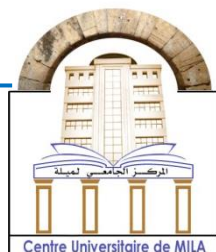


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N° Ref :

Centre Universitaire Abdelhafid BOUSSOUF- Mila

Institut des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biotechnologie

**Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de
Master**

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Biotechnologie végétale

Thème :

**Production des compléments alimentaires a base des
sources végétaux**

Présenté par :

- BOUKEDJANI Anissa
- LEB CIR Ikram
- BOUCHELAGHEM Fatma

Devant le jury :

BELATTAR Hakima

TORCHE Yacine

BOUSMID Ahlem

BENMAKHOUL Zoubida

DAOUDI Hamza

CHEKROUD Karim

Présidente

Examinateur

Promotrice

Co-Promotrice

Promotrice de l'incubateur

Expert de l'incubateur

Année Universitaire : 2024/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

*Avant toutes choses, je remercie **Allah**, le tout puissant, pour m'avoir donnée la force, volonté, la santé et la patience pour réaliser ce travail.*

*Nous tenons à exprimer nos reconnaissances profondes à Madame **BOUSMID Ahlem**, notre encadrante principale, pour son soutien constant, sa disponibilité précieuse, et ses conseils éclairés tout au long de ce mémoire. Sa bienveillance et sa rigueur ont été pour nous une véritable source de motivation.*

*Nos remerciements les plus sincères vont également à Madame **BENMEKHLOUF Zoubida**, co-encadrante, pour son accompagnement attentionné, son appui généreux, et ses observations constructives qui ont largement contribué à la qualité de ce travail.*

*Nous sommes profondément reconnaissantes à Madame **BELATTAR Hakima**, présidente du jury, pour sa rigueur, sa disponibilité, et l'intérêt qu'elle a porté à notre travail.*

*Nous remercions chaleureusement Monsieur **TOURCHE Yacine**, pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant de faire partie du jury, et pour la richesse de ses remarques et ses encouragements bienveillants.*

Enfin, nous remercions sincèrement tous nos enseignants du Centre Universitaire de Mila, en particulier ceux du département des Sciences de la Nature et de la Vie, pour leur présence constante, leur soutien et leurs conseils tout au long de notre formation.

.

..

Dédicace

À nos parents, frères , sœur et tout la famille pour leur amour inconditionnel, leur soutien constant et leurs sacrifices pour que je puisse atteindre ce moment crucial de ma vie.

À nos amies , dont la précieuse aide, les conseils avisés et la présence encourageante ont été des piliers essentiels tout au long de ce parcours académique.

À nos collègues, dont le partage d'expérience, les discussions stimulantes et la camaraderie ont enrichi mon expérience éducative de manière inestimable.

Ensemble, nous avons grandi et appris.

Ce mémoire est dédié à tous ceux qui ont contribué à mon succès, et à tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont été une part importante de ce voyage vers la réussite.

Résumé

Ce mémoire s'intéresse à la possibilité de formuler des **compléments alimentaires naturels** à partir de trois **plantes médicinales** reconnues pour leurs propriétés **nutritionnelles et thérapeutiques** : le **gingembre** (*Zingiber officinale*), le **curcuma** (*Curcuma longa*) et le **clou de girofle** (*Syzygium aromaticum*). Les matières végétales ont été **séchées, concassées puis réduites en poudre fine**, avant d'être soumises à une série d'**analyses physico-chimiques** afin d'évaluer leur **potentiel en tant qu'ingrédients actifs** dans la formulation de compléments alimentaires.

Les résultats ont révélé une **teneur élevée en composés bioactifs**, notamment en **phénols et huiles essentielles**, leur conférant des **propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires** remarquables. Cette étude met en lumière l'intérêt de **valoriser les ressources végétales locales** pour la **conception de suppléments nutritionnels** sûrs, naturels et efficaces, répondant à des besoins de santé actuels tout en promouvant un développement durable.

Mots-clés : Compléments alimentaires, plantes médicinales, gingembre, curcuma, clou de girofle, composés bioactifs, antioxydants, valorisation des ressources naturelles.

ملخص

يتناول هذا البحث إمكانية إنتاج مكملات غذائية طبيعية انطلاقًا من ثلاث نباتات طبية معروفة بخصائصها الغذائية والعلاجية، وهي: الزنجبيل (*Zingiber officinale*)، الكركم (*Curcuma longa*) والقرنفل (*Syzygium aromaticum*). تم تحويل هذه النباتات إلى مساحيق ناعمة بعد عمليات التجفيف والطحن، ثم خضعت لمجموعة من التحليلات الفيزيائية والكيميائية بهدف تقييم قيمتها المحتملة كمكوّنات نشطة في تركيبات المكملات الغذائية.

أظهرت النتائج احتواءها على نسب مهمة من المركبات الحيوية النشطة، مثل الفينولات والزيوت الأساسية، والتي تمنحها خصائص مضادة للأكسدة ومضادة للالتهابات. تسلط هذه الدراسة الضوء على أهمية تثمين النباتات المحلية واستغلالها في تطوير مكملات غذائية طبيعية وآمنة وفعالة، بما يساهم في تحسين الصحة العامة وتعزيز استخدام الموارد الطبيعية بطريقة مستدامة.

الكلمات المفتاحية: مكملات غذائية، نباتات طبية، زنجبيل، كركم، قرنفل، مركبات ثانوية، مضادات الأكسدة، تثمين الموارد الطبيعية.

Abstract

This thesis focuses on the potential to formulate natural dietary supplements using three medicinal plants known for their nutritional and therapeutic properties: **ginger (*Zingiber officinale*)**, **turmeric (*Curcuma longa*)**, and **clove (*Syzygium aromaticum*)**. The plant materials were dried, crushed, and ground into fine powders before undergoing a series of **physicochemical analyses** to assess their potential as active ingredients in supplement formulation.

The results revealed a high content of **bioactive compounds**, particularly **phenols and essential oils**, which confer notable **antioxidant and anti-inflammatory** properties. This study highlights the importance of valorizing **local plant resources** for the development of safe, natural, and effective nutritional supplements that address current health needs while promoting **sustainable development**.

Keywords: Dietary supplements, medicinal plants, ginger, turmeric, clove, bioactive compounds, antioxidants, valorization of natural resources.

.

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Résumé

ملخص

Abstract

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction 1

Partie 1 : Synthèse Bibliographique

Chapitre 1 : Généralités sur les compléments alimentaires

1. Définition 5

2. Classification des compléments alimentaires selon leur composition 5

2.1. Macronutriments..... 6

2.2. Micronutriments 7

3. composants des compléments alimentaires..... 7

3.1. Nutriments : vitamines, minéraux, et oligo-éléments..... 7

3.2. Substances à but nutritionnel ou physiologique 8

3.3. Plantes ou préparations de plantes..... 8

3.4. Les additifs, les arômes et les auxiliaires technologiques dont l'emploi est autorisé en
alimentation humaine 8

4. Formes galéniques..... 9

4.1. Les gélules 9

4.2. Les comprimés..... 9

4.3. Les flacons..... 10

4.4. Les capsules	10
4.5. Les sachets et sticks	11
4.6. Les gommes	11
4.7. Les ampoules	12
5. rôle des compléments alimentaires	12
6. Différence entre un complément alimentaire et un médicament.....	13
7. La fabrication des compléments alimentaires	14
7.1. La première étape :	15
7.2. La deuxième étape :	15
7.3. La troisième étape :	15
7.4. La quatrième étape :	15
8. Recommandations de consommation des compléments alimentaires.....	16
8.1. Détermination des besoins personnels:.....	17
8.2. Utilisation ciblée :	17
8.3. Les CA ne sont pas des substituts :	17
8.4. Dosage approprié :	17
8.5. Qualité et sécurité :	17
8.6. Surveillance médicale :	17
8.7. Éducation et sensibilisation :	17
9. Aspects réglementaire des Compléments Alimentaire.....	18
9.1. Réglementations mondiales	18
9.2. Réglementations algérienne.....	18
10. Marché des compléments alimentaires (marché mondial et le marché algérien)	19
10.1. Marché mondial	19
10.2. Marché algérien	20
11. profil des consommateurs de compléments alimentaires	21

11.1. Tranche d'âge	22
11.2. Genre	22
11.3. Niveau socio-économique	22
11.4. Motivations principales	22
11.5. Canaux d'approvisionnement	22

Chapitre 2 : Généralités sur les plantes

1. Gengember	25
1.1. Historique	25
1.2. Répartition géographique	25
1.3. Discription botanique	26
1.3.1. Partie active et souterraine:	26
1.3.2. Partie aérienne:.....	26
1.4. Classification botanique	28
1.5. Composition chimique.....	28
.1.6 Différents domaines d'utilisation du gingembre	30
.2 Curcuma	31
2.1. Historique	31
2.2. Répartition géographique	31
2.3. Description botanique.....	32
2.3.1. Partie souterraine:	32
2.3.2. Partie aérienne :.....	32
2.4. Classification botanique	34
2.5. Composition chimique.....	34
2.5.1. Fraction volatile	34
2.5.2. Fraction non volatile	35
2.5.2.1. Les polyphénols.....	35

2.5.2.2. Autres composants	36
2.6. Utilisation de curcuma.....	36
3. girofle	37
3.1. Historique	37
3.2. Répartition géographique	38
3.3. Description botanique de girofle	38
3.4. Classification botanique	41
3.5. Composition chimique du clou de girofle (<i>Syzygium aromaticum</i>)	41
3.6 Utilisation de clou de girofle	42

Chapitre 3 :_Matériels et Méthodes

Matériels et Méthodes	46
1. Matériel végétale	46
2. Méthodes utilisées	46
2.1. Préparation des poudres de plantes.....	46
2.2. Identification des principes actifs	48
2.2.1. Screening phytochimique:	52
2.2.2. Détection des composés phénoliques (Réaction au FeCl ₃)	52
2.2.3. Détection du flavonoïde (Réaction à la cyanidine).....	52
2.3. Evaluation des activités biologiques.....	54
2.4. analyses physico-chimiques	60
2.4.1. Teneur en eau(gravimétrie).....	60
2.4.2. Teneur en cendres (incinération/gravimétrie):	61
2.4.3. Teneur en protéines.....	61
2.4.4. Teneur en glucides	62
2.5 Analyses microbiologiques.....	62

Chapitre 4 : Résultats et discussion

Résultats et discussion	65
1. Résultat de Screening phytochimique	65
1.1. Flavonoïdes.....	66
1.2. Polyphénols	66
2. Evaluation des activités biologiques	66
2.1. Activité anti-oxydante	67
2.2. Activité anti-inflammatoire	68
2.3. Résultat et discussion d'activité antibactérienne	69
3. Analyse physico chimique et organoleptiques	71
3.1. Analyse physico chimique.....	71
3.1.1. Teneur en eau (17,12 %).....	72
3.1.2. Teneur en cendres (7,29 % sur matière sèche)	72
3.1.3. Teneur en glucides (83,82 %)	72
3.1.4. Teneur en protéines (5,01 %).....	72
3.2. Analyse organoleptique	73
3.2.1. Couleur jaunâtre.....	73
3.2.2. Goût épicé doux	73
3.2.3. Odeur parfumée, aromatique	73
4. Analyse microbiologique	73
4.1. <i>Escherichia coli</i>	74
4.2. <i>Anaérobies sulfito-réducteurs</i>	74
4.3. <i>Levures et moisissures</i>	74
4.4. <i>Staphylocoques à coagulase positive</i>	74
4.5. <i>Bacillus cereus</i>	74
4.6. <i>Salmonella</i>	75

Formulation et Fabrication	76
1. Conception et Formulation.....	76
2. Approvisionnement en Matières Premières	76
3. Production:	76
4. Conditionnement	76
5. Contrôle Final avant Commercialisation.....	77
Conclusion.....	79
Références	82

Liste des abréviations

°C: degré Celsius.

µg: microgramme.

µl: microlitre.

AET: Apports Énergétiques Totaux

ANSES: Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

CA : Complètement alimentaire

CMI : Concentration Minimale Inhibitrice.

DGCCRF : Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes

DMSO : Diméthylsulfoxyde.

DPPH : (2,2-diphényl 1-picrylhydrazyle) permet de mesurer l'efficacité de molécules antioxydantes.

DSHEA: Dietary Supplement Public Health Act

FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture).

FDA : Food and Drug Administration

GMH: gélose Mueller-Hinton.

IC50: Valeurs des concentrations inhibitrices.

ISO : Organisation internationale de normalisation

JORA : Journal officiel de la République Algérienne

Mg : milligramme.

Mm : millimètre.

nm : nanomètre.

OMS/WHO : Organisation mondiale de santé / World Health organization

λ : longueur d'onde.

Liste des figures

Figure 1 : Catégories d'ingrédients retrouvés dans les CA.....	8
Figure 2 : Complément alimentaire en forme de gélule.....	9
Figure 3 : Complément alimentaire en forme des comprimés	10
Figure 4 : Complément alimentaire en forme des flacons	10
Figure 5 : Complément alimentaire en forme des capsules	11
Figure 6 : Complément alimentaire en forme des sachets et sticks	11
Figure 7 : Complément alimentaire en forme des gommes	12
Figure 8 : Complément alimentaire en forme des ampoules.....	12
Figure 9 : Étapes de fabrication d'un complément alimentaire.	
Figure 10 : Le pourcentage des parts de marché des compléments alimentaires en Europe de l'Ouest par pays en 2008.....	20
Figure 11 : Répartition mondiale des plantes de la famille des Zingiberaceae.....	26
Figure 12 : <i>Zingiber officinale</i> Roscoe. A: La plante entière; B: et C: Le rhizome	27
Figure 13 : Structures des principaux constituants actifs du gingembre.....	29
Figure 14 : Répartition mondiale des plantes de curcuma	32
Figure 15 : Différents parties de <i>Curcuma longa</i> L.	33
Figure 16 : Structure chimique des principaux curcuminoides.....	35
Figure 17 : Carte géographique des principaux producteurs de clou de girofle au monde.....	38
Figure 18 : Allure d'un giroflier de Madagascar	39
Figure 19 : Feuilles de giroflier.....	39
Figure 20 : Boutons floraux et fleurs de giroflier	40
Figure 21 : Clous de girofle récolté avant et après le séchage	40
Figure 22 : Composé majeur de l'huile essentielle des clous de girofle.....	42
Figure 23 : Technique de séchage des plantes (original)	47
Figure 24 : Poudres des trois plantes végétales (original).....	48

Figure 25 : Méthode d'extraction de gengember par soxhlet	49
Figure 26 : Hydrodistillation par Clevenger	50
Figure 27 : Technique d'évaporation sous vide par évaporateur rotatif	51
Figure 28 : Détection des composés phénoliques	52
Figure 29 : Détection du flavonoïde _ test1	53
Figure 30 : Détection du flavonoïde_ test 2	54
Figure 31 : Repiquage des bactéries sur gélose nutritif	57
Figure 32 : Les différentes concentrations de nos extraits	58
Figure 33 : Disposition des disques d'extraits dans la boîte.....	59
Figure 34 : Mesure du diamètre de la zone d'inhibition autour des disques	60
Figure 35 : Pourcentage de piégeage du radical DPPH en fonction de la concentration de l'extrait méthanolique du mélange	67
Figure 36 : Pourcentage d'inhibition de la dénaturation des protéines en fonction de la concentration du mélange.....	68
Figure 37 : les Zones d'inhibition des différents extraits des différents souches bactériennes.	70

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification botanique du Gingembre.....	28
Tableau 2 : Composition chimique du gingembre séché (principaux composés phénoliques)	29
Tableau 3 : Classification systématique du cation systématique du Curcuma	34
Tableau 4 : Classification botanique de <i>syzygium aromaticum</i>	41
Tableau 5 : Caractéristiques générales des bactéries testées.	55
Tableau 6 : les différentes dilutions utilisées.....	57
Tableau 7 : Teneur en flavonoïdes et en polyphénols.....	65
Tableau 8 : Valeurs des concentrations inhibitrices à 50% (IC50) (Activité anti-oxydante) .	67
Tableau 9 : Valeurs des concentrations inhibitrices à 50% (IC50) (anti inflammatoire)	68
Tableau 10 : Diamètres moyens de la zone d'inhibition de l'extrait	69
Tableau 11 : Résultats des analyses physico-chimiques de la poudre de mélanges	71
Tableau 12 : Résultats des analyses organoleptiques de la poudre de mélanges.....	72
Tableau 13 : Résultats d'analyses microbiologiques de la matière première	73

INTRODUCTION

Introduction

Les compléments alimentaires (CA) sont des produits destinés à compléter l'alimentation quotidienne en apportant des nutriments essentiels tels que les vitamines, les minéraux, les acides aminés, les acides gras ou d'autres substances bioactives bénéfiques pour la santé. Leur principal rôle est de prévenir ou de compenser certaines carences nutritionnelles, de soutenir la santé globale, d'améliorer les performances physiques ou de répondre à des besoins spécifiques liés à certaines pathologies. Chez les sportifs, ils sont couramment utilisés pour optimiser la récupération et la performance. De plus, ils peuvent contribuer à réduire les risques de maladies chroniques en comblant les lacunes nutritionnelles de l'alimentation moderne **(Kerksick et al., 2018)**.

Ces produits tirent leur efficacité de l'incorporation d'extraits de plantes médicinales traditionnellement reconnues pour leurs propriétés thérapeutiques, telles que le gingembre (*Zingiber officinale*), le curcuma (*Curcuma longa*), et le clou de girofle (*Syzygium aromaticum*). Ces plantes sont riches en composés bioactifs tels que les phénols, flavonoïdes, terpènes et huiles essentielles, qui leur confèrent des activités antioxydantes, anti-inflammatoires, immunostimulantes et digestives **(Ali et al., 2008)**.

Cependant, bien que d'origine naturelle, la formulation de compléments alimentaires sûrs et efficaces requiert une connaissance approfondie de la composition chimique des plantes utilisées, des méthodes d'extraction et de transformation appropriées, ainsi qu'un strict respect des normes de qualité et de sécurité, notamment celles de la norme ISO 22000.

Cette étude vise à explorer le potentiel de trois plantes médicinales — le gingembre, le curcuma et le clou de girofle — comme source naturelle de molécules bioactives à visée antioxydante, anti-inflammatoire et antimicrobienne, en vue de la formulation d'un complément alimentaire à base de plantes. Les objectifs spécifiques sont :

- Évaluer la valeur nutritionnelle des trois plantes sélectionnées.
- Confirmer la présence de molécules bioactives (phénols, flavonoïdes, etc.) dans leurs extraits.
- Mesurer l'activité antioxydante et anti-inflammatoire des extraits éthanoliques.
- Tester leur activité antibactérienne contre certains germes pathogènes (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*).

- Élaborer un complément alimentaire naturel, sain et conforme aux exigences de la norme ISO 22000.
- Étudier le marché des compléments alimentaires à base de plantes en Algérie.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres :

- Le **premier chapitre** présente une revue générale sur les compléments alimentaires.
- Le **deuxième chapitre** est consacré aux plantes médicinales utilisées dans l'étude.
- Le **troisième chapitre** détaille le matériel et les méthodes expérimentales.
- Le **quatrième chapitre** expose et discute les résultats obtenus.

Enfin, une conclusion générale accompagnée de perspectives futures vient clore ce travail.

PARTIE 1 : SYNTHÈSE

BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1 : GÉNÉRALITÉS SUR LES COMPLÉMENTS ALIMENTAIRES

1. Définition

Les compléments alimentaires sont des produits spécifiquement conçus pour enrichir l'alimentation quotidienne. Ils se caractérisent par une concentration élevée en nutriments ou en substances à effet nutritionnel ou physiologique, et sont généralement présentés sous forme galénique solide ou liquide — comprimés, gélules, pastilles, ampoules, poudres ou solutions buvables — destinés à être consommés par voie orale (**Martens et al., 2021**).

Selon la **directive européenne 2002/46/CE** et son adaptation en droit français par le **décret du 20 mars 2006**, les compléments alimentaires sont définis comme des **denrées alimentaires destinées à compléter un régime alimentaire normal**, constituant une source concentrée de **nutriments** (tels que les vitamines et les minéraux), de **substances nutritionnelles** (comme les acides gras, les acides aminés ou les fibres), ou d'**autres composés bioactifs** ayant un effet physiologique (**FAO, 2006**).

Les substances actives contenues dans les compléments alimentaires peuvent inclure des **composés phytochimiques** tels que les polyphénols, les flavonoïdes (ex. : quercétine), ou encore les caroténoïdes. Ces composés sont appréciés pour leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, ou régulatrices de fonctions métaboliques (**FAO, 2006 ; Karleskind et al., 2013**).

Les compléments alimentaires peuvent ainsi être élaborés à partir de **plantes médicinales**, de **vitamines**, de **minéraux**, ou d'autres ingrédients fonctionnels. Toutefois, les plantes ou préparations végétales possédant des **propriétés pharmacologiques avérées** et destinées à un usage **strictement thérapeutique** sont exclues du champ d'application des compléments alimentaires pour des raisons réglementaires (**Karleskind et al., 2013**).

Sur le plan fonctionnel, les compléments alimentaires couvrent un large éventail de besoins : **nutrition générale, gestion du poids, vitalité et tonus, soutien digestif, santé de la peau et des cheveux, ménopause, performance sportive** ou encore **prévention cardiovasculaire**. Leur usage croissant dans le domaine de la **santé préventive** en fait aujourd'hui un **secteur stratégique** de l'industrie agroalimentaire et pharmaceutique.

2. Classification des compléments alimentaires selon leur composition

Les suppléments nutritionnels peuvent être classés en fonction de la nature des éléments qu'ils apportent. Certains fournissent des macronutriments, tels que les protéines ou les acides gras, essentiels au bon fonctionnement de l'organisme. D'autres sont principalement

composés de micronutriments, comme les vitamines et les minéraux, qui jouent un rôle clé dans de nombreux processus physiologiques, même à faibles doses (**Anonyme, 2022**).

2.1. Macronutriments

Les macronutriments sont des éléments essentiels dont l'organisme a besoin en grandes quantités pour assurer son bon fonctionnement. On distingue principalement trois catégories: (**Lucie marchande, 2024**)

- **Les protéines:(10 à 20 % des Apports Énergétiques Totaux (AET))**

Les protéines jouent un rôle fondamental dans la construction et la réparation des tissus de l'organisme, notamment les muscles, la peau et les cheveux. Elles sont également indispensables à la synthèse des enzymes, des hormones et des anticorps. On les retrouve principalement dans des aliments tels que la viande, le poisson, les œufs, les légumineuses et les produits laitiers.

- **Les glucides:(35 à 40 % des AET)**

Les glucides, également appelés sucres ou hydrates de carbone, représentent la principale source d'énergie de l'organisme. Ils se répartissent en deux grandes catégories : les glucides simples, aussi appelés sucres rapides, et les glucides complexes, ou sucres lents. Ces derniers sont présents en quantité dans les féculents, les fruits, les légumes et les produits laitiers, constituant ainsi des sources privilégiées d'énergie durable.

- **Les lipides:(50 à 55 % des AET)**

Les lipides remplissent plusieurs fonctions vitales dans l'organisme. Ils interviennent notamment dans la production d'hormones, le transport des vitamines liposolubles (A, D, E et K) et la protection des organes internes. On distingue les lipides bénéfiques, comme les acides gras insaturés (oméga-3 et oméga-6), et ceux à consommer avec modération, tels que les graisses saturées et les acides gras trans issus de procédés industriels.

Pour répondre aux besoins énergétiques et garantir le bon fonctionnement de l'organisme, les apports nutritionnels recommandés sont les suivants : environ 0,8 g de protéines par kilogramme de poids corporel, 45 à 60 % de l'apport calorique total provenant des glucides, et 20 à 35 % des lipides (**Anses, 2016**)

2.2. Micronutriments

Les micronutriments ne peuvent pas être synthétisés par l'organisme (pour la plupart) il faut donc les apporter par la nutrition. L'organisme n'a pas besoin d'apport important mais leur rôle est essentiel dans de nombreux processus physiologiques (**Philippecastelli, 2020**).

Vitamines

Les vitamines sont des molécules organiques que notre corps ne peut pas synthétiser ou produire en quantité suffisante. On distingue les **vitamines liposolubles** (A, D, E, K) des **vitamines hydrosolubles** (vitamine C et les vitamines B). Chacune d'entre remplit un rôle bien spécifique pour l'organisme.

Les vitamines hydrosolubles se dissolvent dans l'eau, sont rapidement éliminées en excès mais nécessitent un apport quotidien. Les liposolubles (A, D, E, K) se dissolvent dans les graisses, se stockent dans l'organisme mais un excès peut être toxique. Les hydrosolubles proviennent surtout des fruits, légumes et céréales, tandis que les liposolubles se trouvent dans les huiles, produits laitiers ([lait](#), yaourts, fromages...), jaunes d'œufs et abats.

Minéraux

Les minéraux sont des éléments inorganiques naturellement présents dans les aliments. On classe généralement les **macro-éléments** (calcium, phosphore, magnésium, sodium, potassium, chlore) et les **oligo-éléments** (fer, zinc, cuivre, sélénium, iode, fluor). Ils interviennent dans de nombreux processus métaboliques et physiologiques.(**Lucie marchande, 2024**)

3. composants des compléments alimentaires

Les CA sont composés de nutriments ainsi que d'autres substances détaillées ci-dessous (**Warzecka, 2020**).

3.1. Nutriments : vitamines, minéraux, et oligo-éléments

La plupart des vitamines ne sont pas biosynthétisées, et c'est pour cela que l'organisme nécessite un apport exogène via l'alimentation ou les CA. Quant aux minéraux et oligo éléments (magnésium, calcium, chrome, fer, etc.), ils participent à la croissance des enfants, aux fonctions biologiques, ou encore à la régulation de notre métabolisme ; ils peuvent donc être utilisés sous forme de CA pour une action spécifique. L'annexe I de la directive européenne 2002/46/CE présente une liste de 28 vitamines et minéraux utilisables dans les CA.

3.2. Substances à but nutritionnel ou physiologique

Les substances à but nutritionnel ou physiologique sont des substances chimiquement définies, possédant des propriétés nutritionnelles ou physiologiques, à l'exception des vitamines et minéraux et des substances possédant des propriétés exclusivement pharmacologiques. Il s'agit par exemple du lycopène, de la glucosamine ou du chitosan.

3.3. Plantes ou préparations de plantes

Il s'agit des éléments les plus représentés dans les CA. Les plantes utilisées se présentent sous deux formes : sous forme traditionnelle (poudres, extraits secs, extraits aqueux), ou sous forme de substances isolées des plantes, à l'exception des plantes ou préparations de plantes possédant des propriétés pharmacologiques et destinées à un usage exclusivement thérapeutique.

3.4. Les additifs, les arômes et les auxiliaires technologiques dont l'emploi est autorisé en alimentation humaine

Ces ingrédients sont souvent ajoutés dans un but d'amélioration de la conservation, de réduction de l'oxydation, colorant, modificateur de goût, etc.

3.5 Autres ingrédients

Il s'agit principalement d'ingrédients d'origine animale non purifiés comme par exemple la gelée royale ou le cartilage de requin (**Courchia, 2020**)

Le schéma ci-dessous résume les catégories d'ingrédients que nous pouvons retrouver dans les CA :

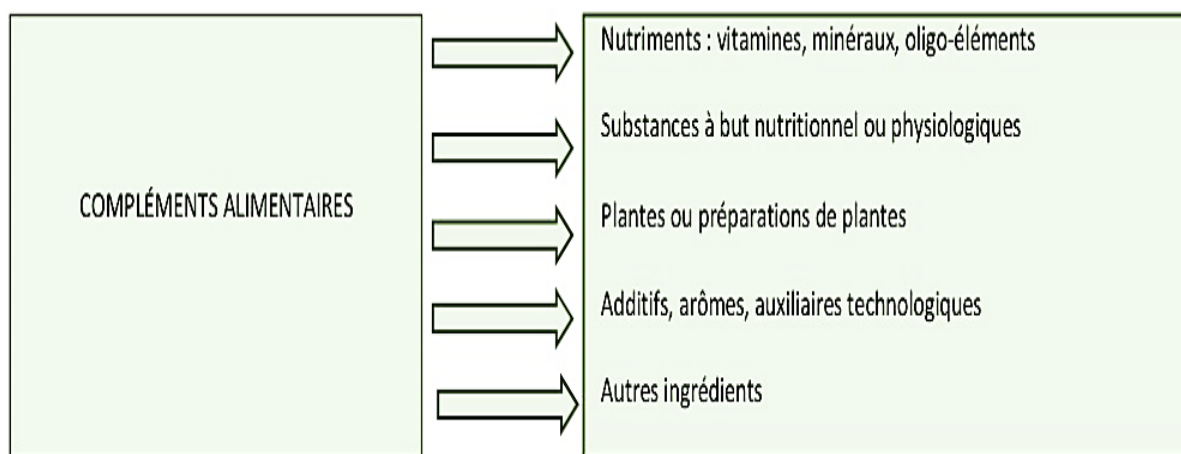


Figure 1 : Catégories d'ingrédients retrouvés dans les CA (Courchia, 2020)

4. Formes galéniques

C'est la forme sous laquelle est présenté le CA. Il en existe nombreuses formes, telles que : comprimé, poudre, capsule, solution buvable, etc. Le choix de la forme galénique n'est pas qu'une question d'esthétique du produit ou de facilité de prise. En fait, ce choix est induit par différents paramètres principalement techniques : la nature des ingrédients, la zone de diffusion dans l'organisme souhaitée, le volume des ingrédients, le public visé, l'action désirée, la biodisponibilité des ingrédients, etc (Synadiet, 2025)

4.1. Les gélules

Enveloppes dures, elles sont composées de deux parties emboîtées qui renferment l'actif, principalement sous forme de poudre. Les gélules peuvent être réalisées à partir de matières d'origine végétale (cellulose) ou animale (gélatine)



Figure 2 : Complément alimentaire en forme de gélule (Synadiet, 2025)

4.2. Les comprimés

Comme leur nom l'indique, ils sont fabriqués par compression de poudres d'actifs, additionnés ou non d'excipient. Selon le cas, les comprimés peuvent ensuite être avalés, croqués, dissous dans l'eau, etc.



Figure 3 : Complément alimentaire en forme des comprimés (Synadiet, 2025)

4.3. Les flacons

Un ustensile de dosage permet de mesurer la bonne quantité de liquide à prendre. Il s'agit notamment d'une mesurette, d'un compte-goutte, d'une cuillère doseuse ou d'un autre ustensile de dosage. Selon la composition, ils peuvent contenir des sirops, des huiles ou des solutions buvables.



Figure 4 : Complément alimentaire en forme des flacons (Synadiet, 2025)

4.4. Les capsules

Les actifs, souvent sous forme huileuse, y sont enrobés dans une enveloppe gommeuse et soluble. Son enrobage est mou.



Figure 5 : Complément alimentaire en forme des capsules (synadiet, 2025)

4.5. Les sachets et sticks

Ils contiennent les actifs principalement sous forme de poudre. Celle-ci est obtenue à l'issue d'un processus de pulvérisation et tamisage.



Figure 6 : Complément alimentaire en forme des sachets et sticks (Synadiet, 2025)

4.6. Les gommes

Souvent évoquées sous l'appellation anglaise de « *gummies* », elles sont fabriquées à partir de solution gélifiante.



Figure 7 : Complément alimentaire en forme des gommages (Synadiet, 2025)

4.7. Les ampoules

Composées en verre, elles contiennent l'actif sous forme liquide. Leurs pointes effilées et autocassables permettent de les boire (Synadiet, 2025)



Figure 8 : Complément alimentaire en forme des ampoules (Synadiet, 2025)

5. rôle des compléments alimentaires

La définition des compléments alimentaires les distingue clairement des médicaments. Alors que les médicaments exercent une action pharmacologique destinée à traiter ou guérir des maladies, les compléments alimentaires agissent sur le plan nutritionnel ou physiologique. Ils sont conçus pour pallier des carences ou des déficits nutritionnels, mais ne possèdent aucune action thérapeutique : leur rôle n'est ni de prévenir ni de soigner des pathologies.

Un produit est considéré comme ayant un effet physiologique lorsqu'il contribue au maintien des fonctions normales de l'organisme par un apport nutritionnel. En revanche, lorsqu'un produit intervient pour corriger une altération ou une dysfonction physiologique, on parle alors d'un effet pharmacologique ou thérapeutique.

Ainsi, les compléments alimentaires participent au maintien de l'équilibre de l'organisme ou homéostasie tandis que les médicaments ont pour fonction de le rétablir en cas de déséquilibre.

L'homéostasie désigne la régulation naturelle par laquelle l'organisme maintient de façon constante ses paramètres biologiques comme la température corporelle ou la composition du sang malgré les variations de l'environnement extérieur. Ce processus repose principalement sur le système nerveux autonome (ou végétatif), responsable du fonctionnement des organes internes et des fonctions vitales, ainsi que sur les glandes endocrines, qui libèrent des hormones dans la circulation sanguine.

Le maintien de l'homéostasie s'effectue par un effet physiologique. En revanche, lorsqu'un déséquilibre s'installe, son rétablissement nécessite une intervention pharmacologique. Ainsi, selon la dose utilisée, la forme de présentation ou l'intention qu'il s'agisse d'un geste thérapeutique ou d'un conseil nutritionnel une même substance peut parfois exercer à la fois un effet physiologique et un effet pharmacologique (**Ben Mreref & Guesmi, 2020/2021**).

6. Différence entre un complément alimentaire et un médicament

Les **compléments alimentaires** ne doivent pas être confondus avec les **médicaments**. Bien qu'ils se présentent sous des formes similaires — telles que les **gélules**, **pastilles**, **comprimés** ou autres formes unitaires — leur finalité est fondamentalement différente. Contrairement aux médicaments, les compléments alimentaires **ne possèdent pas d'effet thérapeutique** avéré et **ne sont pas destinés à prévenir, diagnostiquer, traiter ou guérir une maladie** (**Anonyme, 2023**).

Ils ont pour but **de compléter l'alimentation** en apportant certains nutriments ou substances ayant un effet nutritionnel ou physiologique. À ce titre, **ils ne doivent en aucun cas être considérés comme des alternatives aux traitements médicaux** prescrits par des professionnels de santé. Leur usage doit rester complémentaire à une alimentation équilibrée et à un mode de vie sain, et non être envisagé comme un substitut à une prise en charge médicale.

	Médicament	Complément alimentaire
Objectifs	Soigner ou prévenir une maladie, pathologie	Entretenir le bien-être
Cibles	Personnes malades ou susceptible de l'être	Personne en bonne santé, souhaitant le rester
Délivrance	Prescription médicale	Vente libre
Propriétés	Thérapeutiques	Nutritionnelles ou physiologiques
Mise sur le marché	Autorisation de mise sur le marché	Autorisation au ministère du commerce.
Avantage	• Principe actif concentré • Action rapide • Plus efficace pour pathologies aiguës • Remboursement total ou partiel	• Complexe synergique naturel (Evolution) • Biodisponibilité • Peu d'effets indésirables ou interactions • Adaptés aux corrections du « terrain » • Adapté à la prévention et à la chronicité
Inconvénients	• Principe actif concentré • Action individuelle non synergique • Effets secondaires indésirables • Interactions médicamenteuses • Peu adaptés à la prévention LT	• Action plus lente à initier (mais durable) • Moins efficace pour pathologies aiguës (mais pas pour les douleurs chroniques) • Pas de remboursement

7. La fabrication des compléments alimentaires

La fabrication d'un complément alimentaire passe par différentes étapes :

7.1. La première étape :

Consiste à sélectionner les ingrédients. Ceux-ci passeront par des contrôles de pureté microbiologiques et parfois des métaux lourds et pesticides. Certains laboratoires, notamment ceux visant le marché pharmaceutique, font des dosages en molécules actives présentes dans la matière première (par exemple : recherche de la teneur en flavonoïdes d'une plante).

7.2. La deuxième étape :

Les ingrédients sont mélangés et formulés sous différentes formes galéniques (gélules, comprimés, ampoules, infusettes...). Des contrôles microbiologiques sont faits au cours du mélange et sur le produit fini. Des contrôles d'uniformité de masse et de stabilité sont également faits sur le produit fini afin de vérifier l'homogénéité des produits et leur conservation. Le développement d'un complément alimentaire doit prendre en compte, dès sa conception, des exigences de qualité et de sécurité. Cette étape est fondamentale car elle conditionne la qualité et la pérennité du produit.

7.3. La troisième étape :

Consiste à mettre le complément alimentaire sous emballage. L'emballage est étiqueté selon la réglementation. Cette étape est caractérisée par l'attribution pour chaque complément alimentaire d'un numéro de lot, pour assurer la traçabilité. La date limite de consommation doit également figurer sur l'emballage. L'industriel doit ensuite faire une déclaration à la DGCCRF obligatoire avant la commercialisation.

7.4. La quatrième étape :

Vient la mise sur le marché du complément alimentaire. Si l'industriel a fait une demande d'allégation, il doit attendre que celle-ci soit approuvée pour commercialiser son complément alimentaire (**Baillet, 2012**).

Le processus de traçabilité dans la fabrication d'un complément alimentaire est présenté de manière détaillée à travers le diagramme ci-dessous:

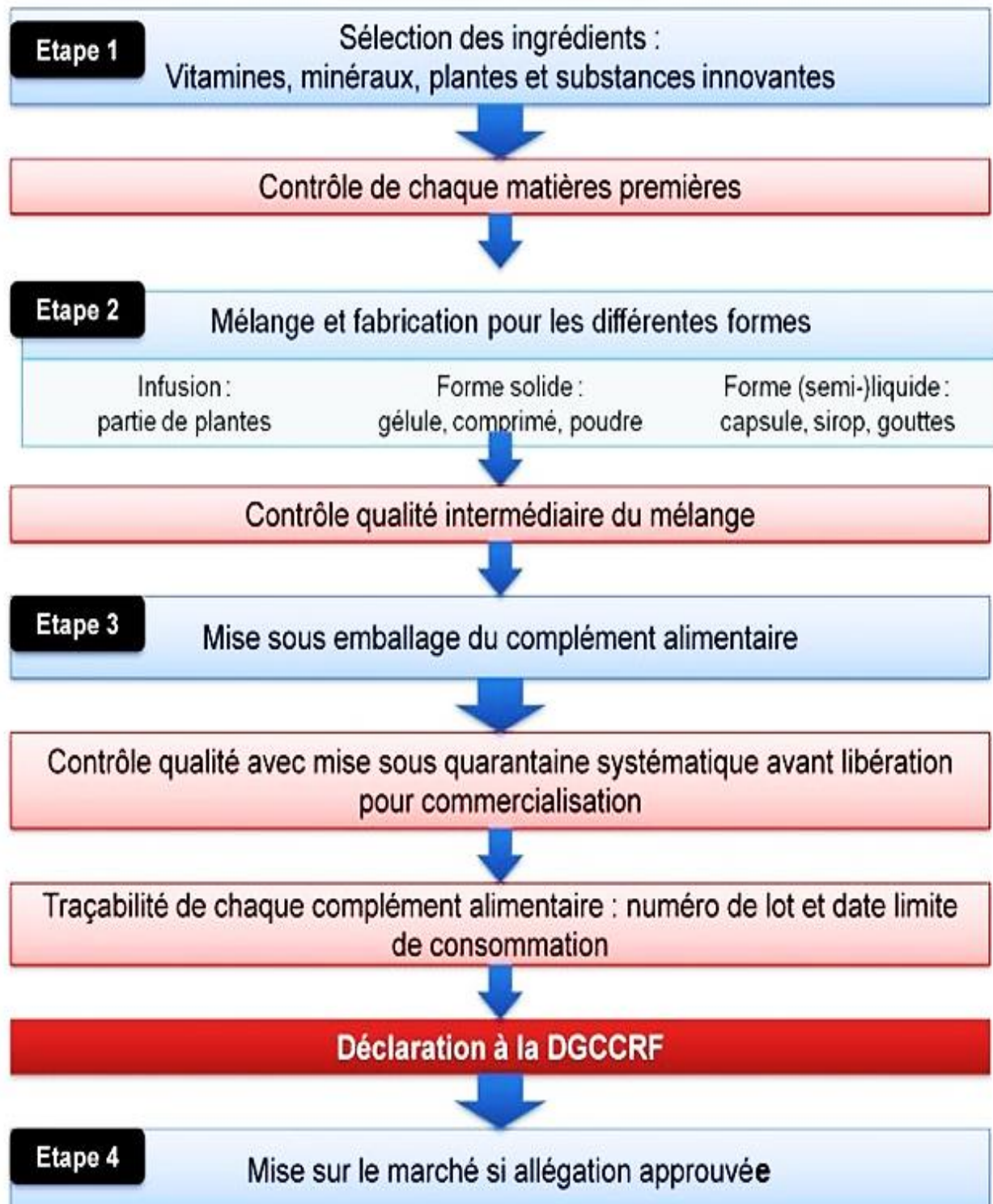


Figure 9 : Étapes de fabrication d'un complément alimentaire. (Chahinez et Sabah, 2022)

8. Recommandations de consommation des compléments alimentaires

En respectant ces conseils, chacun peut consommer des compléments alimentaires de façon éclairée, en optimisant leurs bienfaits sur la santé tout en réduisant les risques potentiels (OMS, 2021).

8.1. Détermination des besoins personnels:

Avant de consommer des compléments alimentaires, il est essentiel d'évaluer ses besoins nutritionnels spécifiques, ce qui peut se faire en consultant un professionnel de santé ou en réalisant des analyses sanguines afin d'identifier d'éventuelles carences.

8.2. Utilisation ciblée :

N'utilisez des compléments alimentaires que lorsqu'ils sont véritablement nécessaires, par exemple à certaines étapes de la vie telles que la grossesse ou la vieillesse, ou en cas de carences nutritionnelles confirmées liées à des pathologies spécifiques.

8.3. Les CA ne sont pas des substituts :

Les compléments alimentaires ne doivent en aucun cas se substituer à une alimentation saine et équilibrée ; leur rôle est d'enrichir l'apport nutritionnel en fournissant des éléments complémentaires.

8.4. Dosage approprié :

Respecter la posologie indiquée pour chaque complément alimentaire est essentiel, car une consommation excessive peut entraîner des effets indésirables et nuire à la santé.

8.5. Qualité et sécurité :

Les compléments alimentaires doivent être de qualité irréprochable, en conformité avec les normes de fabrication et de sécurité établies par les autorités sanitaires compétentes.

8.6. Surveillance médicale :

Pour prévenir d'éventuelles interactions, il est recommandé de consulter un médecin avant de prendre des compléments alimentaires, en particulier en cas de problèmes de santé ou de traitement médicamenteux.

8.7. Éducation et sensibilisation :

Il est primordial de sensibiliser les individus aux risques d'une utilisation inappropriée ou excessive des compléments alimentaires, tout en soulignant l'importance d'une alimentation équilibrée. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) informe le public sur les bénéfices, mais aussi sur les limites liés à leur consommation.

9. Aspects réglementaire des Compléments Alimentaire

9.1. Réglementations mondiales

Les réglementations détaillées concernant les CA peuvent être complexes et varier considérablement d'un pays à l'autre. Un aperçu est présenté des réglementations couramment rencontrées dans différents pays (**Anonyme 2, 2024**).

a) États-Unis

- Les compléments alimentaires sont réglementés par la Food and Drug Administration (FDA) en vertu de la Dietary Supplement Public Health Act de 1994 (DSHEA).
- Les fabricants sont responsables de la sécurité de leurs produits, mais n'exigent pas l'approbation de la FDA avant de commercialiser leurs produits.
- Les produits doivent être étiquetés comme CA, ne doivent pas prétendre traiter ou guérir une quelconque maladie et doivent répondre à d'autres exigences en matière d'étiquetage.

b) Union européenne

- Les CA sont soumis à la Directive Compléments Alimentaires 2002/46/CE.
- Les produits doivent être sûrs et correctement étiquetés, et ne doivent pas induire les consommateurs en erreur.
- Les ingrédients autorisés et leurs doses maximales sont répertoriés dans la directive et les fabricants doivent en informer les autorités compétentes avant de mettre leurs produits sur le marché.

c) Canada

- Santé Canada réglemente les suppléments alimentaires en vertu de la Loi sur les aliments et drogues et de son Règlement sur les aliments et drogues.
- Les produits doivent être sûrs, de haute qualité et correctement étiquetés.
- Les fabricants doivent soumettre une notification à Santé Canada avant de mettre leurs produits sur le marché.

9.2. Réglementations algérienne

Selon le décret exécutif n°12-124 relatif aux additifs alimentaires, l'utilisation de compléments alimentaires en Algérie est soumise aux conditions suivantes :

- a) **Rôle nutritionnel** : Le complément alimentaire doit apporter un élément nutritionnel nécessaire, notamment dans le cadre des aliments diététiques.
- b) **Fonction technologique** : Il peut être utilisé pour améliorer la conservation, la stabilité ou les propriétés organoleptiques (goût, odeur, texture) d'un produit, à condition que cela ne modifie pas la nature ou la qualité du produit au point de tromper ou d'induire le consommateur en erreur.
- c) **Usage en tant qu'adjuvant** : Les compléments alimentaires contenant des vitamines et sels minéraux peuvent intervenir lors des étapes de transformation des denrées destinées à la consommation. Toutefois, leur emploi ne doit en aucun cas servir à dissimuler l'utilisation de matières premières de mauvaise qualité ou de procédés technologiques inadéquats.

Ainsi, les compléments alimentaires occupent un statut particulier, distinct à la fois des aliments classiques et des médicaments. Ce statut est parfois ambigu, notamment avec l'émergence des aliments dits "fonctionnels", qui se distinguent par des propriétés spécifiques, soit dues à leur composition naturelle, soit à l'ajout ou la modification de certains composants.

Enfin, bien que les compléments alimentaires ne soient pas considérés comme des additifs alimentaires, ils peuvent contenir des additifs autorisés, des arômes ou encore des auxiliaires technologiques servant de supports, à condition que leur usage soit conforme à la réglementation en vigueur pour l'alimentation humaine (Jora.,2012)

10. Marché des compléments alimentaires (marché mondial et le marché algérien)

10.1. Marché mondial

Selon le Synadiet, le marché mondial des compléments alimentaires était estimé à 45 milliards d'euros en 2008, dont 30 % des ventes réalisées en Europe. Ce marché européen est principalement concentré autour de trois pays qui totalisent à eux seuls deux tiers des ventes :

- **L'Italie et l'Allemagne occupent chacun 21 % de part de marché.**
- **La France représente 12 % du marché**

Le tiers restant est partagé entre dix autres pays européens :

- **Les pays scandinaves concentrent 10 % des ventes.**
- **L'Espagne, la Belgique et les Pays-Bas regroupent 4 % des ventes.**

- L’Autriche, la Suisse et la Turquie comptent pour **2 %**.
- Le Portugal, l’Irlande et la Grèce se partagent **1 %** du marché.

En termes de consommation individuelle, les Français dépensaient en moyenne **17,5 euros par habitant** en 2008, contre **20 euros** pour les Britanniques, **24 euros** pour les Allemands, et **28 euros** pour les Italiens (Jamel, 2016).

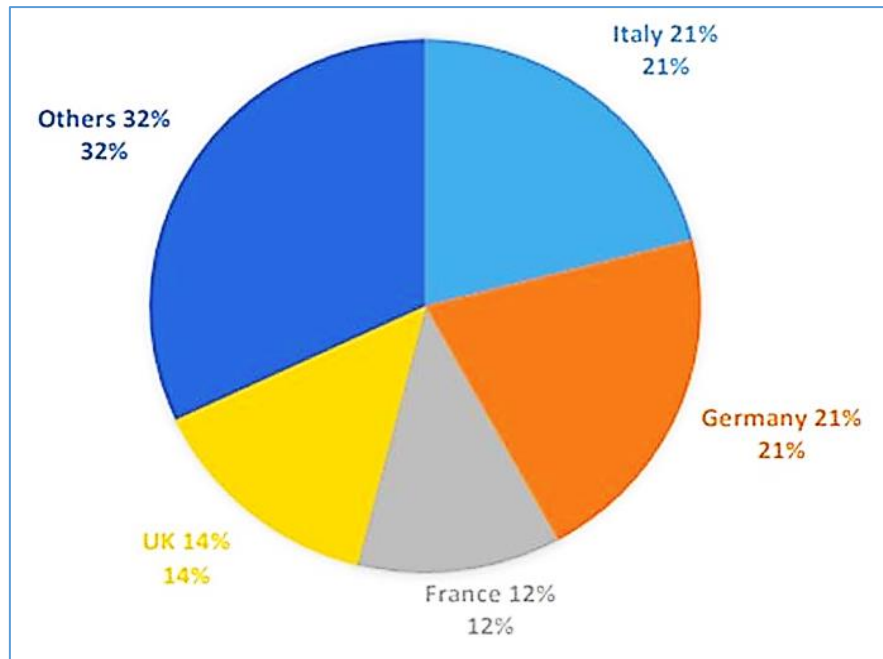


Figure 10 : Le pourcentage des parts de marché des compléments alimentaires en Europe de l'Ouest par pays en 2008 (Zambetti, 2009)

10.2. Marché algérien

Les compléments alimentaires, qu’il s’agisse de vitamines, de minéraux ou de plantes médicinales, font désormais partie intégrante du mode de vie de nombreux consommateurs à travers le monde.

En Algérie, l’implantation de cette industrie s’est faite plus tardivement que dans d’autres régions, tant au niveau mondial que régional. Cependant, malgré un démarrage lent, le secteur a connu une progression constante. En quelques années seulement, une croissance notable a été observée, stimulée par une prise de conscience accrue des enjeux de santé publique, notamment face aux risques liés à l’usage excessif de produits chimiques et à l’automédication.

Cette évolution s’est traduite par une hausse significative de la demande en compléments alimentaires, en particulier dans le secteur de la santé et du bien-être.

À l'échelle mondiale comme en Algérie, le marché des compléments alimentaires est en pleine expansion. Toutefois, en Algérie, cette croissance s'opère dans un contexte de faible encadrement réglementaire. Actuellement classés comme denrées alimentaires par le ministère du Commerce, ces produits ne bénéficient pas d'une réglementation spécifique, ce qui soulève des inquiétudes parmi les professionnels du secteur.

Des discussions sont en cours pour instaurer un cadre réglementaire clair encadrant la fabrication, la commercialisation, l'étiquetage et le contrôle de qualité des compléments alimentaires. À cet effet, des réunions interministérielles ont été programmées, réunissant les ministères de l'Enseignement supérieur, du Commerce, de l'Agriculture, ainsi que celui de la Santé, de la Population et de la Réforme hospitalière.

Lors d'une journée d'étude organisée par le Syndicat national des pharmaciens d'officine (SNAPO), sur le thème « *Compléments alimentaires et aspects réglementaires* », plusieurs intervenants ont insisté sur la nécessité de renforcer le cadre légal. Ils ont notamment souligné l'importance d'établir des normes claires pour les ingrédients autorisés, en particulier pour ceux présentant une toxicité connue. De plus, il a été rappelé que l'harmonisation des valeurs nutritionnelles à l'échelle internationale reste un défi, car il est inadapté d'imposer la même supplémentation à des populations aux profils nutritionnels très différents — comme un Finlandais et un Méditerranéen (**Aljaloud et Ibrahim, 2013**).

Par ailleurs, il a été souligné que l'Algérie dispose de ressources naturelles précieuses, telles que les plantes médicinales et aromatiques, les acides gras oméga-3 issus du poisson, ainsi que des dérivés laitiers, pouvant être valorisés dans la production locale de compléments alimentaires.

Enfin, le ministère du Commerce prévoit de lancer une enquête approfondie sur les compléments alimentaires dépourvus d'indications thérapeutiques, ces derniers relevant des compétences du ministère de la Santé (**Bousabata, 2016**).

11. profil des consommateurs de compléments alimentaires

Le marché des compléments alimentaires connaît une croissance soutenue à l'échelle mondiale, portée par une prise de conscience croissante des enjeux liés à la santé, au bien-être et à la prévention des maladies. L'analyse du profil type des consommateurs permet de mieux comprendre les dynamiques de consommation et d'orienter le développement des produits. (**ANSES.,2014**)

11.1. Tranche d'âge

Les principaux consommateurs de compléments alimentaires se situent généralement dans la tranche d'âge de **25 à 60 ans**. On distingue deux segments dominants :

Les adultes actifs, qui cherchent à renforcer leur vitalité, combler les carences nutritionnelles ou gérer le stress quotidien.

Les personnes âgées, souvent motivées par la prévention du déclin cognitif, le renforcement de l'immunité et le maintien de la santé osseuse. **(Synadiet., 2023)**

11.2. Genre

Les **femmes représentent une part plus importante** des consommateurs, notamment dans les segments liés à la beauté (peau, cheveux, ongles), la gestion du poids, et la prévention des carences en micronutriments (fer, calcium, vitamines). **(Bruxelles., 2021)**

11.3. Niveau socio-économique

La consommation est plus répandue chez les individus appartenant aux **classes moyennes et supérieures**, qui disposent d'un pouvoir d'achat suffisant et d'un niveau d'éducation favorisant la sensibilisation aux questions de santé préventive.

11.4. Motivations principales

Les raisons invoquées pour la consommation de compléments alimentaires sont diverses :

Prévention ou correction des carences nutritionnelles (vitamines, minéraux).

Renforcement du système immunitaire.

Amélioration des performances physiques ou intellectuelles.

Soutien au bien-être général, réduction de la fatigue ou du stress.

Accompagnement de régimes alimentaires spécifiques (végétariens, hypocaloriques, etc.). **(Londres., 2022)**

11.5. Canaux d'approvisionnement

Les consommateurs se procurent les compléments alimentaires principalement via :

Les pharmacies et parapharmacies.

Les magasins spécialisés en produits naturels ou diététiques.

Les plateformes de commerce électronique.

Les réseaux de vente directe ou à domicile.(**Delzenne, N. & Cani, P. D.,2018**).

CHAPITRE 2 : GÉNÉRALITÉS SUR LES PLANTES

1. Gengember

1.1. Historique

Le gingembre (*Zingiber officinale* Roscoe) est l'une des épices les plus populaires au monde. Il fait partie de la même famille végétale que la cardamome et le curcuma (**Iijima et al., 2003 ; Bode et al., 2011**)

Le gingembre est une plante condimentaire et médicinale utilisée depuis plus de 3000 ans, originaire de l'Inde (**Gigon, 2012**).

Elle est exploitée dans divers secteurs, notamment dans l'alimentation où elle est largement employée comme additif depuis l'Antiquité (**Bartley, 2000**), et elle sert également à protéger le corps contre les maladies.

Ce n'est pas tout : on la retrouvait aussi dans les techniques de momification pratiquées dans l'Égypte antique. Cette épice orientale a traversé pour la première fois la mer Méditerranée grâce aux Phéniciens, avant d'atteindre l'Europe durant l'Empire romain, dès l'1^{er} siècle (**Gigon, 2012**).

Aujourd'hui, cette plante est cultivée dans les régions tropicales humides, bien que l'Inde reste le plus grand producteur, comme l'indique qui présente les principaux pays producteurs de gingembre (**Faivre et Lejeune, 2006**).

1.2. Répartition géographique

Le gingembre est principalement cultivé dans les pays situés dans l'hémisphère sud.

Z. officinale est une plante qui s'adapte bien aux régions tropicales et subtropicales. Elle se développe efficacement dans des conditions chaudes et humides, à des altitudes dépassant les 1500 mètres sous le niveau de la mer (**Kumar et al., 2011**).

Les plantes de la famille des Zingibéracées sont largement répandues dans les régions tropicales et subtropicales d'Asie, d'Afrique et d'Amérique. Le genre *Alpinia* est le plus abondant, comptant plus de 300 espèces (**Saha et al., 2020**).

Le gingembre est principalement cultivé en Inde, mais aussi en Chine, en Indonésie et aux Philippines (**Gigon, 2012 ; Sangwan et al., 2014 ; Marwat et al., 2015**).

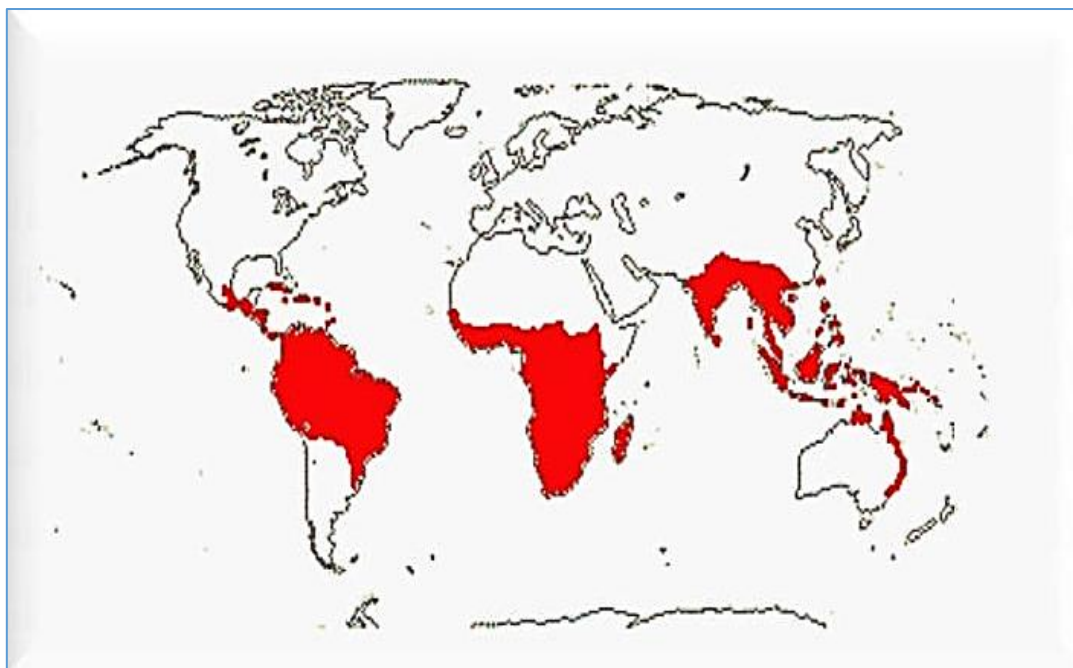


Figure 11 : Répartition mondiale des plantes de la famille des Zingiberaceae (**Khireddine, 2013**).

1.3. Discription botanique

Il existe environ 100 variétés d'espèce que l'on ne rencontre plus que rarement à l'état sauvage. En ce qui concerne le *Zingiber officinale* qui est une plante vivace herbacée, originaire des régions tropicales d'Asie (**Pinson, 2012**) . Le Zingiber officinale est divisé en deux parties :

1.3.1. Partie active et souterraine:

Elle présente des rhizomes horizontaux et ramifiés, peau beige pâle, il devient de plus en plus fibreux avec l'âge et son odeur est très aromatique avec une saveur chaude et piquante (**Pinson, 2012**).

1.3.2. Partie aérienne:

Cette partie est formée des feuilles et d'une tige de 1.50 mètre et peut atteindre 3 mètres de hauteur (**Lahsissene et al., 2009**) .On trouve deux sortes de tiges ; les hautes tiges qui sont stériles, servent à l'assimilation et portent des feuilles alternes, longues et étroites, alors que les basse tiges servent à la reproduction et ne présentent pas de feuilles. Les fleurs de cette plante sont parfumées, blanches et jaunes, avec des traînées rouges sur les lèvres. La floraison a lieu entre les mois d'août et novembre. Ses fruits sont des capsules trivalves contenant des graines noires (**Anonyme, 2016**).

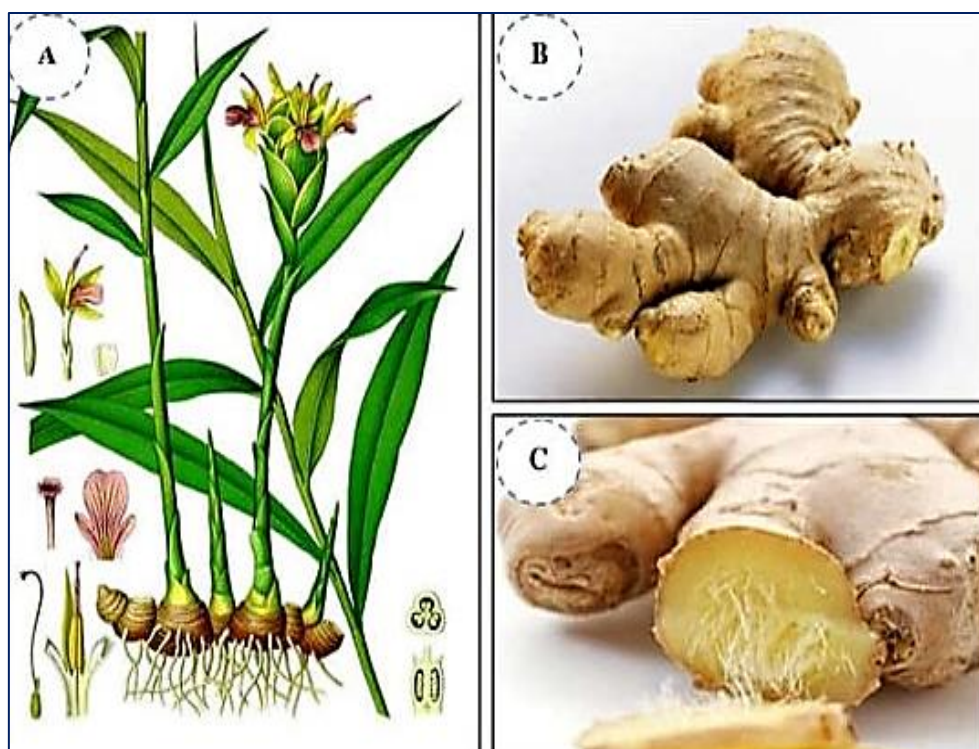


Figure 12 : *Zingiber officinale* Roscoe. A: La plante entière; B: et C: Le rhizome (Pinson, 2012)

1.4. Classification botanique

Tableau 1 : Classification botanique du Gingembre (Charles, 2013)

Nom français	Gingembre commun
Autres noms utilisés	épice blanche, ginger, genjanb
Nom latin	Zingiber officinale (Roscoe)
Règne	Plantae
Sous règne	Trachéobionta
Division	Angiospermes(ou Magnoliophyta)
Classe	Liliopsida (ou Monocotylédones)
Sous classe	Zingibéridées
Ordre	Zingiberales(ou Scitaminales)
Famille	Zingibéracées
Sous famille	Zingibéroïdes
Genre	Zingiber

1.5. Composition chimique

Le rhizome est très riche en amidon (60 %). Il contient des protéines, des graisses (10 %), de l'huile essentielle et une résine (Bruneton, 2009) . L'impression de feu (pseudo-chaleur) lors de la consommation de gingembre est due à la présence de shogaol, de paradol et de zingérone (Katzer, 2008) La concentration de gingérol - constituant majeur du gingembre frais - est plus faible dans le gingembre séché, tandis que la concentration en shogaol augmente (Jolad, 2005) . À partir du rhizome du gingembre sont extraites une oléorésine (6 %) (Wright, 2004) et une huile essentielle (1-3 %)(Katzer, 2008) , . L'oléorésine contient les composés chimiques à l'origine de la saveur piquante, tels que le gingérol (15 %). La composition de l'huile essentielle varie beaucoup suivant l'origine géographique mais on retrouve des composés odorants comme le zingibérène, le curcumène, le camphène, le bisabolène, le citral et le linalol . Ces deux extraits sont destinés à l'aromatisation des aliments, tandis que seule l'huile essentielle est utilisée dans la parfumerie (Katzer, 2008).

Le principal principe actif du gingembre est le gingerol. C'est lui qui donne au gingembre son gout piquant. C'est un composé phénolique de la famille des vanilloïdes et sa

formule chimique est $C_{17}H_{26}O_4$. Il possède de nombreuses propriétés. Il a une action anti-inflammatoire, antioxydante et antiémétique. Des études ont montré que ce composé chimique aurait la capacité de lutter contre certains cancers.

Le gingembre est riche en glucides, lipides et protéines. Il contient en outre une quantité importante de minéraux comme le fer, le calcium, le magnésium, le manganèse, le sodium et du phosphore. Sur le plan des vitamines, le gingembre contient celles de la famille B et aussi de la vitamine C qui disparaît une fois le gingembre séché. ([Eymard, 2016](#)).

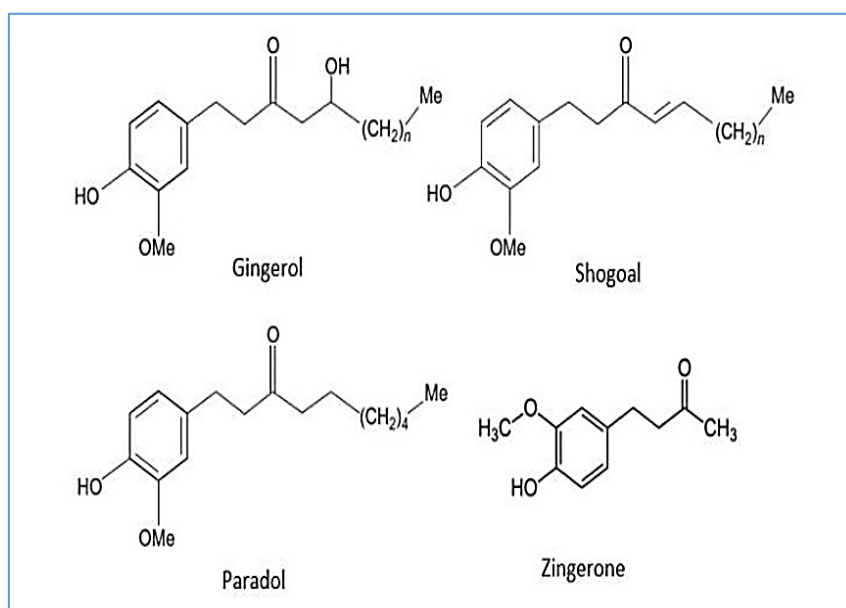


Figure 13 : Structures des principaux constituants actifs du gingembre (**Saida et benhammadi, 2023**).

Tableau 2 : Composition chimique du gingembre séché (principaux composés phénoliques)(**Ali et al., 2008**)

Constituant	Pourcentage (%)	Formule moléculaire
6-Shogaol	20 – 30 %	$C_{17}H_{24}O_3$
6-Gingerol	10 – 15 %	$C_{17}H_{26}O_4$
Zingérone	9 – 14 %	$C_{11}H_{14}O_3$
8-Gingerol	3 – 5 %	$C_{19}H_{30}O_4$

10-Gingerol	2 – 4 %	C ₂₁ H ₃₄ O ₄
8-Shogaol	1 – 2 %	C ₁₉ H ₂₈ O ₃
10-Shogaol	<1 %	C ₂₁ H ₃₂ O ₃

1.6. Différents domaines d'utilisation du gingembre

- **Utilisation en agroalimentaire**

Le gingembre figure parmi les premières épices orientales à avoir été commercialisées dans le bassin méditerranéen, probablement par l'intermédiaire des Phéniciens, avant le IV^e siècle av. J.-C. (**Perotto, 2013**).

Cette plante compte parmi les épices les plus couramment utilisées, notamment en Asie du Sud-Est et en Chine. Elle est employée sous forme fraîche ou séchée dans la préparation de sauces, de soupes, de compotes de fruits, de salades vertes, ainsi que pour l'assaisonnement des viandes et des poissons (**Rong et al., 2009**).

Le gingembre est également utilisé dans l'industrie agroalimentaire comme ingrédient dans diverses préparations telles que les poudres de curry, marinades, sauces, chutneys, sirops, confitures, pain d'épices et biscuits. En Angleterre, il entre

notamment dans la composition du soda au gingembre, produit en grandes quantités (**Wilson et al., 2013**).

- **Utilisation en médecine traditionnelle**

Le rhizome de gingembre est utilisé depuis l'Antiquité dans les médecines alternatives grecque, romaine, asiatique, indienne, sri-lankaise, tibétaine, méditerranéenne et arabo-musulmane. Traditionnellement, il est employé pour soulager divers maux tels que les rhumes, les céphalées, les nausées, les troubles digestifs, la diarrhée, l'arthrite, les affections rhumatismales, les douleurs musculaires et la dyspepsie. Il est également reconnu pour ses propriétés carminatives, diaphorétiques, antispasmodiques, expectorantes, stimulantes de la circulation, astringentes et stimulantes de l'appétit (**Charles, 2013**).

Le gingembre est également mentionné dans le Coran : « *Et là, ils seront abreuvés d'une coupe dont le mélange sera de gingembre, puisé à une source nommée Salsabil.* » (**Sourate 76, Al-Insan, verset 17**).

2. Curcuma

2.1. Historique

Le *Curcuma longa* L. est une épice qui est utilisée dans les échanges commerciaux depuis si longtemps qu'il est impossible de retracer précisément son origine.

Le curcuma (*Curcuma longa*) est originaire du sud de l'Asie. Bien qu'il soit principalement cultivé en Inde, on le trouve également, dans une moindre mesure, en Chine, à Taïwan, au Japon, en Birmanie, en Indonésie et ailleurs (**Lepoivre, 2003**)

Utilisée depuis plus de 4000 ans, le curcuma est une plante emblématique de la médecine traditionnelle indienne, où elle est connue sous le nom de *Haridra* en ancien sanskrit. Considéré comme un symbole de prospérité et de bonne santé, il occupe une place centrale dans l'Ayurvêda. Il est également intégré depuis longtemps dans la médecine traditionnelle chinoise. En plus de ses vertus médicinales, le curcuma est apprécié pour son parfum, sa couleur jaune orangée utilisée comme colorant alimentaire et textile, ainsi que pour sa saveur légèrement âpre, amère, poivrée et aromatique en cuisine. On lui reconnaît aussi des propriétés de conservation des aliments (**Aggarwal et al., 2007**).

En Europe, le curcuma est mentionné dès le VI^e siècle dans les écrits de moines, suite à son introduction par les navigateurs. Il était déjà connu en Chine au VII^e siècle, en Afrique de l'Est au VIII^e siècle, et en Afrique de l'Ouest à partir du XIII^e siècle. La plante a été rapportée en Europe en 1298 par Marco Polo, qui l'a découverte en Chine, ainsi que par les Arabes au cours du XIII^e siècle (**Delaveau, 1987**).

2.2. Répartition géographique

L'origine du *Curcuma longa* L. reste incertaine, bien qu'il soit généralement considéré comme venant d'Asie du Sud, et plus précisément de l'Inde. Bien que cette plante ne se trouve pas véritablement à l'état sauvage, elle semble s'être naturalisée dans certaines régions. L'Inde est reconnue comme le centre de domestication du curcuma, qui y est cultivé depuis longtemps. Le curcuma a atteint la Chine avant le VII^e siècle, l'Afrique de l'Est au VIII^e siècle, et l'Afrique de l'Ouest au XII^e siècle. Il a été introduit en Jamaïque au XVIII^e siècle. Aujourd'hui, le curcuma est largement cultivé dans les régions tropicales du monde. En Afrique, il est souvent cultivé dans les jardins familiaux de nombreux pays et se trouve couramment sur les marchés (**T. Esatbeyoglu et al., 2012**).

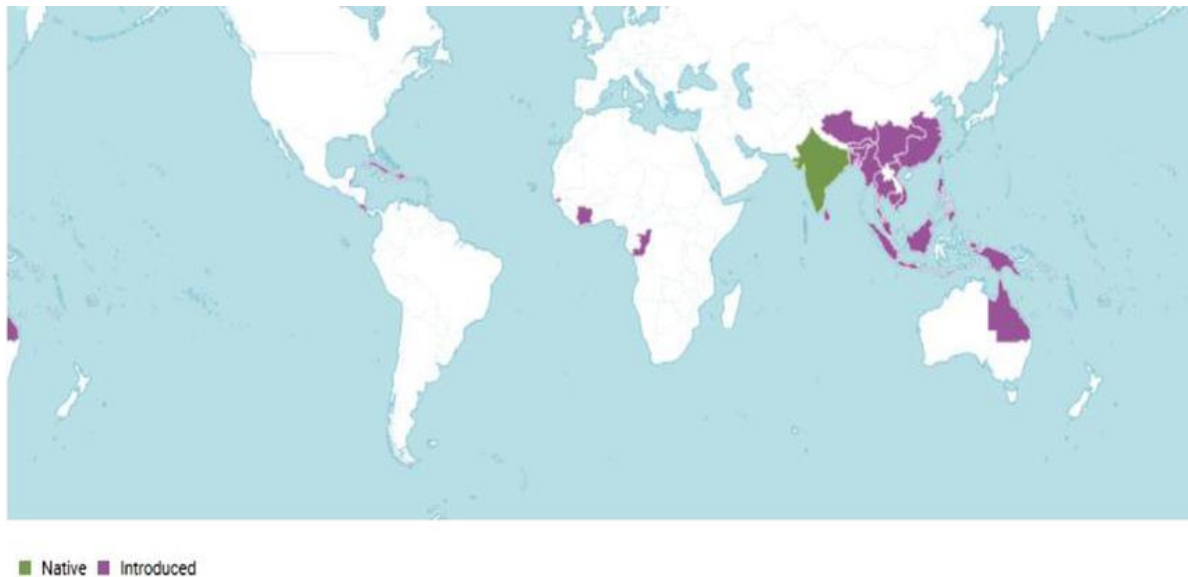


Figure 14 : Répartition mondiale des plantes de curcuma (T. Esatbeyoglu et al., 2012).

2.3. Description botanique

2.3.1. Partie souterraine:

Les rhizomes représentent la partie consommée comme épice. Une odeur aromatique se dégage après section du rhizome Les rhizomes représentent la partie consommée comme épice. Une odeur aromatique se dégage après section du rhizome (Penso, 2006).

2.3.2. Partie aérienne :

Ses feuilles, très longues, oblongues à elliptiques, engainantes, possèdent une puissante nervure axiale et des nervures secondaires parallèles. À l'aisselle des quelles, Les fleurs possèdent un calice Ses feuilles, très longues, oblongues à elliptiques, engainantes, possèdent une puissante nervure axiale et des nervures secondaires parallèles. À l'aisselle des quelles, naissent les fleurs de couleur blanche ou jaunâtre (Perry, 2008). Les fleurs possèdent un calice tubulaire, court, présentant 3 dents inégales et une corolle tubulaire à sa base, puis divisée en es étamines dont une seule fertile, bifide, l'anthère présentant un Ses feuilles, très longues, oblongues à elliptiques, engainantes, possèdent une puissante nervure axiale et des nervures secondaires parallèles. À l'aisselle des quelles, naissent les fleurs de couleur blanche ou jaunâtre tubulaire, court, présentant 3 dents inégales et 3 lobes jaunes inégaux. Des étamines dont une seule fertile, bifide, l'anthère présentant un large éperon courbé à la base. Un stigmate simple et en Crochet contenant de nombreuses graines arillées une corolle tubulaire à sa base, puis divisée en es étamines dont une seule fertile, bifide, l'anthère

présentant un ovaire infère, triloculaire, surmonté d'un style terminé par .Le fruit, rarement produit, est une capsule à trois loges, large éperon courbé à la base. Un ovaire infère, triloculaire, surmonté d'un style terminé par un stigmate simple et en Crochet .Le fruit, rarement produit, est une capsule à trois loges, contenant de nombreuses graines arillées (Penso, 2006).



Figure 15 : Différents parties de *Curcuma longa* L.

2.4. Classification botanique

Tableau 3 : Classification systématique du cation systématique du Curcuma (**Jansen, 2005**)

Nom français	<i>Curcuma</i>
Autre nom utilisé	Safran cooli, safran des Indes
Règne	Plantae
Sous embranchement	Magnoliophyta
Classe	Liliopsida
Ordre	Zingiberales
Famille	Zingiberaceae
Genre	<i>Curcuma</i>
Espèces	<i>Curcuma longa</i>

2.5. Composition chimique

Les plantes médicinales sont connues pour leur richesse en métabolites secondaires, des composés bioactifs responsables de leurs effets thérapeutiques. L'efficacité de la phytothérapie dépend ainsi étroitement de la composition chimique des plantes utilisées, ainsi que de leur teneur en ces métabolites (**Daayf & Lattanzio, 2008**).

Parmi ces plantes, *Curcuma longa* se distingue comme une source remarquable de métabolites secondaires, notamment les polyphénols, les huiles essentielles, ainsi que d'autres substances bioactives. L'analyse phytochimique de la poudre issue du rhizome séché de *Curcuma longa* met en évidence deux fractions principales : volatile et non volatile (**Bruneton, 2009**).

2.5.1. Fraction volatile

Cette fraction regroupe des substances aromatiques liquides naturellement présentes dans diverses parties des plantes. Très concentrées, volatiles, huileuses, et thermosensibles, ces substances constituent les huiles essentielles. Chez *Curcuma longa*, les huiles essentielles sont de couleur jaune et représentent environ 6 à 7 % du total du rhizome. Elles sont principalement composées de monoterpènes et de sesquiterpènes. Leur composition

qualitative et quantitative peut varier selon l'origine géographique de la plante et le stade de récolte (Vaquier, 2010 ; Garnero, 1996).

2.5.2. Fraction non volatile

2.5.2.1. Les polyphénols

Les curcuminoïdes font partie des principaux polyphénols identifiés dans le curcuma. Ils sont responsables de sa couleur caractéristique et sont reconnus pour leurs propriétés thérapeutiques dans les domaines de la santé et de la cosmétique. Parmi eux, la curcumine, un pigment naturel très utilisé dans l'industrie agroalimentaire comme colorant alimentaire (E100), représente le composé majoritaire (50 à 60 % des curcuminoïdes totaux) (Pinson, 2012).

Les curcuminoïdes sont insolubles dans l'eau, et nécessitent des solvants organiques pour leur extraction. Ils appartiennent à la famille des diarylheptanoïdes et leur teneur varie selon le cultivar, pouvant atteindre 8 %. Les principaux composés sont :

- Curcumine (Curcumine I) : structure : 1,7-bis(4-hydroxy-3-méthoxyphényl)-1,6-heptadiène-3,5-dione,
- Monodéméthoxycurcumine (Curcumine II),
- Bisdéméthoxycurcumine (Curcumine III) (Portes, 2008 ; Bruneton, 2009).

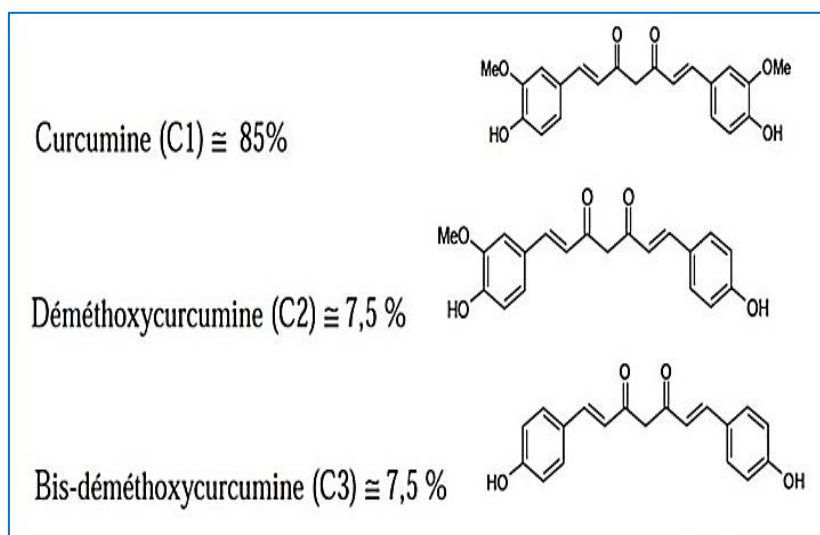


Figure 16 : Structure chimique des principaux curcuminoïdes (Portes, 2008).

2.5.2.2. Autres composants

Le rhizome de curcuma est riche en amidon (45 à 55%) et autres glucides (presque 70% en tout). Il contient aussi des protéines, 6.3% dont la turmerine, peptide hydrosoluble, des lipides à hauteur de 5% environ et 3.5% de minéraux (**Vaquier, 2010**).

2.6. Utilisation de curcuma

La plante *Curcuma longa* L. est largement utilisée dans les domaines pharmaceutique, commercial, culinaire ainsi que dans les recherches agroalimentaires.

- **Utilisation médicinale**

Le *Curcuma longa* L. a donné lieu à de nombreuses préparations thérapeutiques, en raison de ses propriétés antioxydantes, antimicrobiennes et anti-inflammatoires, reconnues et utilisées depuis des siècles dans diverses régions du monde.

La curcumine constitue un traitement efficace contre diverses affections respiratoires, telles que l'asthme et les allergies, mais également contre des troubles hépatiques, l'anorexie, les rhumatismes, le rhume et la sinusite (**Araujo et Leon, 2001**). En médecine traditionnelle chinoise, le curcuma est utilisé pour soulager les douleurs abdominales, grâce à ses propriétés carminatives et anti-infectieuses. Dans l'ancienne médecine hindoue, il servait au traitement des entorses et des enflures, tandis qu'à travers l'Orient, il était largement employé comme agent anti-inflammatoire (**Grubben, 2005**).

- **Utilisation pharmaceutique**

Selon les monographies de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), l'usage du *Curcuma longa* est recommandé pour le traitement des troubles digestifs, des maladies inflammatoires telles que les rhumatismes, l'arthrite et l'arthrose, ainsi que des affections cardiovasculaires, comme l'ont confirmé plusieurs études épidémiologiques. Son huile essentielle présente également des propriétés préventives contre certains cancers. De plus, le curcuma intervient dans le traitement de l'ostéoporose et contribue à limiter la perte osseuse post-ménopausique chez les femmes présentant un déficit en œstrogènes. Il est également reconnu pour ses effets bénéfiques dans la prévention de la maladie d'Alzheimer et le maintien de l'équilibre nerveux et mental (**Shahid, 2016**).

Sur le plan métabolique, l'huile essentielle de curcuma peut activer l'expression de gènes impliqués dans la glycolyse, la β -oxydation des acides gras ainsi que le métabolisme du cholestérol au niveau hépatique (**Jourdan, 2015**).

- **Utilisation agroalimentaire**

Dans le domaine agricole, l'huile essentielle de curcuma est employée pour lutter contre les contaminations fongiques des denrées alimentaires. Son activité antifongique a été démontrée in vitro sur des souches de micromycètes responsables de la dégradation des produits stockés, notamment dans les silos à grains. Les recherches ont identifié la turmérone comme le composé le plus actif de cette huile essentielle dans ce contexte (**Jourdan, 2015**).

- **Utilisation culinaire**

Le curcuma est couramment utilisé comme épice, mais également en tant qu'agent colorant dans une grande variété de produits alimentaires tels que le curry, la moutarde, le beurre, les fromages, les bouillons, les confitures, les gelées, les sucreries, les pastilles, les bonbons, les glaces, les pâtes de fruits, le caviar et les crevettes (**Hombourger, 2010**).

3. girofle

3.1. Historique

Le girofle est une épice connue depuis des siècles. Elle est mentionnée pour la première fois durant la dynastie des Han en Chine (220 av. J.-C. – 206 apr. J.-C.) (**Danthu et al., 2014**). Le terme « clou de girofle » provient du mot français *clou* et de l'espagnol *clavo*, tous deux signifiant « clou », en référence à sa forme caractéristique (**P. Kumar et al., 2011**).

Au XVI^e siècle, les Portugais mirent fin au monopole arabe sur le commerce maritime des épices (**François, 1936**). Puis, au début du XVII^e siècle, les Hollandais concentrèrent la culture du giroflier sur l'île d'Amboine en éliminant les plantations des autres îles, dans le but d'en augmenter artificiellement les prix (**Charles, 2013**). Cette politique de contrôle se poursuivit jusqu'au XVIII^e siècle pour maintenir la rareté et donc la valeur de l'épice (**Razafimamonjison et al., 2014**).

C'est dans ce contexte que la Compagnie Française des Indes confia une mission à Pierre Poivre afin de se procurer le précieux clou de girofle. Lors d'un premier voyage, il tenta de transporter clandestinement des plants de muscadier de Timor à l'île de France (aujourd'hui l'île Maurice), mais sans succès (**Ranoarisoa, 2012**). En 1773, il parvint néanmoins à récupérer des plants d'épices conservés par les Hollandais, qu'il fit planter sur l'île de La Réunion (**Mazerolles, 2008**).

3.2. Répartition géographique

Le giroflier est un arbre tropical appartenant à la grande famille des Myrtacées. Il est originaire d'Indonésie, du sud des Philippines, des îles Moluques, ainsi que de certaines régions d'Afrique et d'Amérique du Sud, où il est principalement cultivé dans des zones tropicales (Eric Penot *et al.*, 2014).

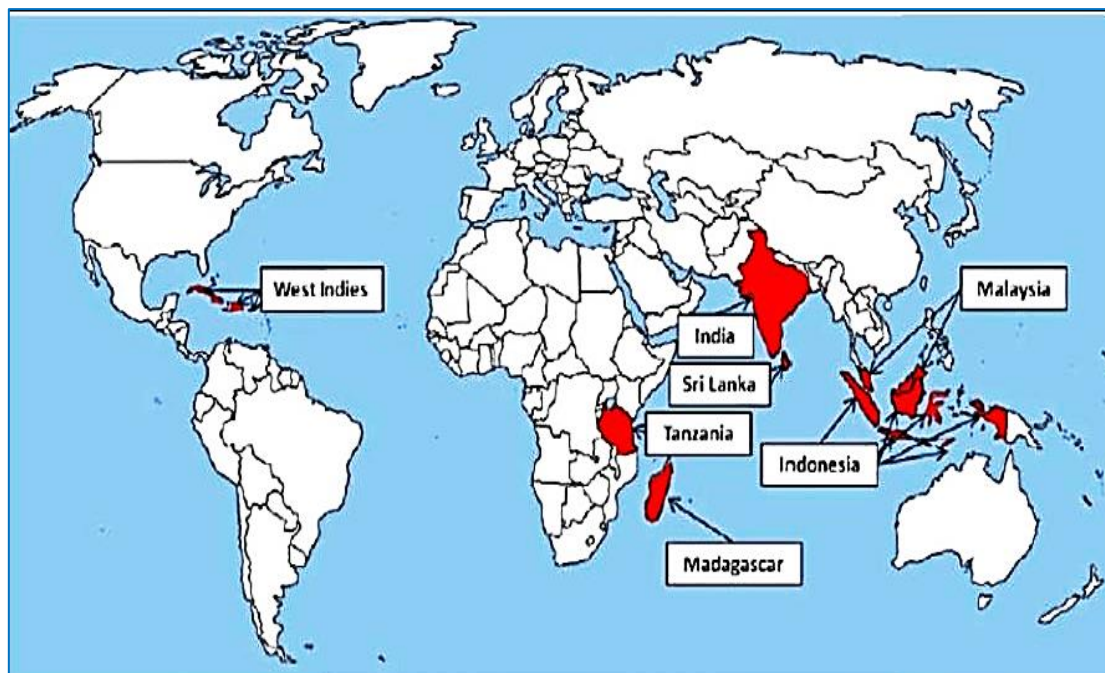


Figure 17 : Carte géographique des principaux producteurs de clou de girofle au monde (Kamatou, 2012)

3.3. Description botanique de girofle

Le giroflier est un arbre de la famille des Myrtacées, qui pousse uniquement dans les pays tropicaux (Cecchini, 2008).

C'est un arbre à feuilles persistantes avec une hauteur moyenne de 10 à 12 mètres (figure 1), qui peut atteindre une hauteur de 20 mètres, avec un port pyramidal et un tronc gris clair (Mohammed *et al.*, 2015).



Figure 18 : Allure d'un giroflier de Madagascar (Barbelet, 2015)

Ses grandes feuilles sont pétiolées, coriaces, elliptiques à lancéolées, de 9 à 12 cm de long sur 3,5 à 4,5 cm de large (figure 2); leur limbe est ponctué de nombreux points correspondant aux poches sécrétrices.



Figure 19 : Feuilles de giroflier (Barbelet, 2015) .

Les fleurs sont regroupées en cymes terminales en forme de parapluie divisé en 3 partie, de 10 à 14 mm de long (figure 3), elles sont de couleur pâle et deviennent progressivement verts, après elles se développent en un rouge vif, lorsqu'ils sont prêts à être collectés (Teuscher et al., 2005)



Figure 20 : Boutons floraux et fleurs de giroflier (Barbelet, 2015) .

Les clous de girofle sont récoltés de 1,5 à 2 cm de long, elles sont constituées d'un long calice et se terminant par quatre sépales et quatre pétales non ouverts qui forment une petite boule au centre (Hakki et al.,2007)

Lorsque la fleur a été fécondée, elle se transforme en une sorte de baie brun-violacée, charnue, contenant une graine assez volumineuse (figure 4)



Figure 21 : Clous de girofle récolté avant et après le séchage (Barbelet, 2015)

3.4. Classification botanique

Tableau 4 : Classification botanique de *Syzygium aromaticum* (Sophie, 2015)

Nom botanique	<i>Eugenia caryophyllata</i>
Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Embranchement	Magnoliophyta (=phanes)
Sous-embranchement	Magnoliophytina (=angiospermes)
Ordre	Myrtales
Famille	Myrtaceae
Sous-famille	Myrtoideae
Classe	Angiosperme
Sous-classe	Tiporées
Genre	<i>Syzygium</i>
Espèce	<i>Syzygium aromaticum</i>

3.5. Composition chimique du clou de girofle (*Syzygium aromaticum*)

Le clou de girofle est particulièrement riche en huile essentielle, représentant environ 15 à 20 % de sa masse dans les boutons floraux séchés. Le pédoncule floral (les griffes) contient quant à lui 5 à 6 % d'huile, tandis que les feuilles en renferment entre 3 à 4 %.

L'eugénol constitue le composé majoritaire de cette huile essentielle, avec une teneur variant de 70 à 85 %, ce qui lui confère ses propriétés biologiques majeures (antiseptique, anti-inflammatoire, antioxydant).

✓ Outre l'eugénol, l'huile contient également d'autres composés, notamment :

- des terpènes, dont environ 10 % de caryophyllène
- des composés aliphatiques et aromatiques,
- ainsi que des substances hétérocycliques

✓ Par ailleurs, le clou de girofle contient également :

- des tanins,
- une petite quantité d'amidon,
- et des fibres cellulosiques d'origine végétale.

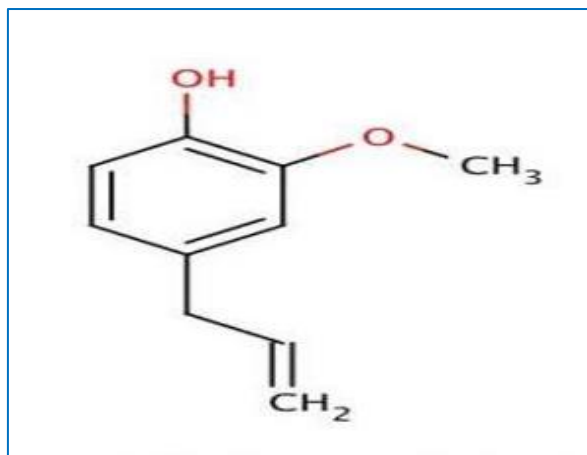


Figure 22 : Composé majeur de l'huile essentielle des clous de girofle.(Zoheir, 2023)

Selon la 3^e édition de la Pharmacopée européenne, l'huile essentielle de clous de girofle est composée de 75 à 88 % d'eugénol, de 5 à 14 % de β -caryophyllène, et de 4 à 15 % d'acétate d'eugényle.

Tableau 7: Composition de l'huile essentielle des clous de girofle.(Zoheir, 2023).

Constituants	Pourcentage (%)	Formule moléculaire
Eugénol	91,2	C ₁₀ H ₁₂ O ₂
β -caryophyllène	4,1	C ₁₅ H ₂₄
α -humulène	0,6	C ₁₅ H ₂₄
Acétate d'eugényle	2,9	C ₁₂ H ₁₄ O ₃
Époxyde de β -caryophyllène	0,5	C ₁₅ H ₂₄ O
Total	99,3	-

3.6. Utilisation de clou de girofle

- **Domaines médicinale**

Les boutons floraux du giroflier, appelés clous de girofle, sont reconnus depuis longtemps pour leurs propriétés antiseptiques et anesthésiques, notamment dans le traitement des douleurs dentaires. Ils entrent également dans la composition du khôl, utilisé à l'origine comme onguent ophtalmique. Le clou de girofle possède en outre des vertus anti-

inflammatoires et antibactériennes, le rendant efficace contre de nombreuses infections urinaires, digestives et cutanées.

- **Domaines culinaires**

En cuisine, le clou de girofle entre dans la composition de nombreuses préparations : pain d'épices, biscuits aux épices (souvent associé à la cannelle), pot-au-feu, marinades, choucroute. Il est également un ingrédient essentiel de nombreux currys et s'utilise couramment en infusion, notamment avec le thé

- **Domaines de cosmétique**

Le clou de girofle est également utilisé comme parfum d'ambiance, notamment sous forme de « pomme d'ambre », confectionnée en piquant une orange de clous de girofle sur toute sa surface. Son parfum caractéristique provient de l'eugénol, un composé aromatique appartenant à la famille des phénols.

PARTIE EXPÉRIMENTALE

CHAPITRE 3

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Matériels et Méthodes

1. Matériel végétale

Le **matériel végétal** représente le premier maillon fondamental de la chaîne de production agricole, constituant la base de toute valorisation agroalimentaire ou pharmaceutique. Dans le cadre de cette étude portant sur la **formulation de compléments alimentaires naturels**, trois **plantes médicinales d'usage traditionnel** ont été sélectionnées en raison de leurs **propriétés nutritionnelles et bioactives** bien établies dans la littérature scientifique :

- le **curcuma** (*Curcuma longa*),
- le **clou de girofle** (*Syzygium aromaticum*),
- et le **gingembre** (*Zingiber officinale*).

Ces plantes ont été choisies pour leur **richesse en composés secondaires** tels que les **phénols, flavonoïdes, huiles essentielles** et autres métabolites bioactifs, leur conférant des propriétés **antioxydantes, anti-inflammatoires** et **digestives** reconnues. Leur intégration dans une formulation de complément alimentaire s'inscrit dans une démarche de **valorisation des ressources naturelles** et de **promotion d'alternatives végétales** sûres et efficaces.

2. Méthodes utilisées

2.1. Préparation des poudres de plantes

La transformation des plantes en poudre consiste en différentes étapes qui sont : séchage, broyage et enfin le tamisage.

- **Séchage**

Les rhizomes de curcuma et de gengember ont été séchés au four à 60 °C pendant 3 jours



Figure 23 : Technique de séchage des plantes (original)

Les boutons floraux du giroflier séchés (*Syzygium aromaticum*) achetés du marché.

- **Broyage**

Les plantes sont broyées à l'aide d'un moulin à grain électronique équipé de deux lames. Ce dispositif, sans système de compression, assure une pulvérisation efficace grâce à une lame amovible et facile à nettoyer.

- **Tamissage**

Si nécessaire, la poudre de feuilles doit être tamisée à l'aide d'un tamis de laboratoire ou d'une tamiseuse, généralement utilisée pour garantir une action uniforme et obtenir une poudre homogène.

- **Conditionnement de la poudre**

Une fois la poudre bien tamisée, elle doit être placée dans des sacs ensuite mis sous vide, afin d'éviter toute diffusion d'air à l'intérieur du sac.

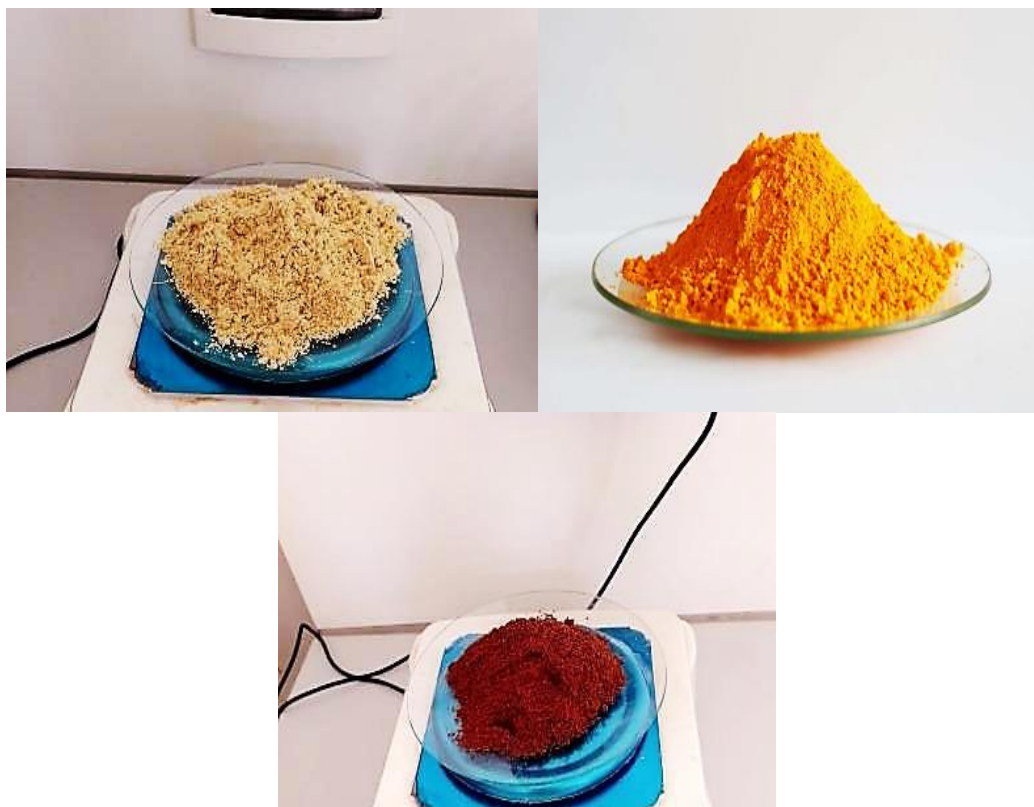


Figure 24 : Poudres des trois plantes végétales (original)

2.2. Identification des principes actifs

a. Préparation de l'extrait éthanolique de curcuma

Par 100 g de rhizome de curcuma avec 500 ml de éthanol, agité à température ambiante avec un agitateur électrique pendant une heure, L'extrait a été filtré et évaporé en utilisant un évaporateur rotatif à une température inférieure à 40°C.

Rendement : Le rendement de l'extrait obtenu est défini comme étant le rapport entre la masse de l'extrait et la masse du matériel végétale traité. Ce rendement est calculé par l'équation suivante (Abudunia, 2018)

$$R (\%) = (Me / Mv) \times 100$$

R (%) : Rendement exprimé en %.

Me : Masse de l'extrait en gramme.

Mv : Masse du matériel végétal en gramme

b. Préparation de l'extrait éthanolique de gingembre par (SOXHLET)

Une quantité de 40 g de poudre de gingembre a été introduite dans une cartouche en papier-filtre épais, un matériau perméable au solvant. Cette cartouche a été placée dans le

corps de l'extracteur. Ensuite, 250 ml d'éthanol ont été versés dans le ballon. L'ensemble a été porté à ébullition.

La vapeur d'éthanol traverse l'échantillon contenu dans l'extracteur, puis est condensée dans le condenseur avant de retomber sous forme liquide sur la cartouche contenant la poudre de gingembre. Le solvant condensé imbibe progressivement la poudre, jusqu'à atteindre un niveau suffisant pour être évacué par un siphon vers le ballon de distillation. Ce transfert emporte avec lui les composés extraits par macération.

Chaque cycle comprend les étapes suivantes : ébullition du solvant, condensation, macération de l'échantillon, puis vidange par effet de siphon. Ce processus a été répété deux fois consécutivement. Le cycle se poursuit tant que l'ébullition du solvant est maintenue (Malik, 2022)

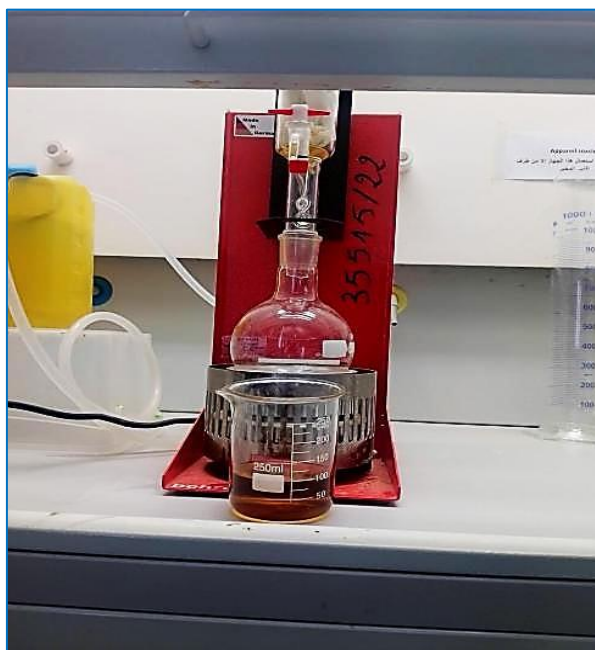


Figure 25 : Méthode d'extraction de gengember par soxhlet (original)

c. Préparation de huiles essentiel de girofle par les hydro-distillation

Plusieurs techniques permettent l'extraction des essences végétales, et le choix de la méthode dépend généralement du type de plante à traiter. L'hydrodistillation reste la méthode la plus couramment utilisée.

Étape 1 : Hydrodistillation

Dans cette étape, 100 g de matière végétale broyée à l'aide d'un moulin à café sont introduits dans un ballon Bicol en verre de 2000 ml, composant un appareil de type Clevenger. À l'aide d'un entonnoir, 1000 ml d'eau distillée sont ajoutés, en veillant à ne pas remplir complètement le ballon pour éviter tout débordement lors de l'ébullition.

Le mélange est ensuite porté à ébullition pendant trois heures à l'aide d'un ballon chauffant. Sous l'effet de la vapeur d'eau, les huiles essentielles sont entraînées, puis les vapeurs sont condensées via un réfrigérant à eau. Le distillat est récupéré dans un erlenmeyer de 500 ml. Ce distillat contient deux phases non miscibles :

- une phase aqueuse majoritaire, constituée d'eau avec une faible proportion de composés odorants,
- une phase organique, formée par l'huile essentielle, riche en composés aromatiques.



Figure 26 : Hydrodistillation par Clevenger (original)

Étape 2 : Relargage

Le relargage a pour objectif de réduire la solubilité de l'huile essentielle dans l'eau. Pour cela, une spatule de chlorure de sodium (NaCl) est ajoutée au distillat, puis dissoute par agitation (voir Figure 15). L'ajout de sel accroît la séparation des deux phases, car l'huile essentielle de clou de girofle est moins soluble dans une solution saline que dans l'eau pure.

Étape 3 : Extraction par solvant

Afin de récupérer l'huile essentielle dissoute dans la phase aqueuse, une extraction est réalisée à l'aide d'un solvant organique non miscible à l'eau, ici le cyclohexane, dans lequel l'huile essentielle est très soluble. Le distillat est versé dans une ampoule à décanter, et l'extraction est effectuée en trois étapes successives avec 100 ml de cyclohexane à chaque fois. Les phases organiques obtenues sont ensuite réunies.

Étape 4 : Séchage et filtration

Les **phases organiques combinées** sont tout d'abord **séchées à l'aide de sulfate de magnésium anhydre (MgSO_4)**, qui permet d'éliminer les **traces résiduelles d'eau** (Figure27).

Après une période de contact suffisante, le mélange est **filtré** afin de retirer le desséchant. La **phase organique purifiée** est ensuite **concentrée par évaporation sous pression réduite**, à l'aide d'un **évaporateur rotatif** (type Rotavapor), à température modérée, ce qui permet de préserver les composés volatils.

Ce processus conduit à l'obtention d'une **huile essentielle de couleur jaunâtre**, représentant la fraction lipophile des extraits.

L'huile obtenue est conservée dans un flacon en verre ambré, hermétiquement fermé, stocké à 4 °C, à l'abri de la lumière.



Figure 27 : Technique d'évaporation sous vide par évaporateur rotatif

Rendement en huile essentielle

Le rendement correspond au pourcentage de la masse d'huile essentielle extraite par rapport à la masse de matière végétale sèche utilisée. Il est exprimé selon la formule suivante (Makhloufi, 2024) :

$$R = (M_h / M_p) \times 100$$

- R : Rendement en huile essentielle (%)
- M_h : Masse de l'huile essentielle obtenue (en grammes)
- M_p : Masse de poudre de clou de girofle utilisée (en gramme)

2.2.1. Screening phytochimique:

2.2.2. Détection des composés phénoliques (Réaction au FeCl₃)

Le but de ces tests est la mise en évidence des composés phénoliques présents dans la solution aqueuse obtenue.

Teste N°01 :

Prélever 2 ml de la solution d'extrait et verser le dans un tube à essai, puis ajouter quelques gouttes d'une solution de chlorure de fer (FeCl₃) à 10 %. Cette réaction permet de détecter la présence de composés phénoliques (Békro et al., 2007).

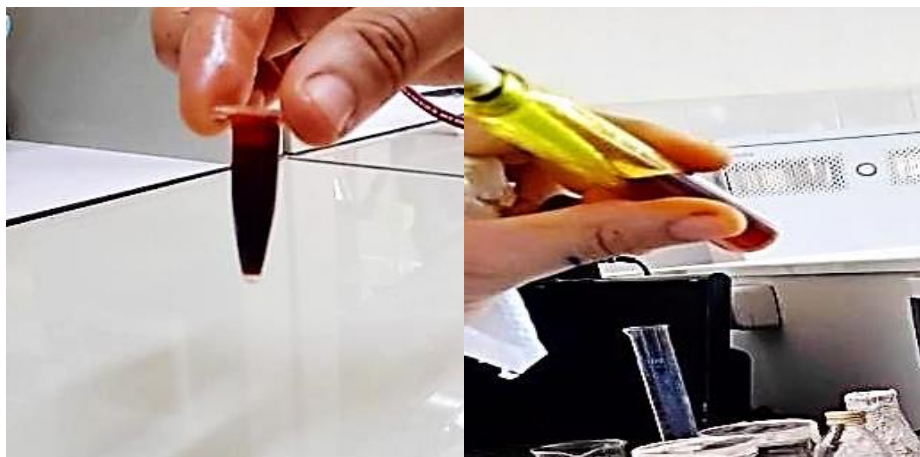


Figure 28 : Détection des composés phénoliques (Original)

2.2.3. Détection du flavonoïde (Réaction à la cyanidine)

Cette réaction a été réalisée en suivant le protocole proposé par Békro et al. (2007), avec quelques ajustements. Le déroulement expérimental est le suivant :

Teste N°01 :

- À la fin de chaque temps d'extraction, prélever 2 ml de l'extrait aqueux et les introduire dans un tube à essai contenant une solution d'alcool chlorhydrique (préparée à partir de 4 ml d'éthanol et 1 ml d'acide chlorhydrique (HCl)).

- Ajouter ensuite deux à trois fragments de magnésium métallique.

L'apparition d'une coloration rose-orangé ou violacée dans la solution analysée indique la présence de flavonoïdes, dont les types peuvent être différenciés par la teinte observée.

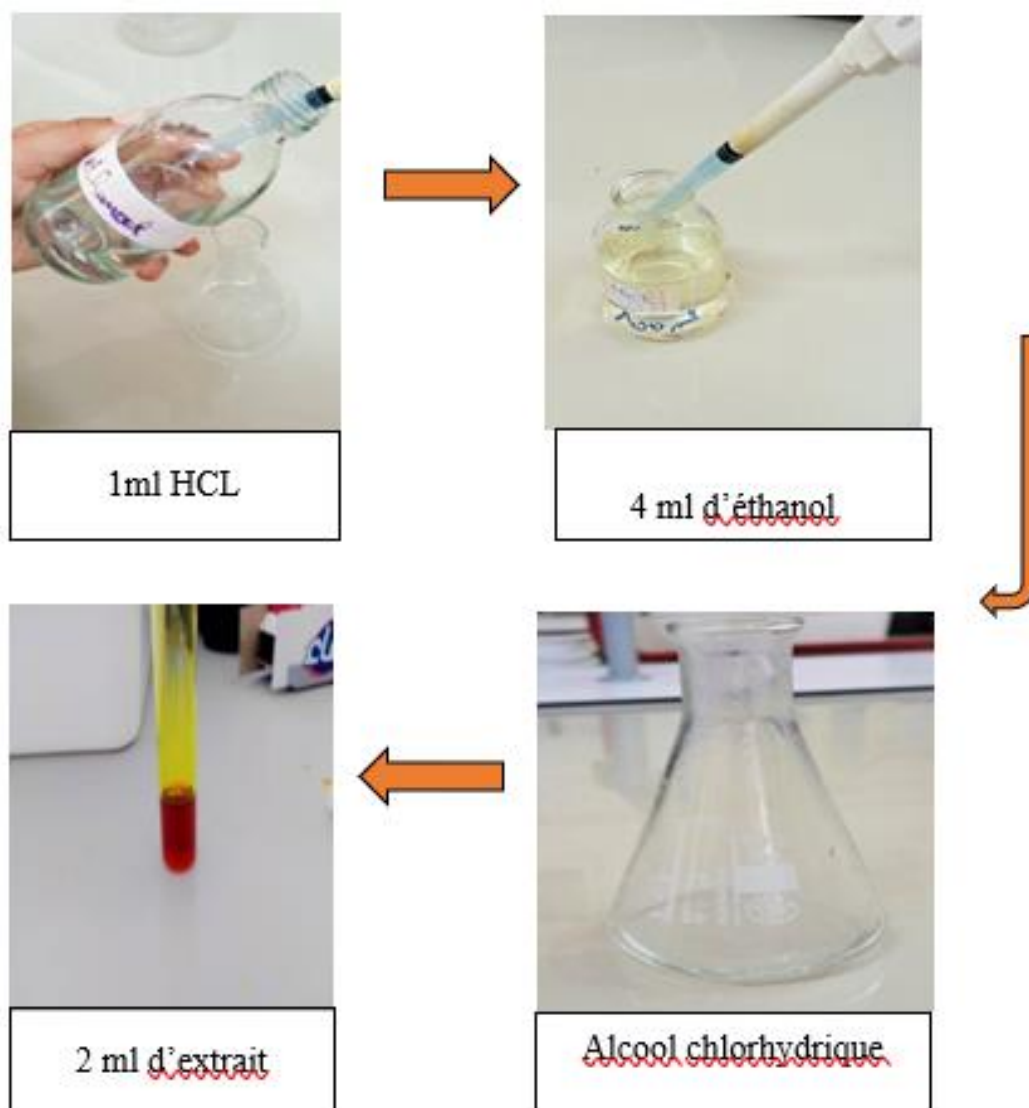


Figure 29 : Détection du flavonoïde _ test1 (Original)

Teste N°02 :

La mise en évidence des flavonoïdes a été réalisée selon la méthode décrite par Trease et Evans (1987).

- Pour ce faire, 5 ml de l'extrait éthanolique sont introduits dans un tube à essai, puis quelques gouttes d'acide chlorhydrique (HCl) sont ajoutées, suivies de l'introduction de quelques copeaux de magnésium métallique.

L'apparition d'une coloration rose à rouge indique la présence de flavonoïdes dans l'extrait analysé.

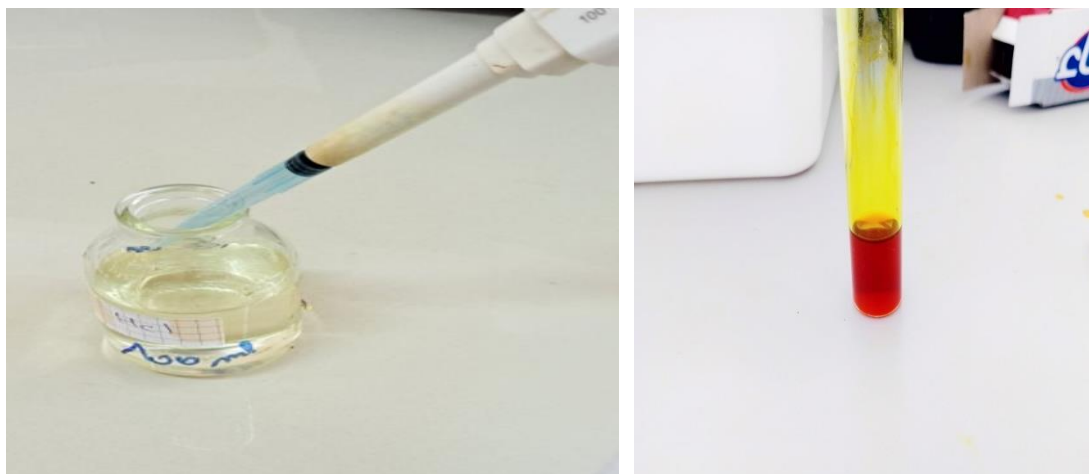


Figure 30 : Détection du flavonoïde_ test 2 (Original)

2.3. Evaluation des activités biologiques

a) Activité anti-oxydante

L'activité antioxydante a été mesurée en utilisant la méthode de piégeage du radical libre DPPH, conformément au protocole décrit par **Boulila et al. (2015)**.

Principe :

La méthode utilisant le radical DPPH repose sur la capacité des antioxydants à réduire une solution alcoolique contenant le radical stable 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle (DPPH). En présence d'un antioxydant capable de donner un atome d'hydrogène (AH), le DPPH est transformé en une forme non radicalaire, le DPPH-H. Ce processus de réduction s'accompagne d'un changement de couleur : le DPPH, violet foncé à l'état libre, vire au jaune pâle après avoir réagi avec l'antioxydant, signe du transfert d'électrons.

Cette réaction de réduction se manifeste par une baisse de l'absorbance de la solution de DPPH•, mesurée par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 517 nm. Cette variation est comparée à celle obtenue avec un standard, l'acide ascorbique.

➤ Mode opératoire

Une solution méthanolique de DPPH à une concentration de 0,04 g/L est préparée. Un volume de 2 mL de cette solution est ajouté à 1 mL de chaque dilution de l'extrait méthanolique ainsi que de l'acide ascorbique. Après une incubation de 30 minutes à l'abri de la lumière, l'absorbance de chaque mélange est mesurée à 517 nm. Les courbes représentant le pourcentage d'inhibition du DPPH en fonction de la concentration (en mg/mL) de l'extrait méthanolique et de l'acide ascorbique sont ensuite tracées.

b) Activité anti-inflammatoire

L'activité anti-inflammatoire a été évaluée en utilisant la méthode de dénaturation des protéines, selon les recommandations d'Alhakmani (**Alhakmani et al., 2013**).

➤ Mode opératoire

Le mélange réactionnel est composé de 1 ml d'extrait méthanolique de l'espèce étudiée, préparé à différentes concentrations (100 à 500 µg/ml), auquel sont ajoutés 100 µl d'eau distillée ajustée à un pH de 6,3 à l'aide d'un tampon PBS, ainsi que 1 µl d'albumine d'œuf. Le mélange est ensuite incubé à 37°C pendant 20 minutes. La même procédure est reproduite avec l'acide acétylsalicylique, utilisé comme référence. La dénaturation des protéines est ensuite induite en plaçant le mélange dans un bain-marie à 70°C pendant 5 minutes. Après refroidissement, l'absorbance est mesurée à 660 nm en utilisant l'eau distillée comme blanc.

c) Activité antibactérienne

1. Souches bactérienne testées

Les quatre souches bactériennes testées dans cette étude sont des bactéries pathogènes, fournies par le professeur Amira amira. Quelques-unes de leurs caractéristiques générales sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 5 : Caractéristiques générales des bactéries testées. (**Abedini, 2014**)

Nom de la souche	Gram	Famille
<i>Escherichia Coli</i>	Négatif (-)	Enterobacteriaceae
<i>Pseudomonas Aeruginosa</i>	Négatif (-)	Pseudomonadaceae

<i>Bacillus subtilis</i>	Positif (+)	Bacillaceae
Staphylococcus Aureus	Positif (+)	Micrococcaceae

Principe

Pour évaluer l'activité antimicrobienne de nos extraits, nous avons utilisé la méthode de diffusion sur milieu gélosé. Cette technique repose sur le même principe que celui des tests d'antibiogramme, à savoir l'application de disques imprégnés de principes actifs sur des milieux de cultureensemencés de micro-organismes.

L'activité antimicrobienne, lorsqu'elle est présente, se manifeste par des zones d'inhibition autour des disques. Plus le diamètre de la zone d'inhibition autour de la colonie bactérienne est grand, plus la souche est sensible à l'antibiotique ; à l'inverse, plus ce diamètre est petit, plus la bactérie est résistante (**Herouini et al., 2015**).

Pour évaluer l'activité antibactérienne des extraits des plantes étudiées, les étapes suivantes ont été suivies

2. **Stérilisation du matériel** : L'eau physiologique, les milieux de culture, les tubes à essai utilisés pour préparer la suspension bactérienne, ainsi que les disques en papier Whatman, sont enveloppés dans du papier aluminium et stérilisés à l'autoclave.
3. **Préparation du GMH** : La gélose Mueller-Hinton (GMH) est un milieu standardisé recommandé pour étudier la sensibilité des bactéries peu exigeantes aux antibiotiques.
 - Dissoudre 32 grammes de gélose dans 1 litre d'eau distillée.
 - Chauffer et agiter jusqu'à ébullition pour assurer une dissolution complète du milieu.
 - Verser la solution obtenue dans des flacons.
 - Stériliser par autoclave à une pression de 15 lb (121 °C) pendant 15 minutes.
 - Après autoclave, laisser refroidir à une température de 45-50 °C.
 - Verser le GMH dans des boîtes de Pétri jusqu'à solidification de l'agar.

4. Préparation des disques

Les disques sont fabriqués à partir de papier Whatman n° 3 avec un diamètre de 6 mm par l'emporte-pièce. Ensuite, ces disques sont mis dans un tube à essai, stérilisés à l'autoclave, puis stockés à une température ambiante.

5. Réactivation et repiquage des bactéries

Après la stérilisation du plan de travail par l'eau de javel et bec bunsen, puis repiquées les bactéries sur gélose nutritif en boîtes de Pétri (90 mm) par la méthode des stries, puis incubées à 37°C pendant 24h afin d'obtenir des colonies isolées qui vont servir à la préparation d'inoculum.



Figure 31 : Repiquage des bactéries sur gélose nutritif (original)

6. Préparation des dilutions

Pour obtenir différentes concentrations de nos extraits, nous avons dilué les extraits purs dans du DMSO. Ce choix a été fait car le DMSO est le solvant de préférence pour la plupart des chercheurs.

Tableau 6 : les différentes dilutions utilisées.

Solution mère (SM)	Dilution 1 (D1)	Dilution 2 (D2)	Dilution 3 (D3)
1ml d 'extrait	750µl de SM 250µl DMSO	660 µl de D1 340µl DMSO	500µl D2 500µl DMSO

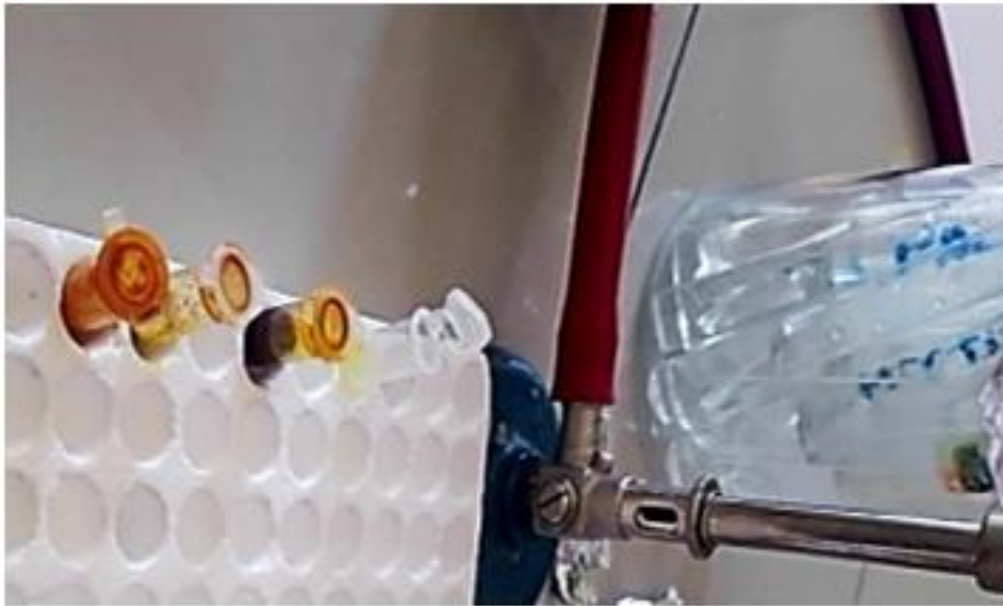


Figure 32 : Les différentes concentrations de nos extraits (original)

7. Préparation de l'inoculum bactérien

Une portion de la colonie cible obtenue après revivification a été prélevée à l'aide d'une pipette Pasteur, puis homogénéisée avec une petite quantité d'eau physiologique stérile dans un tube sec. Le mélange a ensuite été agité et la densité bactérienne mesurée jusqu'à atteindre un intervalle de 0,50 à 0,63. À l'aide d'une pipette de gramme, soit pour des bactéries positives (280 μ l) soit pour des bactéries négatives (145 μ l), le volume nécessaire a été pris et homogénéisé avec 3 ml d'eau physiologique, jusqu'à obtenir une densité microbienne de 10^8 UFC/ml (DO = 0,08 à 0,1 pour une longueur d'onde $\lambda = 625$ nm).

8. Ensemencement

La culture est réalisée dans un milieu stérile, en présence d'un bec de Benzène.

- Un écouvillon stérile est trempé dans la suspension bactérienne (cela évite toute contamination du manipulateur et de la paillasse).
- L'écouvillon est ensuite étalé sur toute la surface de la gélose sèche, en traçant des stries serrées de haut en bas.
- Cette opération est répétée plusieurs fois, en faisant tourner la boîte de Pétri de 60° à chaque fois, tout en pivotant l'écouvillon sur lui-même.
- L'ensemencement se termine par un passage de l'écouvillon sur la périphérie de la gélose.

- Des disques stériles imprégnés de différentes concentrations d'extrait de plante (10 μ l par disque) sont ensuite placés sur la surface de la gélose à l'aide d'une pince stérile, près du bec de Benzène (1 disque de la solution mère, 3 disques pour les dilutions, et 1 disque de DMSO servant de témoin négatif).

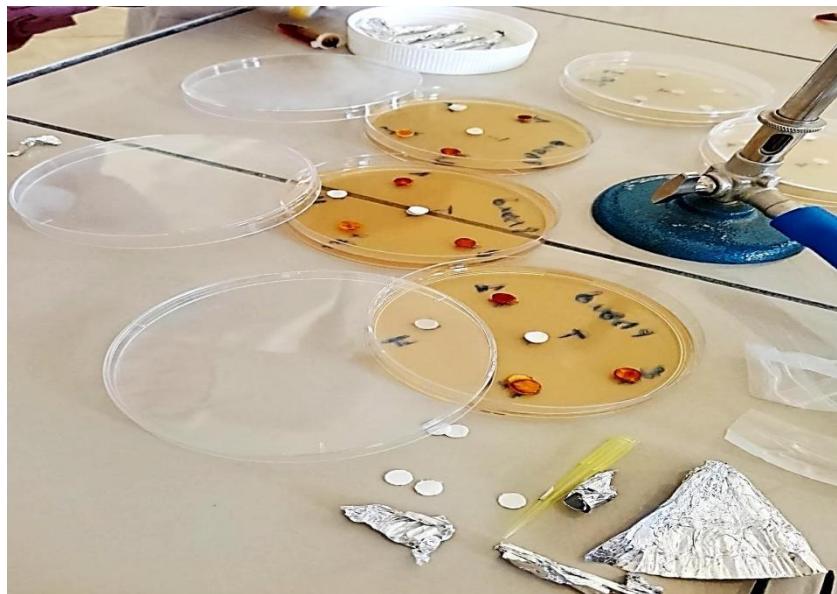


Figure 33 : Disposition des disques d'extraits dans la boîte (origine)

9. Incubation et Lecture

Les boîtes de Pétri sont fermées et placées dans l'étuve pour une incubation à 37°C pendant 24 heures. L'activité antibactérienne est évaluée en mesurant, à l'aide d'une règle, le diamètre de la zone d'inhibition autour des disques, en fonction des différentes concentrations de l'extrait. La mesure est effectuée sur le verso des boîtes de Pétri.

10. Expression des résultats

L'activité antibactérienne a été évaluée en mesurant, à l'aide d'une règle, le diamètre de la zone d'inhibition autour des disques, en fonction des différentes concentrations de l'extrait. La mesure a été effectuée sur le verso des boîtes de Pétri.



Figure 34 : Mesure du diamètre de la zone d'inhibition autour des disques (original)

2.4. analyses physico-chimiques

2.4.1. Teneur en eau(gravimétrique)

➤ Principem

La connaissance de la teneur en extrait sec d'un produit est essentielle, car elle permet de mieux comprendre son comportement et ses interactions avec l'environnement. La détermination de la matière sèche repose sur la perte d'eau suite à un processus de dessiccation.

➤ Mode opératoire

Les capsules, ainsi que leurs couvercles, sont séchées dans une étuve pendant 30 minutes à 105°C, puis refroidies dans un dessiccateur. Ensuite, on place 2 g de l'échantillon dans les capsules et on les étuve à 105°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant.

$$M \text{ sèche} = \left[\frac{m1 - m0}{Pe} \right] \times 100$$

- M : Matière sèche de l'échantillon.
- Pe : Masse de la prise d'essai (c'est-à-dire la masse de l'échantillon avant séchage).
- m0 : Masse de la capsule vide et du couvercle.
- m1 : Masse de la prise d'essai après séchage (capsule avec échantillon et couvercle).
- W : Teneur en eau de l'échantillon, exprimée en pourcentage

$$W = 100 - M \text{ sèche}$$

2.4.2. Teneur en cendres (incinération/gravimétrie):

➤ **Mode opératoire:**

Chauffer les capsules dans le four pendant 30 minutes à 550°C, puis les peser. Ensuite, placer 2 g de l'échantillon dans les capsules refroidies et les incinérer dans le four à 550°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant

➤ **Formule et calcul:**

C : cendre.

$$C = (m_2 - m_0) \times 100 / m_1$$

m₀ : poids de la capsule vide.

m₁ : poids de la prise d'essai.

m₂ : poids de la prise d'essai après four.

2.4.3. Teneur en protéines

➤ **Mode opératoire**

• **Minéralisation**

Introduire 1 g de l'échantillon dans un tube à digestion, puis ajouter 15 g de sulfate de potassium (K₂SO₄) et 1 g de sulfate de cuivre (CuSO₄) comme catalyseur. Ajouter ensuite 25 ml d'acide sulfurique concentré (H₂SO₄). Chauffer le mélange jusqu'à l'apparition d'une couleur verte, signe de la fin de l'oxydation. À partir de ce moment, poursuivre le chauffage pendant 2 heures supplémentaires. Une fois la digestion terminée, ajouter 50 ml d'eau distillée pour diluer le mélange.

• **Distillation**

Ajouter 100 ml de soude (NaOH) à 40 %, puis procéder à une distillation complète de l'ammoniac libéré.

• **Tirage**

Plonger l'extrémité du réfrigérant dans un bécher contenant 25 ml d'acide sulfurique (H₂SO₄) additionné de quelques gouttes de rouge de méthyle comme indicateur. Réaliser ensuite un titrage avec une solution de soude (NaOH) 0,1 N jusqu'au changement de couleur de l'indicateur, passant du rose au jaune

➤ **Formule et calcul**

P : protéine exprimée en %

$$P = [(v-v_0) \times C \times 0.014 \times 100 \times 6.25] / m$$

v₀ : volume de l'essai à blanc.

v : volume titré.

C : concentration du NaOH : 0.1 mol/L.

m : prise d'essai.

2.4.4. Teneur en glucides

100 - (humidité + protéine + matière grasse + minéraux)

➤ **Valeurs énergétiques**

Kcal : la somme (matière grasse×9 + protéine×4 + glucides×4)

Kj : la somme (matière grasse×37 + protéine×17 + glucides×17)

2.5. Analyses microbiologiques

■ **Détermination d'*Escherichia coli***

Elle a été recherchée conformément à l'arrêté du 11 novembre 2017. Cinq millilitres du milieu Bacto-EC et 1 ml de la suspension mère ont été incubés à 37°C pendant 24 heures. Les colonies caractéristiques d'*Escherichia coli* sont de couleur bleue sur milieu Chromocult et peuvent être confirmées par un test de fermentation de l'indole.

■ **Détermination des *anaérobies sulfito-réducteurs***

Ils ont été recherchés selon la norme ISO 7954 et l'arrêté du 29 juillet 2012. Cinq millilitres du milieu Bacto-SulfiteAgar et 1 ml de la suspension mère ont été pasteurisés à 80°C dans un autoclave de marque Bosch pendant 10 minutes. Les colonies caractéristiques des *anaérobies sulfito-réducteurs* sont de couleur noire (formation du sulfure de fer) et se développent généralement le long ou au fond du tube

■ **Détermination des *levures et moisissures***

Elles ont été recherchées conformément à l'arrêté du 4 août 2015. Un échantillon de 10 g a été mis en suspension dans 90 ml d'eau et incubé à 25°C pendant 5 à 7 jours. Les colonies

caractéristiques des levures et moisissures se forment sous forme de colonies duveteuses, blanches à crémeuses, parfois colorées, sur milieu Sabouraud

■ **Détermination des *staphylocoques à coagulase positive***

Ils ont été recherchés selon l'arrêté du 21 mai 2014. 1 ml de la suspension mère a été ensemencé sur un milieu de culture de Manitol-Sel-Agar et incubé à 37°C pendant 24 heures. Les colonies de staphylocoques à coagulase positive sont généralement de couleur dorée et fermentent le mannitol, produisant une zone jaune autour des colonies

■ **Détermination de *Bacillus cereus* (ISO 7932:2004)**

Il a été recherché selon la norme ISO 7932:2004. 1 ml de la suspension mère a été ensemencé sur un milieu de culture sélectif (PCA) et incubé à 30°C pendant 24 heures. Les colonies caractéristiques de *Bacillus cereus* sont généralement de couleur blanche à beige, avec un diamètre de 1 à 2 mm et une consistance crémeuse.

■ **Détermination de *Salmonella***

Elle a été recherchée conformément à l'arrêté du 5 février 2017. 1 ml de la suspension mère a été ensemencé dans un milieu sélectif (RS-Violet) et incubé à 37°C pendant 24 à 48 heures. Les colonies de *Salmonella* se caractérisent par des colonies de couleur rouge sur le milieu sélectif, souvent accompagnées d'un halo noir autour de la colonie due à la production de sulfure de fer.

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION

Résultats et discussion

1. Résultat de Screening phytochimique

Tableau 7 : Teneur en flavonoïdes et en polyphénols

Molécules bioactives	Résultats attendus	Résultats obtenus
flavonoïdes	Teste 1 = coloration rose-orangé ou violacée	+++ 
	Teste 2 = rose à rouge	+++ 
polyphénols	Teste 1 = vert foncé	+++ 

(+++): Teste fortement positif

Les résultats expérimentaux illustrés par les photos confirment clairement la présence de flavonoïdes et de polyphénols dans l'extrait étudié.

1.1. Flavonoïdes

Les deux tests réalisés ont donné des résultats fortement positifs (+++), comme en témoignent les colorations observées :

- Le test 1 a révélé une coloration violacée bien marquée au fond du tube à essai, correspondant à la réaction caractéristique des flavonoïdes avec certains réactifs (souvent l'acétate d'aluminium ou des bases fortes).
- Le test 2, quant à lui, a montré une coloration rouge vif, indiquant également une forte présence de flavonoïdes. Ces colorations sont dues à l'interaction des noyaux flavoniques avec les réactifs, entraînant un changement de couleur révélateur.

Les photographies appuient ces observations avec des teintes intenses et nettes, traduisant une teneur élevée en flavonoïdes.(**Bruneton, 2009**).

1.2. Polyphénols

Le test de détection des polyphénols a également montré une réponse très positive (+++), visible par la coloration vert foncé apparaissant dans l'un des tubes. Cette réaction est typique de l'interaction des groupes hydroxyles phénoliques avec le chlorure ferrique (FeCl₃), formant un complexe coloré.

L'intensité de la couleur observée sur la photo suggère une concentration importante en composés polyphénoliques, ce qui renforce l'intérêt biologique potentiel de l'extrait, notamment pour ses propriétés antioxydantes (**Pietta, 2000**).

• Conclusion

Ces résultats visuels et colorimétriques, clairement mis en évidence sur les photos, confirment que l'extrait analysé est riche en flavonoïdes et polyphénols, deux familles de métabolites secondaires connues pour leurs effets antioxydants, anti-inflammatoires et protecteurs cellulaires. Leur présence justifie en partie l'usage thérapeutique traditionnel de la plante source.(**Daayf & Lattanzio, 2008**).

2. Evaluation des activités biologiques

Nous avons évalué les activités biologiques (antioxydante, antiinflammatoire et antibactérienne) afin de valoriser les effets nutritionnels des plantes. Les résultats obtenus sont les suivants :

2.1. Activité anti-oxydante

L'activité antioxydante des plantes a été évaluée par le test de DPPH. La courbes de piégeage antioxydantes tracées en utilisant l'acide ascorbique (Figure) et la méthode de piégeage du radical DPPH comme étalon en fonction de la concentration de l'extrait de la plante Figure 14 , et sont exprimés en mg/ml (Tableau 5).

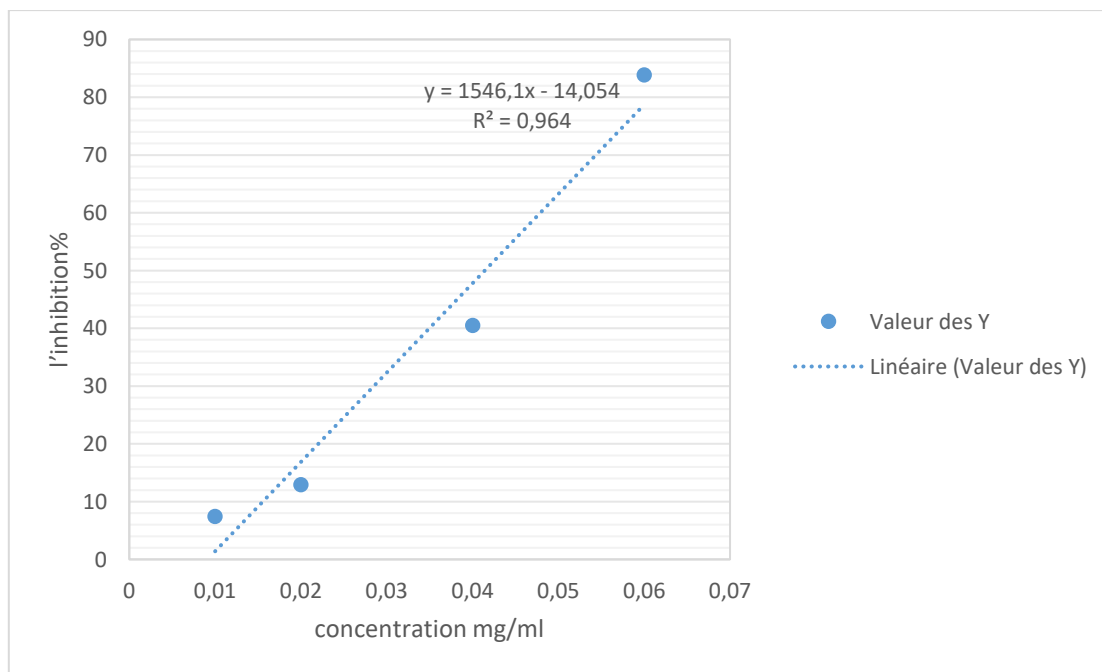


Figure 35 : Pourcentage de piégeage du radical DPPH en fonction de la concentration de l'extrait méthanolique du mélange (Original)

Tableau 8 : Valeurs des concentrations inhibitrices à 50% (IC₅₀) (Activité anti-oxydante)

Espèce	Acide ascorbique	Le mélange
IC ₅₀ (mg/ml)	0,040	0,0414

Les résultats de l'activité antioxydante du mélange des plantes étudié révèlent une valeur d'IC₅₀ élevée et proche de celle enregistrée pour la molécule standard utilisée (acide ascorbique), dont l'IC₅₀ est de 0,040 mg/ml.

Le mélange des plantes a montré une forte activité antioxydante, avec une valeur d'IC₅₀ proche de celle de l'acide ascorbique (0,040 mg/ml). Cette efficacité est probablement liée à

la richesse du mélange en composés phénoliques et flavonoïdiques. L'effet synergique entre les constituants bioactifs semble renforcer cette action. Ainsi, ce mélange représente une source naturelle prometteuse d'antioxydants. (Wu & Schaich, 2005)

2.2. Activité anti-inflammatoire

Les plantes constituent une source potentielle de molécules bioactives qui empêche la dénaturation des protéines tissulaires. Le diclofenac est utilisée comme standard (Figure 36). Les résultats de l'activité anti-inflammatoire de cette plante sont représentés dans les figures et le tableau 17.

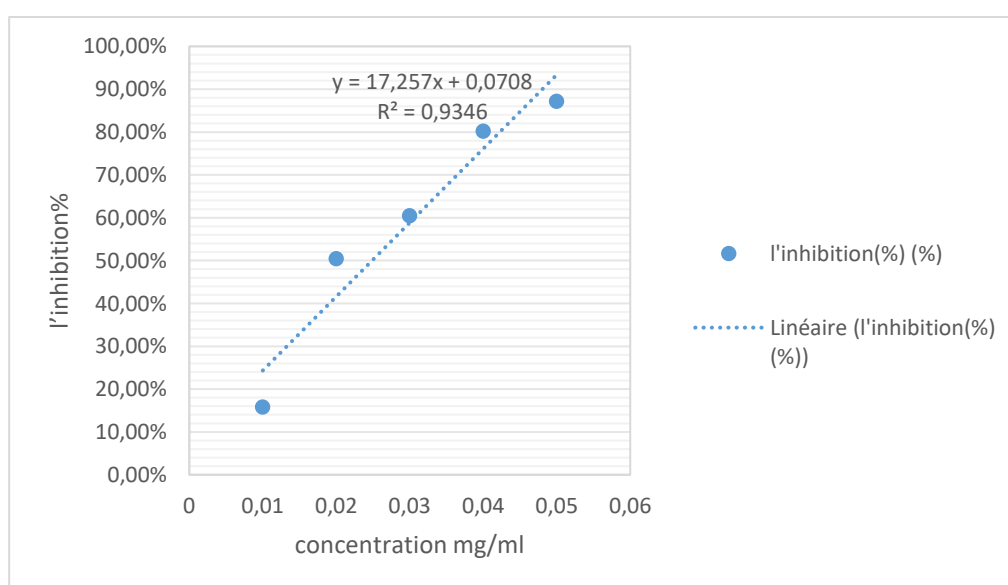


Figure 36 : Pourcentage d'inhibition de la dénaturation des protéines en fonction de la concentration du mélange

Tableau 9 : Valeurs des concentrations inhibitrices à 50% (IC50) (anti inflammatoire)

Espèce	déclonifance	Le mélange
IC50(mg/ml)	0,28	0,027

Les résultats obtenus montrent que le mélange de plantes étudié possède une activité anti-inflammatoire significative, avec une valeur de IC50 = 0,027 mg/ml, nettement inférieure à celle du diclofénac utilisé comme référence (IC50 = 0,28 mg/ml).

Cette différence suggère que le mélange est plus efficace que le médicament de référence pour inhiber la dénaturation des protéines, un mécanisme souvent impliqué dans les processus inflammatoires.

La corrélation linéaire obtenue ($R^2 = 0,9346$) indique également une bonne fiabilité des données expérimentales. Cette activité élevée pourrait être attribuée à la synergie entre les composés bioactifs présents dans les différentes plantes composant le mélange, renforçant ainsi l'effet anti-inflammatoire global.

Ces résultats soulignent le potentiel thérapeutique prometteur du mélange végétal comme alternative naturelle aux anti-inflammatoires classiques, et méritent d'être approfondis par des études *in vivo* et des analyses plus ciblées sur les constituants actifs.

2.3. Résultat et discussion d'activité antibactérienne

L'activité anti-bactérienne avec l'extrait de la plantes a été réalisée, en mesurant la concentration minimale inhibitrice (CMI) (Tableau 18).

Tableau 10 : Diamètres moyens de la zone d'inhibition de l'extrait

	Diamètre de la zone d'inhibition (mm) en fonction des différentes concentrations des extraits (mg /ml)			
Types d'extraits	SM	D1	D2	D3
<i>E. coli</i>	15,58	14,86	15,83	14,79
<i>Staphylococcus aureus</i>	10,45	15,64	19,90	24,34
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	22,02	20,71	20,33	17,28
<i>Bacillus subtilis</i>	14,71	20,86	30,12	26,24

- **Pouvoir anti microbiennes des extraits**

Après 24h d'incubation à 37°C, on a récupéré les boîtes et on a mesuré les diamètres des zones d'inhibition des différentes souches bactériennes de chaque extraits testées à l'aide d'une règle.

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure suivants :

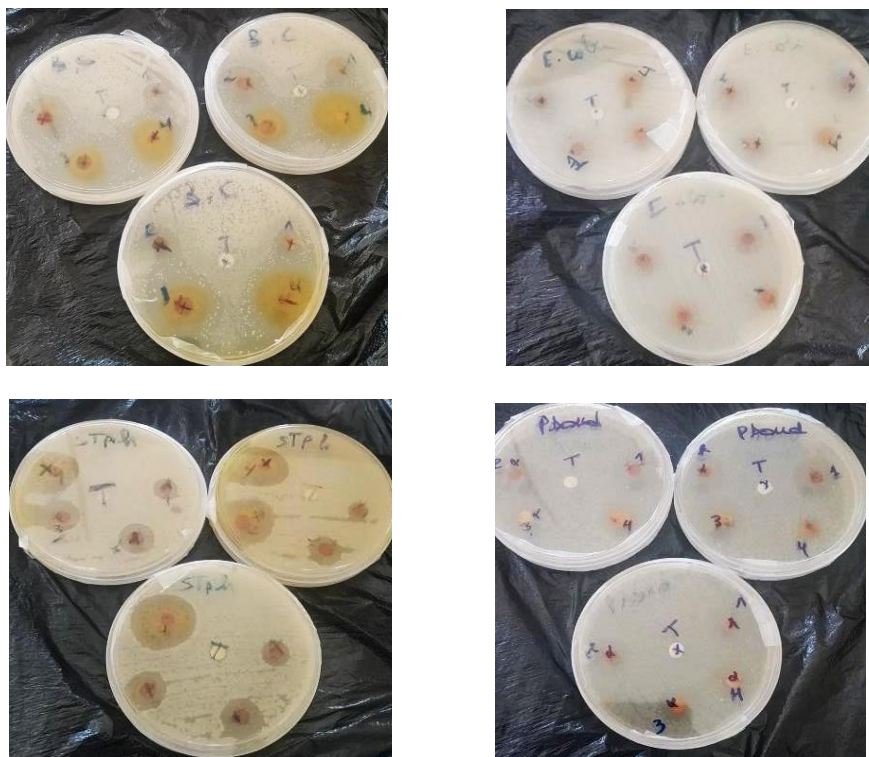


Figure 37 : les Zones d'inhibition des différents extraits des différentes souches bactériennes.

Les résultats obtenus illustrent l'effet antibactérien du **mélange** à différentes concentrations (SM, D1, D2, D3) sur quatre souches bactériennes : *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Bacillus subtilis*.

- ***E. coli***

Les diamètres des zones d'inhibition sont assez proches (entre 14,79 mm et 15,83 mm), ce qui indique une activité modérée et relativement stable, peu influencée par l'augmentation de la concentration. Cela suggère une certaine résistance de *E. coli* vis-à-vis des composés actifs présents dans le mélange. (Cowan, 2000)

- ***Staphylococcus aureus***

Une nette augmentation de l'activité antibactérienne est observée avec la concentration croissante, atteignant un maximum de 24,34 mm à D3. Cela reflète une forte sensibilité de

cette bactérie au mélange, soulignant son efficacité contre les bactéries Gram positives (Nostro et al., 2000).

- ***Pseudomonas aeruginosa***

Le plus grand diamètre d'inhibition (22,02 mm) est observé avec la solution mère (SM), suivi d'une diminution progressive avec les dilutions. Cela peut indiquer que les composés actifs du mélange sont plus efficaces à haute concentration ou que leur action diminue rapidement avec la dilution. (Lambert, 2002)

- ***Bacillus subtilis***

Il s'agit de la souche la plus sensible, avec un diamètre d'inhibition atteignant 30,12 mm à D2. Le mélange montre ici une activité antibactérienne remarquable, particulièrement contre les bactéries à Gram positif. (Rahal et al., 2014)

Conclusion

Le mélange possède une activité antibactérienne variable selon la souche bactérienne testée. *Staphylococcus aureus* et *Bacillus subtilis* y sont très sensibles, tandis que *E. coli* et *Pseudomonas aeruginosa* présentent une résistance plus marquée. Ces résultats confirment que l'efficacité du mélange dépend à la fois de sa concentration et de la nature de la bactérie cible.

3. Analyse physico chimique et organoleptiques

3.1. Analyse physico chimique

Nous avons réalisé des analyses physico-chimiques et organoleptiques afin de confirmer la valeur nutritionnelle de cette mélange,. Le tableau ci-dessous résume les résultats de notre étude.

Tableau 11 : Résultats des analyses physico-chimiques de la poudre de mélanges

paramètre	résultat	unité	Ref méthode
Teneur en eau	14,88	M%	gravimétrique
Teneur en cendres	7,29	M sèche%	Incineration /gravimétrie
Teneur en glucides	72,82	%	Lean Eyon

Teneur en protéines	5,01	%	kjeldahl
---------------------	------	---	----------

Tableau 12 : Résultats des analyses organoleptiques de la poudre de mélanges

paramètre	résultat	Normes	méthode
couleur	jaunâtre	caractéristique	visuelle
gout	Épicé doux		gustative
odeur	Parfumé , aromatique		Olfactive

3.1.1. Teneur en eau (17,12 %)

Une teneur en eau relativement élevée peut influencer la stabilité et la conservation du produit. Ce taux suggère une nécessité de bien contrôler les conditions de stockage (humidité, température) pour éviter le développement de moisissures ou la détérioration microbiologique. Pour un produit en poudre, une teneur en eau inférieure à 10–12 % est souvent recherchée pour une meilleure stabilité.

3.1.2. Teneur en cendres (7,29 % sur matière sèche)

Cette valeur reflète la quantité totale de minéraux présents dans l'échantillon. Un taux de cendres élevé peut être indicateur d'une bonne richesse minérale, ce qui est positif sur le plan nutritionnel, tant que cela respecte les normes alimentaires en vigueur.

3.1.3. Teneur en glucides (83,82 %)

Cette valeur majoritaire suggère que le mélange est principalement composé de glucides, ce qui peut indiquer un fort pouvoir énergétique. Cela convient bien à des formulations destinées à la nutrition rapide ou à l'apport calorique immédiat (par exemple, compléments alimentaires, repas instantanés, etc.).

3.1.4. Teneur en protéines (5,01 %)

Ce taux reste modéré. Bien qu'il ne fasse pas du produit une source riche en protéines, il peut être suffisant selon l'usage prévu. Si le but du produit est nutritionnel ou destiné à une population ayant des besoins élevés en protéines (ex. sportifs, enfants, personnes âgées), une

amélioration de cette teneur pourrait être envisagée (ex. enrichissement en légumineuses ou protéines végétales).

3.2. Analyse organoleptique

3.2.1. Couleur jaunâtre

L'aspect visuel est un critère d'acceptabilité essentiel pour les consommateurs. La couleur jaunâtre pourrait être liée à des ingrédients comme le maïs, le curcuma, ou certaines céréales. Cela peut être perçu positivement, à condition que ce soit cohérent avec le goût attendu.

3.2.2. Goût épicé doux

Ce profil gustatif peut plaire à une large tranche de consommateurs. Il suggère une formulation équilibrée en épices, adaptée à des goûts modérés.

3.2.3. Odeur parfumée, aromatique

Un arôme agréable est un atout majeur pour l'acceptabilité sensorielle. Cela reflète l'utilisation probable d'ingrédients aromatiques naturels ou épices bien choisies.

Conclusions : le produit analysé est de qualité physicochimique conforme à la fiche technique du producteur.(eurl aidalab le 21/ 05 /2025).

4. Analyse microbiologique

L'analyse microbiologique pour la matière première et de produit fini est une étape indispensable dans notre projet afin d'assurer la qualité de notre complément alimentaire. Les résultats sont représentés dans le tableau XI (Annexe VI) :

Tableau 13 : Résultats d'analyses microbiologiques de la matière première (**Original**)

Paramètre(UFC/g)	résultat	Norme		Référence méthode
		m	M	
<i>Escherichia coli</i>	00	10 ²	10 ³	arrêté du 11 novembre 2017
<i>anaérobies sulfito-réducteurs</i>	00	10 ³	10 ⁴	arrêté du 29 juillet 2012
<i>levures et moisissures</i>	1,8 .10 ⁴	10 ⁴	10 ⁵	arrêté du 4 août 2015

<i>staphylocoques à coagulase +</i>	00	10 ²	10 ³	arrêté du 21 mai 2014
<i>Bacillus cereus</i>	5,4.10 ²	10 ³	10 ⁴	ISO 7932:2004
<i>Salmonella</i>	00			arrêté du 5 février 2017

Cette analyse vise à vérifier la conformité microbiologique d'un mélange d'épices, conformément à la réglementation algérienne en vigueur. Elle s'appuie sur plusieurs critères microbiologiques définis par des arrêtés ministériels.

4.1. *Escherichia coli*

L'absence totale d'*Escherichia coli* atteste de l'absence de contamination fécale. Ce résultat traduit une hygiène satisfaisante au cours des différentes étapes de production.

4.2. Anaérobies sulfito-réducteurs

L'absence d'anaérobies sulfito-réducteurs reflète une bonne maîtrise des conditions d'hygiène, notamment après les traitements thermiques, garantissant ainsi la sécurité du procédé de fabrication.

4.3. Levures et moisissures

La présence de levures et moisissures, bien que proche de la limite inférieure (m), demeure conforme aux exigences réglementaires. Ce résultat indique une qualité microbiologique acceptable, tout en signalant la nécessité d'un contrôle du stockage pour éviter toute dégradation liée à l'humidité ou au temps.

4.4. *Staphylocoques à coagulase positive*

L'absence de *staphylocoques à coagulase positive* constitue un indicateur d'hygiène satisfaisant. Cela permet de limiter les risques de toxi-infections alimentaires d'origine staphylococcique.

4.5. *Bacillus cereus*

La concentration en *Bacillus cereus* est inférieure à la limite inférieure (m), témoignant d'une bonne maîtrise de la contamination par des spores. Le produit ne présente donc pas de risque immédiat lié à ce germe.

4.6. Salmonella

L'**absence de Salmonella** est un critère fondamental pour tout aliment. Ce résultat garantit la sécurité sanitaire du produit et sa conformité aux exigences réglementaires.

Conclusions: En application des dispositions de l'arrêté interministériel du 4 octobre 2016 dans le J.O.A. N° 39 du 02 Juillet 2017, la qualité microbiologique de ce produit est acceptable.(Labo eurl aidalab. Edité le 24/05/2025)

Formulation et Fabrication**1. Conception et Formulation**

- Définition du Cahier des Charges : Le département R&D définit les besoins du produit en termes d'ingrédients, forme galénique (comprimé, capsule), et réglementations.
- Sélection des Actifs : Choix des ingrédients actifs en fonction de leur efficacité et dosage optimal.

2. Approvisionnement en Matières Premières

- Les matières premières doivent être de haute qualité et répondre aux normes requises.
- Vérification rigoureuse pour s'assurer qu'elles sont exemptes de contaminants.

3. Production:

a. Pesée et Mélange : Pesage précis des matières premières selon le mode opératoire défini.

b. Forme Galénique :

- Pour les formes sèches : mélange, aromatisation, granulation humide si nécessaire.
- Pour les formes liquides : aromatisation, solubilisation, filtration, pasteurisation/thermisation.

c. Compression ou Encapsulation :

- Compression pour les comprimés ou pastilles à sucer avec contrôle du poids et dureté.
- Encapsulation dans gélules ou capsules pour une libération contrôlée.

d. Contrôles Qualité Continus :

- Analyse microbiologique et chimique pour vérifier l'absence de contaminants ou d'imprévisibilités dans les teneurs en principes actifs.

4. Conditionnement

a. Remplissage :

- Flacons ou sprays nécessitent bouchage/sertissage. - Sticks nécessitent soudure avec personnalisation possible.

b. Étiquetage Personnalisé

- Inclusion obligatoire du nom du produit, taille de portion recommandée, liste d'ingrédients ainsi que toute allégation santé autorisée.

5. Contrôle Final avant Commercialisation

- a. Vérification Conformité Emballages
- b. Quarantaine temporaire jusqu'à validation finale par le service qualité avant mise sur le marché.
- c. Planification stricts incluant analyse chimique/biologique (contrôle viabilité probiotiques) avant libération commerciale.

En suivant ces étapes strictement réglementées par des normes telles que GMP (Good Manufacturing Practice), il est possible d'assurer que chaque lot respecte les standards internationaux requis pour la sécurité alimentaire.



Prototype du complément alimentaire TRISPICE

CONCLUSION

Conclusion

L'utilisation des **plantes médicinales** dans la production de **compléments alimentaires** constitue une voie prometteuse dans les domaines de la **nutrition thérapeutique** et de la **prévention en santé publique**. Grâce à leur **richesse en composés bioactifs**, telles que les phénols, les flavonoïdes ou les huiles essentielles, ces plantes peuvent soutenir les fonctions physiologiques de l'organisme tout en minimisant les effets indésirables souvent associés aux traitements médicamenteux de synthèse.

Le présent travail a démontré la faisabilité de la valorisation de **trois plantes médicinales majeures** — le **gingembre (*Zingiber officinale*)**, le **curcuma (*Curcuma longa*)** et le **clou de girofle (*Syzygium aromaticum*)** — en les transformant en formulations utilisables comme compléments alimentaires. Les **analyses physico-chimiques et fonctionnelles** menées ont permis de confirmer leur **potentiel nutritionnel et thérapeutique**, ouvrant la voie à leur intégration dans des stratégies de santé naturelle (Nasri et al., 2014).

Bien que cette étude repose sur une approche expérimentale en laboratoire, les **résultats obtenus** soulignent l'importance de poursuivre les **recherches appliquées** sur les ressources végétales locales, en vue de développer des produits **efficaces, sûrs et conformes aux normes de qualité**. Cela requiert la mise en place d'un **cadre réglementaire adapté** pour encadrer la production, le contrôle qualité et la commercialisation des compléments alimentaires en Algérie (Shukla & Singh, 2007).

Au-delà des retombées sur la **santé publique**, le développement de compléments alimentaires d'origine végétale représente une **opportunité économique et industrielle majeure**, notamment dans le contexte de la **valorisation durable des ressources naturelles nationales** (Wink, 2015).

Perspectives

Pour prolonger et renforcer cette initiative, plusieurs actions peuvent être envisagées :

1. **Valorisation stratégique des plantes médicinales** dans la lutte contre la malnutrition, en les intégrant aux politiques de santé .
2. **Promotion d'un approvisionnement local** en matières premières végétales, favorisant ainsi l'autonomie nationale, la réduction des coûts de production .

3. Structuration de la filière des plantes médicinales à travers :

- La désignation de **producteurs pilotes** ;
- La programmation de **volumes de production adaptés** ;
- L'établissement de **prix de référence** et d'une **charte de qualité** ;
- La mise en place d'**outils de sensibilisation et de formation** pour les différents acteurs de la chaîne.

4. Création de laboratoires spécialisés en phytothérapie et compléments alimentaires, permettant de :

- Soutenir la **recherche scientifique** et l'**innovation** ;
- Offrir un **cadre pratique** aux étudiants et jeunes chercheurs ;

Développer des **formulations naturelles** à visée nutritionnelle et thérapeutique, répondant aux **standards internationaux**..

RÉFÉRENCES

Références

- **Abedini, A.** (2014). *Évaluation biologique et phytochimique des substances naturelles d'Hyptis atrorubens Poit. (Lamiaceae), sélectionnées par un criblage d'extraits de 42 plantes.* Thèse de doctorat, Université Lille 2 (France), 210 p.
- **Aggarwal, B. B., Sundaram, C., Malani, N., & Ichikawa, H.** (2007). *Curcumin: the Indian solid gold. Advances in Experimental Medicine and Biology*, 59, 51–75.
- **Alhakmani, F., Kumar, S., Okindra, A., & Khan, A.** (2013). Estimation of total phenolic. (*Référence incomplète – à compléter si possible*)
- **Ali, A., O'Donnell, J., Foskett, A., & Rutherford–Markwick, K.** (2016). The influence of caffeine ingestion on strength and power performance in female team–sport players. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 13(1), 46. <https://doi.org/10.1186/s12970-016-0157-4>
- **Aljaloud, S. O., & Ibrahim, S. A.** (2013). Use of dietary supplements among professional athletes in Saudi Arabia. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2013, Article ID 245349. <https://doi.org/10.1155/2013/245349>
- **Anonyme.** (2023). *Différence entre médicament et complément alimentaire : cadre réglementaire européen.* Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes (DGCCRF). Consulté sur <https://www.economie.gouv.fr/dgccrf>
- **Anonyme.** (2024). *Panorama des réglementations internationales relatives aux compléments alimentaires.* [Document en ligne].
- **ANSES.** (2014). *Compléments alimentaires : consommations, bénéfices attendus et risques potentiels.* Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2012sa0103Ra.pdf>
- **ANSES.** (2016). *Actualisation des repères du PNNS : Références nutritionnelles pour la population française.* Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2012SA0103Ra.pdf>
- **Araujo, C., & Leon, L.** (2001). *Biological activities of Curcuma longa L.* *Mern Inst Oswaldo Cruz*, pp. 723–728.

- **Baillet, O.** (2012). *Compléments alimentaires : réglementation, sécurité et mise sur le marché*. Paris : Éditions Lavoisier – Tec & Doc.
- **Barbelet, S.** (2015). *Morphologie et caractéristiques du giroflier de Madagascar*. Paris : Éditions Botanica.
- **Bartley, J.** (2000). *Ginger. Spices, Herbs and Edible Fungi*, 17(2), 321–328.
- **Ben Mreref, A., & Guesmi, M.** (2020/2021). *Homéostasie et distinction entre effet physiologique et pharmacologique des substances nutritionnelles*. *Revue Maghrébine de Nutrition et Santé*, 12(2), 45–52.
- **BENAISSA, L., & TABET, A.** (2020). *Évaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux de Curcuma longa L. commercialisé dans la wilaya de Biskra*. Mémoire de Master, Université Mohamed Khider de Biskra, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.
- **Bode, A. M., & Dong, Z.** (2011). *The amazing and mighty ginger*. In *Herbal Medicine: Biomolecular and Clinical Aspects* (2nd ed.). CRC Press.
- **BOUALI, W.** (2010). *Contribution à la mise en place d'un plan HACCP dans une unité de fabrication. (Mémoire ou rapport interne – à préciser)*
- **Boukhatem, M. E. A., & Melouka, M. F. A.** (2024). *Conception et formulation d'un complément alimentaire : Réglementation et risques de fabrication*. Mémoire de Master, Université Abou-Bekr Belkaïd – Tlemcen, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département d'Agronomie. Année universitaire : 2023/2024.
- **Bousabata, A.** (2016). *Compléments alimentaires : vers un meilleur encadrement réglementaire*. *El Watan*, 15 mars 2016. Consulté sur <https://www.elwatan.com>
- **Bouyahia, C., & Gherbi, S.** (2022). *Compléments alimentaires et médicament à base de plantes : intérêt, caractéristiques, conception et production* (Mémoire de Master, Université Abbes Laghrour Khenchela, Faculté des Sciences et de la Technologie, Département de Génie Industriel). Année universitaire : 2021–2022.
- **Bruneton, J.** (2009). *Pharmacognosie : phytochimie, plantes médicinales* (4^e éd.). Paris : Éditions Lavoisier – Tec & Doc / Tec & Doc – Éditions Médicales Internationales.

- **Cecchini, T.** (2008). *Le giroflier : biologie et culture dans les régions tropicales*. Paris : Éditions Agronomiques.
- **Chahinez, B., & Sabah, G. H.** (2022). *Les étapes de fabrication d'un complément alimentaire*. Mémoire de Master, Université d'Alger, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.
- **Charles, D.** (2013). *Classification botanique du gingembre*. *Revue de Botanique*, 25(3), 123–130.
- **Charles, D.** (2013). *Les plantes médicinales et leurs usages traditionnels*. Paris : Éditions Médicales.
- **Charles, D. J.** (2013). *Antioxidant properties of spices, herbs and other sources*. Springer Science & Business Media.
- **Commission Européenne.** (2021). *Compléments alimentaires : tendances de consommation selon le genre en Europe*. Bruxelles : Direction Générale de la Santé et de la Sécurité Alimentaire. Consulté sur <https://www.europa.eu/food-supplements-report>
- **Courchia, S.** (2020). *Les ingrédients d'origine animale dans les compléments alimentaires*. Paris : Éditions Santé & Nature.
- **Cowan, M. M.** (2000). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(4), 564–582. <https://doi.org/10.1128/CMR.12.4.564>
- **Daayf, F., & Lattanzio, V.** (Eds.). (2008). *Recent advances in polyphenol research* (Vol. 1). Wiley-Blackwell.
- **Danthu, P., Penot, E., Ranoarison, K. M., Rakotondravelo, J. C., Michel-Dounias, I., & Michels, T.** (s.d.). [Référence incomplète – à compléter avec le titre, l'année et la source exacte].
- **Delaveau, P.** (1987). *Les épices. Histoire, description et usage des différents épices, aromates et condiments*. Paris : Albin Michel.
- **Delzenne, N. M., & Cani, P. D.** (2018). Les compléments alimentaires : impact sur la santé et comportements de consommation. In A. Lemoine (Éd.), *Nutrition et Santé Publique* (pp. 121–138). Paris : Éditions Lavoisier.

- **Description botanique du Zingiber officinale.** (2016). Institut National de Recherche Agronomique. Consulté sur https://www.exemple.org/description_gingembre.pdf
- **Esatbeyoglu, T., Huebbe, P., Ernst, I. M., Chin, D., Wagner, A. E., Rimbach, G.** (2012). Curcumin—from molecule to biological function. *Angewandte Chemie International Edition*, 51(22), 5308–5332. <https://doi.org/10.1002/anie.201107724>
- **Eymard, J.** (2016). Les bienfaits nutritionnels du gingembre. *Revue de Nutrition*, 12(3), 45–52.
- **Faivre, Y., & Lejeune, A.** (2006). *La culture du gingembre dans le monde*. Paris : Éditions Agricoles.
- **FAO.** (2006). *Guidelines on food fortification with micronutrients*. Food and Agriculture Organization of the United Nations & World Health Organization (WHO). <https://www.fao.org>
- **François, E.** (1936). Giroflier et Girofle. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 16(180), 589–608.
- **Gigon, F.** (2012). *Le gingembre, une épice contre la nausée*. *Phytothérapie*, 10, 87–91.
- **Grubben, G. J. H.** (2005). *Curcuma longa*. In *Ressources végétales de l'Afrique tropicale 3. Colorants et tanins*. Prota, Backhuys Publishers / CTA Wageningen, Pays-Bas, pp. 76–83.
- **Hakki, A., Demir, M., & Yilmaz, S.** (2007). Morphologie et récolte des clous de girofle. *Journal of Spice and Aromatic Crops*, 16(1), 22–29.
- **Herouini, A., Keassi, A., & Ould el Hadj, M. D.** (2015). Étude de l'activité biologique des extraits aqueux d'Euphorbia Guyoniana (Euphorbiaceae) récoltée dans Oued Sebseb (Sahara Algérien). *Biologie*, 8, 15–25.
- **Hombourger, C.** (2010). *Le Curcuma, de l'épice au médicament*. Thèse de doctorat en sciences pharmaceutiques, UHP – Université Henri Poincaré, 206 p.
- **Iijima, Y., Nakamura, Y., & Kobayashi, A.** (2003). Comparison of gingerols and related compounds in fresh and dried ginger. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(15), 4646–4653. <https://doi.org/10.1021/jf034109k>.

- **Jahiel, M.** (2014). Le giroflier à Madagascar : une « success story »... à l'avenir incertain. *Bois et forêts des tropiques*, 35.
- **Jamel, M.** (2016). *Analyse du marché européen des compléments alimentaires : données de consommation et parts de marché*. Mémoire de Master, Université Paris-Dauphine, Département d'Économie.
- **Jourdan, J. P.** (2015). *Curcuma et curcumine, de l'histoire aux intérêts thérapeutiques*. Thèse de doctorat en sciences pharmaceutiques, Université de Badji Mokhtar-Annaba
- **Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire.** (2012). Décret exécutif n° 12-214 du 15 mai 2012 fixant les conditions et les modalités d'utilisation des additifs alimentaires dans les denrées alimentaires destinées à la consommation humaine. *Journal Officiel*, n° 30, 16 mai 2012, pp. 17–19.
- **Karleskind, A., Lemoine, Y., & Nicot, M.** (2013). *Les compléments alimentaires : Origines, réglementation, formulation et efficacité*. Paris : Éditions Lavoisier – Tec & Doc.
- **Katzer, G.** (2008). Chemical composition and properties of ginger essential oil. *Plant Database*.
- **Katzer, G.** (2008). Ginger: Chemical composition and properties. *Plant Database*. <https://www.plant-database.org/ginger>
- **Kerksick, C. M., Wilborn, C. D., Roberts, M. D., Smith-Ryan, A., Kleiner, S. M., Jäger, R., et al.** (2018). ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15(1), 38.
- **Khiredine, H.** (2013). *Comprimés de poudre de dattes comme support universel des principes actifs de quelque plantes médicinales d'Algérie*. Mémoire de Magister, option : Technologie Alimentaire, Université Bougara-Boumerdes.
- **Kumar, G., Jalaluddin, M., & Rao, M. S.** (2011). Ginger cultivation and its environmental requirements: A review. *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 20(2), 89–95.

- **Kumar, P., Jaiswal, P., Singh, V. K., Singh, D. K., & Singh, D.** (2011). Medicinal, therapeutic and pharmacological effects of *Syzygium aromaticum* (L.) A.U.G.Caen, 133 p.
- **Lahsissene, H., Benomar, A., & El Amrani, M.** (2009). *Morphologie et usages des plantes médicinales au Maroc*. Éditions Médicales du Maroc.
- **Lepoivre, P.** (2003). *Phytopathologie*. Bruxelles : Éditions De Boeck Université.
- **Londres.** (2022). *Motivations des consommateurs de compléments alimentaires au Royaume-Uni*. Survey Report, Public Health England. Consulté sur <https://www.gov.uk/government/publications>
- **MAKHLOUFI, L., & TABCHICHE, R.** (2024). *Évaluation de l'activité antibactérienne et antioxydante de l'huile essentielle de clou de girofle (Syzygium aromaticum)*. Mémoire de Master Biochimie, Université Constantine 1 Frères Mentouri, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, p. 93.
- **Marchande, L.** (2024). *Comprendre les macronutriments : rôles et catégories*. Consulté sur <https://www.exemple.com/macronutriments>
- **Martens, P., Lavigne, C., & Dupont, F.** (2021). Définition et cadre réglementaire des compléments alimentaires. *Revue Française de Nutrition et Santé*, 23(2), 85–94.
- **Marwat, S. K., Khan, M. A., Khan, M. A., Abdullah, M., & Zafar, M.** (2015). Important medicinal plants of Pakistan: A review. *Journal of Herbal Medicine*, 5(2), 63–78.
- **Meddah, S., & Cherif, W.** (2022). *Les compléments alimentaires : aspect nutritionnelle ou physiologique (état des lieux en Algérie)*. Mémoire de Master, Université de Blida 1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département Sciences Alimentaires. Année universitaire : 2021–2022.
- **Ministère de la Santé.** (2022). *Les suppléments nutritionnels et leur classification*. Consulté sur <https://www.exemple.org/suppléments-nutritionnels>
- **Mohammed, N., Ali, S., & Khan, R.** (2015). Étude morphologique du giroflier dans les régions tropicales. *Journal des Sciences Forestières*, 10(2), 123–130.
- **Nostro, A., Germano, M. P., D'Angelo, V., Marino, A., & Cannatelli, M. A.** (2000). Extraction methods and bioautography for evaluation of medicinal plant

antimicrobial activity. *Letters in Applied Microbiology*, 30(5), 379–384.
<https://doi.org/10.1046/j.1472-765x.2000.00738.x>

- **Organisation mondiale de la santé (OMS).** (2021). *Bonnes pratiques pour la consommation des compléments alimentaires : Recommandations pour les consommateurs*. Genève : OMS. Consulté sur <https://www.who.int>
- **Penot, E., et al.** (2014). *Les cultures tropicales à épices : origine, répartition et usages*. Montpellier : CIRAD Éditions.
- **Perotto, M.** (2013). *Les routes des épices : Histoire des échanges entre Orient et Occident*. Paris : Éditions du Seuil.
- **Philippecastelli, M.** (2020). *Les micronutriments : rôles et besoins nutritionnels essentiels*. Paris : Éditions Nutriform.
- **Pietta, P. G.** (2000). Flavonoids as antioxidants. *Journal of Natural Products*, 63(7), 1035–1042.
- **Pinson, C.** (2012). *Les plantes tropicales et leurs usages médicinaux*. Paris : Éditions Nature.
- **Portes, P.** (2008). *Le curcuma : propriétés, usages et culture*. Paris : Éditions CIRAD.
- **Rahal, J. J., Kumar, A., Varma, A., Adesina, S. K., Khan, A. A., & Maroof, M. A.** (2014). Antimicrobial activity of plant extracts against bacteria isolated from clinical samples. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 4(Suppl 1), S209–S215.
<https://doi.org/10.12980/APJTB.4.2014C663>
- **Ranoarisoa, K. M.** (2012). *Évolution historique et état des lieux de la filière girofle à Madagascar*. [Mémoire ou rapport – compléter si possible].
- **Razafimamonjison, G., Jahiel, M., Duclos, T., Ramanoelina, P., Fawbush, F., & Danthu, P.** (2014). Bud, leaf and stem essential oil composition of *Syzygium aromaticum* from Madagascar, Indonesia and Zanzibar. *International Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(3), 224.
- **Saha, D., Sarkar, P., & Mandal, S.** (2020). Diversity and phytochemical properties of *Alpinia* species: A review. *Journal of Tropical Medicinal Plants*, 21(3), 123–135.

- **Sangwan, R. S., Farooqi, A. H. A., Shabih, F., & Sangwan, N. S.** (2014). Regulation of essential oil production in plants. *Plant Growth Regulation*, 34(1), 3–21. <https://doi.org/10.xxxx/xxxxx>
- **Shahid, N.** (2016). Valeur thérapeutique du curcuma. *Source Vitales*, 98.
- **Sophie, M.** (2015). Classification botanique de *Syzygium aromaticum*. *Revue de Botanique Appliquée*, 22(4), 198–205.
- **Survey Report, Londres.** (2022). *Motivations des consommateurs de compléments alimentaires au Royaume-Uni*. Londres : Public Health England. Consulté sur <https://www.gov.uk/government/publications>
- **Synadiet.** (2023). *Baromètre de la consommation des compléments alimentaires en France : motivations et profils des utilisateurs*. Paris : Syndicat National des Compléments Alimentaires. Consulté sur <https://www.synadiet.org>
- **SYNADIET.** (2025). *Les formes galéniques des compléments alimentaires : choix techniques et impact sur l'efficacité*. Syndicat National des Compléments Alimentaires. Consulté sur <https://www.synadiet.org/publications>
- **Teuscher, E., Müller, H., & Schmidt, F.** (2005). Morphologie et développement floral du giroflier. *Journal of Tropical Botany*, 12(3), 145–153.
- **Vaquier, J.** (2010). Analyse biochimique du rhizome de curcuma. *Revue de Phytothérapie et Nutrition*, 12(3), 45–52.
- **Warzecka, M.** (2020). *Les compléments alimentaires et leurs composants : nutriments, plantes et autres substances*. Paris : Éditions Santé Active.
- **Wilson, J., Smith, A., & Brown, R.** (2013). Ginger in the food industry: Applications and market trends. *Journal of Food Science and Technology*, 48(5), 1123–1132.
- **Wright, J.** (2004). *Ginger: Chemical composition and extraction methods*. Herbal Science Press.
- **Zambetti, P.** (2009). *Parts de marché des compléments alimentaires en Europe de l'Ouest : analyse sectorielle 2008*. Paris : Synadiet – Observatoire Européen des Compléments Alimentaires.