitement innovant (décharges électriques haute tension). *Transformation des aliments et des bioproduit*, 124, 11-23.

Heggset, E. B., Aaen, R., Veslum, T., Henriksson, M., Simon, S., & Syverud, K. (2020). Cellulose nanofibrils as rheology modifier in mayonnaise—A pilot scale demonstration. *Food Hydrocolloids*, 108, 106084.

Jolliffe, I. T. (2002). *Principal component analysis for special types of data* (pp. 338-372). Springer New York.

Kasote, D. M., et al. (2015). "Phenolic compounds, antioxidant activity, and oil composition of mustard seeds." *Food Chemistry*, 169, 396-402. doi:10.1016/j.foodchem.2014.07.11

Kaur, A., & Kapoor, A. C. (2016). Mustard Seed: Composition, Nutritional Value and Phytochemical Properties. In *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention* (pp. 325-331). Academic Press.

Kaur, M., Singh, B., Kaur, A., & Singh, N. (2021). Proximate, mineral, amino acid composition, phenolic profile, antioxidant and functional properties of oilseed cakes. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(12), 6732-6741.

Khoshtinat, K., Koohy-Kamaly, P., Komeili-Fanoodeh, R., Sohrabvandi, S., Tabashy, R.H., Mohammadi, M., ... et Vosoughi, Z. (2021). Etude comparative des teneurs en sel, matières grasses totales et sucre de la mayonnaise et des vinaigrettes du marché iranien. *Journal de la santé de la Méditerranée orientale*, 27 (5), 452-458.

Kones (2001). Fabrication artisanale de la mayonnaise. Infogate.

Kushwaha, R., & Mishra, A. K. (2020). Physico-chemical and functional properties of mustard cake. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(4), 1124-1128.

Lietzow, J. (2021). Biologically active compounds in mustard seeds: A toxicological perspective. *Foods*, 10(9), 2089.

LYNCH, M. J. and GRIFFIN, W. C. (1974). Food emulsions. In *Emulsions and Emulsion Technology, Part I*, (K. Lissant, ed). Marcel Dekker, Inc. New York.

Malaviya, R., & Yadav, N. (2022). Exploring nutritional and functional properties of different varieties of sesame seed cakes: an industrial by-product. *Plant Archives* (09725210), 22(1).

Maruthupandy, M. et Seo, J. (2019). Halloysite encapsulée dans de l'isothiocyanate d'allyle recouverte de polyacrylate comme agent antibactérien potentiel contre les bactéries d'altération des aliments. *Science et génie des matériaux: C*, 105, 110016.

Maruyama, K., Sakashita, T., Hagura, Y., & Suzuki, K. (2007). Relationship between rheology, particle size and texture of mayonnaise. *Food Science and Technology Research*, 13(1), 1-6.

Mayengbam, S., Achary, A. et Thiyam-Holländer, U. (2014). Phénoliques endogènes dans les coques et les cotylédons de moutarde et de canola : une étude comparative sur ses sinapates et leur capacité antioxydante. *Antioxydants*, 3 (3), 544-558.

M'be, C. (2022). Procédés de production et influence des propriétés fonctionnelles des poudres de calices d'Hibiscus sabdariffa et de leurs fractions sur la formulation de boisson (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).

MEHRA, K.L. (1968). Histoire et éthiobotanique de la moutarde en Inde. *Av. Devant. PL. Sci.* 19 : 57.

Mirzanajafi-Zanjani, M., Yousefi, M., & Ehsani, A. (2019). Challenges and approaches for production of a healthy and functional mayonnaise sauce. *Food science & nutrition*, 7(8), 2471-2484.

Morley, L. (2016). Troubling intra-actions: gender, neo-liberalism and research in the global academy. *Journal of Education Policy*, 31(1), 28-45.

Nacz, M., & Shahidi, F. (2004). Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of Chromatography A*, 1054(1-2), 95-111. doi:10.1016/j.chroma.2004.08.059

Nacz, M., & Shahidi, F. (2004). Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of Chromatography A*, 1054(1-2), 95-111. doi:10.1016/j.chroma.2004.08.059

Pandey, A., Verma, P., & Sharma, A. (2019). Functional and nutritional characterization of mustard seed cake: Influence of processing methods. *Journal of Food Science and Technology*, 56(1), 348-358.

PARRY, J.W. (1969). - Vol. I et II. Chemical Publishing Company, INC, New York. pp. 199-200 (Vol. I) et pp. 82-6 (Vol. 2).

Patel, P. K., Sahu, B., Nanda, S., Acharya, P., Kumar, D., Lavkush, L., & Venkatesh, K. (2024). To Standardise Parameters for Preparation of Extruded Feed Using Various Conventional and Non-Conventional Ingredients. *UTTAR PRADESH JOURNAL OF ZOOLOGY*, 45(8), 121-135.

Peter, K., V. (2004). Manuel des herbes et des épices : Volume 2 (Woodhead Publishing Seri.

Poonam Papola, P. P., Punetha, H., & Om Prakash, O. P. (2017). Antioxidative potential of defatted meal from exotic collections of Indian mustard (*Brassica juncea*).

Prapakornwiriya, N. and Diosady, L.L. (2004). Isolation of yellow mustard proteins by a microfiltration-based process. *Int. J. Appl. Sci. Eng.*, 2(2): 127–135.

Rahman M, Khatun A, Liu L, Barkla BJ (2018). Moutardes Brassicaceae : utilisations traditionnelles et agronomiques en Australie et en Nouvelle-Zélande. *Molécules* 23:231.

Rani, R., & Badwaik, L. S. (2021). Functional properties of oilseed cakes and defatted meals of mustard, soybean and flaxseed. *Waste and Biomass Valorization*, 1-9.

Rodríguez-Miranda, J., Hernández-Santos, B., Herman-Lara, E., Vivar-Vera, M.A., Carmona-García, R., Gómez-Aldapa, C.A., Martínez-Sánchez, C.E. (2012). Physicochemical and functional properties of whole and defatted meals from Mexican (*Cucurbita pepo*) pumpkin seeds. *Int. J. Food Sci. Technol.* 47(11), 2297–2303

Roller, S., & Covill, N. (2000). The antimicrobial properties of chitosan in mayonnaise and mayonnaise-based shrimp salads. *Journal of Food Protection*, 63(2), 202-209.

Singh, R., et al. (2023). "Chemical Composition and Nutritional Value of Mustard Seed Meal: Implications for Livestock Feed and Soil Fertility." *Food Chemistry*.

Smittle, R. B. (1977). Microbiology of mayonnaise and salad dressing: a review. *Journal of Food Protection*, 40(6), 415-422.

Tainter, DR et Grenis, AT (2001). Épices et assaisonnements : un manuel de technologie alimentaire . John Wiley et fils.

Tavakoli, R., Karami, M., Bahrami, S., & Emamifar, A. (2021). Feasibility of Preservative-free Mayonnaise Production by Ultrasonication: Evaluation of Physicochemical and Sensorial Properties of the Product During the Shelf Life. *Journal of Innovatives of Food Technology Thomson*, P. 1971. The carob in California. *California Rare Fruit Growers Yearbook III*:61-102

Thilakarathne, R. C. N., Madushanka, G. D. M. P., & Navaratne, S. B. (2018). Comparison of physico-chemical properties of Indian and Ethiopian origin Black cumin (*Nigella sativa*) seed cake.

UHL, S.R. (2000). Manuel des épices, assaisonnements et arômes. Édition Technomique Co., Inc, Lancaster, pages 132-6.

Wendin, K., Aaby, K., Edris, A., Ellekjaer, MR, Albin, R., Bergenståhl, B., ... et Solheim, R. (1997). Mayonnaise faible en gras : influences de la teneur en matières grasses, des composés aromatiques et des épaississants. *Hydrocolloïdes alimentaires*, 11 (1), 87-99.

Xiong, R., Xie, G., & Edmondson, A. S. (2000). Modelling the pH of mayonnaise by the ratio of egg to vinegar. *Food Control*, 11(1), 49-56.

Youssef, MKE, El-Newihi, AM, Omar, SM et Ahmed, ZS (2014). Évaluation de la composition chimique immédiate, de l'état nutritionnel, de la composition en acides gras et des antioxydants de la curcumine (Zingiberaceae) et des poudres de graines de moutarde (Brassicaceae).

Zhang, Y., et al. (2021) "Glucosinolates and Their Hydrolysis Products in Brassica Vegetables: Bioactivity and Health Benefits." *Foods*.

ANNEXE : présentation de l'organisme Cevital

L'organisme CEVITAL a été créé en mai 1998. Il s'agit d'une entreprise à capital privé d'un montant de 68760 milliards de DA .Elle couvre une superficie de 45 000 m2 dans la ville de Béjaïa. CEVITAL est l'un des principaux acteurs de l'industrie agroalimentaire en Algérie, composé de plusieurs unités de production équipées de la technologie la plus récente et en plein développement, avec différents projets en cours de réalisation. La qualité de ses produits et sa compétitivité ont permis à CEVITAL de se positionner en tant que leader sur le marché national et de viser le marché d'exportation (**Anonyme, 2024**). La priorité de l'entreprise est de satisfaire les clients afin d'obtenir une part importante du marché. Afin d'attirer l'attention du consommateur, elle s'efforce de garantir une qualité de produits élevée, ce qui se manifeste par l'application de la certification ISO 22000 version 2005, et en équipant tous les laboratoires de chaque unité de production d'outils d'analyse très performants, ainsi qu'en utilisant le meilleur conditionnement des produits (**Anonyme, 2024**).



ANNEXE : matériel utilisé pour l'analyse de tourteau.



Étuve de laboratoire



Fourre à moufle



Cuve thermostatée



Cendre de tourteau

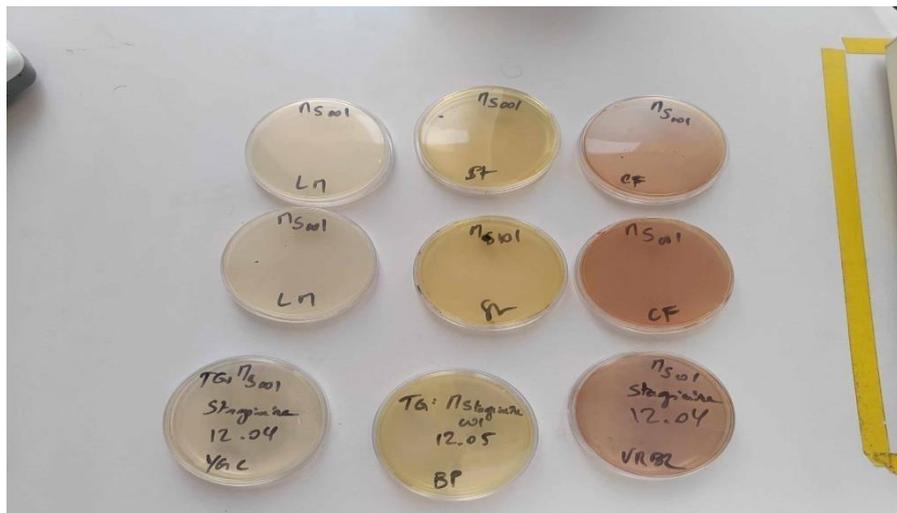


Spectrophotomètre



Capacité de gonflement

ANNEXE : résultats des analyses micro de la mayonnaise.



ANNEXE : matériel utilisé pour l'analyse de la mayonnaise



Dessiccateur



pH mètre



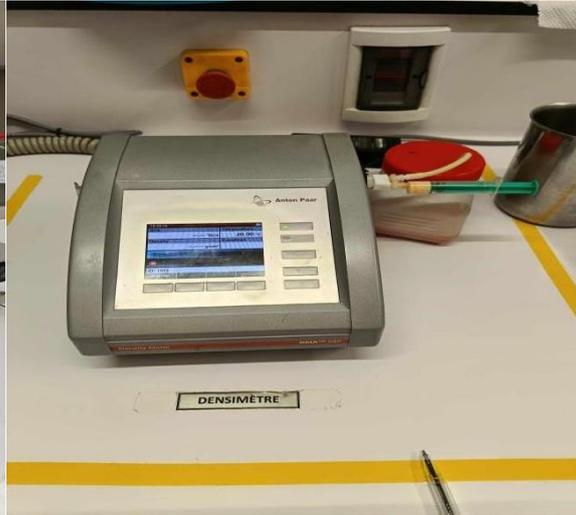
Réfractomètre



Viscosimètre



Titrage



Densimètre



Bostwick

ANNEXE : Fiche d'analyse sensorielle de la mayonnaise

Cinq échantillons de mayonnaise codés A1, A2, A3 sont présentés, il vous est demandé de les goûter et d'attribuer une note E 1 à 5 pour chaque échantillon selon l'échelle présentée ci-dessous :

1) Intensité de la couleur jaune ou beige :

1. Jaune très claire
2. Jaune claire
3. Jaune moyenne
4. Jaune foncée
5. Jaune très foncée

A1	A2	A3
1	2	2

2) L'intensité de l'odeur (flairer seulement) :

1. Très faible
2. Faible
3. Moyenne
4. Forte
5. Très forte

A1	A2	A3
3	3	3

3) L'intensité de l'arôme (sensation en bouche) :

1. Très faible
2. Faible
3. Moyenne
4. Forte
5. Très forte

A1	A2	A3
3	4	5

4) Le gout salé :

1. Très faiblement intense
2. Faiblement intense
3. Moyennement intense
4. Intense
5. Fortement intense

A1	A2	A3
3	2	3

5) le gout acide :

1. Très faiblement intense
2. Faiblement intense
3. Moyennement intense
4. Intense
5. Fortement intense

A1	A2	A3
3	2	3

6) Arrière-gout

1. Très faiblement intense
2. Faiblement intense
3. Moyennement intense
4. Intense
5. Fortement intense

A1	A2	A3
1	1	1

7) consistance de la mayonnaise :

1. Très faible
2. Faible
3. Moyenne
4. Forte
5. Très forte

A1	A2	A3
3	3	3

8) Appréciation globale :

Attribuer une globale de 1 à 9 pour chaque échantillon, sachant que :

- 1 correspond à l'échantillon le moins préféré
- 9 au plus préféré

Echantillon	A1	A2	A3
Note	7	8	9

Résumé

Le présent travail a été entrepris au sein du complexe agroalimentaire Cevital dans le but d'une valorisation de sous-produit de la moutarde (tourteau de moutarde) et son incorporation dans la technologie de fabrication d'une mayonnaise traditionnelle. Les analyses effectuées sur le tourteau de moutarde extrait de procès de fabrication de la moutarde de Dijon après déshuilage de la graine ont montré sa richesse en protéine (33,27%) par rapport à d'autres constituants, en composés phénoliques et aussi son antioxydant intéressant. Les résultats d'analyses physicochimique, des échantillons de la mayonnaise enrichis par le tourteau de moutarde ont révélé un pH de $3,57 \pm 0,07$, une teneur en sel de $1,49 \pm 0,11$ et une consistance de $0,5 \pm 0,1$. L'analyse microbiologique a montré l'absence des flores pathogènes et sa conformité aux normes interne de l'entreprise. L'analyse sensorielle montre que les paramètres rhéologiques répondent aux exigences du consommateur et la mayonnaise préférée par les juges étant celle enrichie par 3% du tourteau. Pour conclure, le tourteau de moutarde peut être utilisé comme un antioxydant naturel, agent de conservation pour une meilleure stabilité de la mayonnaise.

Mots clés : Tourteau de moutarde ; mayonnaise, antioxydant, analyses physicochimique, analyses microbiologiques ; analyses sensorielles.

Abstract

This work was undertaken within the Cevital agri-food complex with the aim of valorizing mustard by-product (mustard cake) and its incorporation into the manufacturing technology of traditional mayonnaise. The analyzes carried out on the mustard cake extracted from the Dijon mustard manufacturing process after de-oiling the seed showed its richness in protein (33.27%) compared to other constituents, in phenolic compounds and also its power. interesting antioxidant power. The results of physicochemical analyses, samples of the mayonnaise enriched with mustard cake revealed a pH of 3.57 ± 0.07 , a salt content of 1.49 ± 0.11 and a consistency of 0.5 ± 0.1 . The microbiological analysis showed the absence of pathogenic flora and its compliance with the company's internal standards. The sensory analysis shows that the rheological parameters meet the consumer's requirements and the mayonnaise preferred by the judges being the one enriched with 3% of the mustard cake.

To conclude, mustard cake can be used as a natural antioxidant, preservative for better stability some mayonnaise.

Keywords: Mustard cake; mayonnaise, antioxidant, physicochemical analyses, microbiological analyses; sensory analyzes.