

République Algérienne Démocratique et Populaire



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

جامعة عبد الحميد بن باديس
مستغانم
كلية علوم الطبيعة والحياة



DÉPARTEMENT DE SCIENCES ALIMENTAIRES

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

KASSOUS Nadia et SALEM Roumaissaa

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES ALIMENTAIRES

Spécialité : Agro-alimentaire et Contrôle de Qualité

THÈME

**Etude des propriétés antioxydantes et
antibactériennes de l'extrait *Curcuma longa* L.**

Soutenu le 03/07/2025

DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE :

Présidente	Dr. ZERROUKI Kheira	MCA	U. Mostaganem
Encadrante	Dr. SISBANE Ismahène	MCB	U. Mostaganem
Examinatrice	Dr. MENAD Najett	MCA	U. Mostaganem

Année universitaire : 2024/2025

Remerciements

Avant tout nous remercions Dieu « **ALLAH** » le tout puissant de nous avoir accordé la force, le courage et la patience pour terminer ce travail.

La réalisation de cette recherche a été rendue possible grâce au soutien de nombreuses personnes à qui nous tenons à exprimer notre profonde gratitude.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promotrice, **Dr.SISBANE. I**, pour sa disponibilité, ses conseils éclairés, et son accompagnement constant tout au long de ce travail. Sa rigueur scientifique et son engagement bienveillant ont grandement contribué à l'aboutissement de notre recherche.

De très précieux remerciements vont au **Dr.BENOTMANE. K**, dont le soutien moral et l'aide précieuse nous ont été d'un grand réconfort tout au long de ce parcours. Il n'a jamais hésité à nous apporter son aide avec humilité, et nous lui en sommes profondément reconnaissants.

Nous adressons nos plus vifs remerciements au **Dr. ZERROUKI. K** et **Dr. MENAD. N**, d'avoir accepté de faire partie de notre jury. Leur présence à notre soutenance constitue pour nous un grand honneur, et nous leurs sommes profondément reconnaissantes pour l'attention qu'ils accorderont à notre travail.

Dédicace

Nadia....

À ma chère mère, pilier de notre vie après la perte de mon père. Sa force, son amour et ses sacrifices silencieux, elle a fait de notre chemin une voie de lumière. Que Dieu la protège et l'honore pour tout ce qu'elle a donné.

À l'âme de mon cher père, dont l'amour et les valeurs continuent de guider mes pas. Ce diplôme est le reflet de ses sacrifices et de sa présence éternelle dans mon cœur. Qu'Allah lui fasse miséricorde et lui accorde le paradis.

A mes frères (Zakaria et Akrem) et *mes sœurs* (Sabrina et Samira), mes piliers de ma vie. Votre présence ma donnée la force de croire en moi, Merci d'avoir été ma lumière dans les moments d'ombre.

Dédicace

Roumaissaa....

À *mon cher père et ma mère*. Avec leur force, leur amour et leurs sacrifices pour faciliter notre chemin. Que Dieu les protège et prolonge leur vie pour tout ce qu'ils ont fait pour nous.

A *mes frères* (Mahdi et chams eddine) et *mes sœurs* (Amina, Yousra et Lina), et *mon fiancé* (Aymen), mes piliers de ma vie. Votre présence ma donnée la force de croire en moi, Merci d'avoir été ma lumière dans les moments d'ombre.

Nous n'oublions pas de remercier vivement les membres de l'équipe laborantine pour leur aide et ainsi que nos collègues qui ont partagé avec nous la vie quotidienne au sein du laboratoire. Nous remercions aussi tous nos collègues de la promotion **2024-2025** et les étudiants de master, à qui nous souhaitons beaucoup de réussite.

Résumé

La présente étude s'inscrit dans une démarche de valorisation de *Curcuma longa* L., plante médicinale bien connue pour ses vertus thérapeutiques et nutritionnelles.

L'objectif principal de ce travail est d'évaluer les activités antioxydantes et antibactériennes des extraits de cette plante, obtenus par deux techniques d'extraction : la macération et l'extraction solide-liquide discontinue. Ces techniques ont été choisies afin de comparer leur efficacité en termes de rendement d'extraction et de concentration en composés bioactifs.

Les résultats ont mis en évidence une efficacité supérieure de l'extraction solide-liquide, avec un rendement de 11,80 % contre 5,10 % pour la macération. L'analyse phytochimique a révélé une richesse en phénols, flavonoïdes et tanins, qui sont à l'origine de l'activité biologique observée.

L'évaluation de l'activité antioxydante a été réalisée par la méthode du DPPH, révélant un pouvoir antioxydant notable avec une valeur d'IC₅₀ de 27,00 µg/ml.

L'activité antibactérienne a été étudiée par la méthode de diffusion sur disque, testé contre six souches pathogènes : *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* et *Pseudomonas aeruginosa*. Les résultats ont montré une bonne sensibilité des bactéries à Gram négatif ainsi que Gram positif *Staphylococcus aureus*, tandis que *B. subtilis* et *B. cereus* se sont révélées résistantes.

Ces observations confirment le potentiel de *Curcuma longa* L. en tant que source naturelle d'agents antioxydants et antimicrobiens, pouvant être valorisés dans le développement de conservateurs naturels pour l'industrie agroalimentaire, ou intégrés dans des formulations à visée thérapeutique.

Mots-clés : *Curcuma longa* L., macération, extraction solide-liquide, composés phénoliques, activité antioxydante, activité antibactérienne.

ملخص

تندرج هذه الدراسة في إطار الجهود المبذولة لتعزيز قيمة نبات *Curcuma longa* وهو نبات طبي معروف بخصائصه العلاجية والغذائية. يتمثل الهدف الرئيسي من هذا العمل في تقييم الأنشطة المضادة للأكسدة والمضادة للبكتيريا لمستخلصات هذا النبات، التي تم الحصول عليها باستخدام تقنيتي استخلاص: النقع والاستخلاص السائل الصلب غير المتقطع. وقد تم اختيار هاتين التقنيتين من أجل مقارنة فعاليتيهما من حيث محصول الاستخلاص وتركيز المركبات النشطة بيولوجيا أظهرت النتائج أن الاستخلاص السائل الصلب كان أكثر فعالية، حيث بلغ العائد 11.80% مقارنة بـ 5.10% للنقع وكشف التحليل الكيميائي النباتي عن وجود تركيز عالٍ من الفينولات والفلافونويدات والعفص المسؤولة عن النشاط البيولوجي الملحوظ. تم تقييم النشاط المضاد للأكسدة باستخدام طريقة DPPH ، وكشف عن قوة كبيرة مضادة للأكسدة مع قيمة $IC_{50} = 27.00$ ميكروغرام/مل.

تمت دراسة النشاط المضاد للبكتيريا باستخدام طريقة الانتشار القرصي، وتم اختياره ضد ست سلالات مسببة للأمراض: *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli* و *Pseudomonasaeruginosa*.

أظهرت النتائج حساسية جيدة للبكتيريا سالبة الجرام *Staphylococcus aureus* موجبة الجرام، بينما أثبتت بكتيريا *B. cereus* و *B. subtilis* مقاومة.

تؤكد هذه الملاحظات إمكانات نبات *Curcuma longa* L. كمصدر طبيعي لمضادات الأكسدة ومضادات الميكروبات، والتي يمكن استخدامها في تطوير المواد الحافظة الطبيعية لصناعة الأغذية، أو دمجها في تركيبات لأغراض علاجية.

الكلمات المفتاحية: *Curcuma longa* L. ، النقع، الاستخلاص الصلب والسائل، المركبات الفينولية، النشاط المضاد للأكسدة، النشاط المضاد للبكتيريا.

Abstract

This study is part of a valorization approach for *Curcuma longa* L., a medicinal plant well-known for its therapeutic and nutritional properties.

The main objective of this work was to evaluate the antioxidant and antibacterial activities of plant extracts obtained through two extraction techniques: maceration and discontinuous solid-liquid extraction. These techniques were selected to compare their efficiency in terms of extraction yield and bioactive compound concentration.

The results demonstrated superior efficiency of solid-liquid extraction, with a yield of 11.80% compared to 5.10% for maceration. Phytochemical analysis revealed richness in phenols, flavonoids, and tannins, which are responsible for the observed biological activity.

Antioxidant activity evaluation was performed using the DPPH method, revealing notable antioxidant potential with an IC₅₀ value of 27.00 µg/ml.

Antibacterial activity was investigated using the disc diffusion method, tested against six pathogenic strains: *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, and *Pseudomonas aeruginosa*. Results showed good sensitivity of Gramnegativebacteria as well as Grampositive*Staphylococcus aureus*, while *B. subtilis* and *B. cereus* proved to be resistant.

These observations confirm the potential of *Curcuma longa* L. as a natural source of antioxidant and antimicrobial agents, which could be valorized in the development of natural preservatives for the agro-food industry or integrated into therapeutic formulations.

Keywords: *Curcuma longa* L., maceration, solid-liquid extraction, phenolic compounds, antioxidant activity, antibacterial activity.

Liste des abréviations

Cu	: Cuivre
Zn	: Zinc
Se	: Sélénium
Fe	: Fer
SOD	: Super oxide dismutase
ROS	: ReactiveOxygenSpecies
RNS	: ReactiveNitrogenSpecies
BHT	: Butylhydroxytoluène
BHA	: Butylhydroxyanisole
EAG	: Equivalent d'acidegallique
EQ	: Equivalent de quercétine
ECAT	: Equivalent catéchine
DMSO	: Diméthylsulfoxyde
GPx	: Glutathionperoxydases
CAT	: Catalase
DPPH	: 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle
FRAP	: FerricReducingAntioxidant Power
ABTS	: 2,2'-azino-bis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)
IC50	: Concentration Inhibitrice à 50 %
CMI	: La Concentration MinimaleInhibitrice
CMB	: Concentration MinimaleBactéricide

Liste des Tableaux

N° du tableau	Titre	Page
Tableau 01	Classification taxonomique de <i>Curcuma longa</i> L.	05
Tableau 02	Valeurs nutritionnelles et énergétiques du <i>curcuma longa</i> L.	07
Tableau 03	Les souches bactériennes testées.	31
Tableau 04	Rendement des deux extraits méthanoliques.	44
Tableau 05	Résultats des analyses phytochimiques des deux extraits.	47
Tableau 06	Teneurs en composés phénoliques, flavonoïdes et tanins des deux extraits méthanoliques de <i>Curcuma longa</i> L.	48
Tableau 07	Activité antioxydante de l'extrait de <i>Curcuma longa</i> L par extraction solide-liquide.	50
Tableau 08	Résultats de l'activité antibactérienne du l'extrait méthanolique de <i>Curcuma longa</i> L.	52
Tableau 09	Sensibilité des bactéries pathogènes contre l'extrait méthanolique du <i>Curcuma longa</i> L.	53
Tableau 10	Résultats de la concentration minimale inhibitrice (CMI).	56
Tableau 11	Résultats de la concentration minimale bactéricide (CMB) et le rapport CMB/CMI.	57

Liste des Figures

N° de la figure	Titre	Page
Figure 01	Répartition mondiale de <i>Curcuma longa</i> L.	04
Figure 02	Les feuilles du <i>Curcuma longa</i> L.	05
Figure 03	La fleur du <i>Curcuma longa</i> L.	06
Figure 04	Les rhizomes du <i>Curcuma longa</i> L.	06
Figure 05	Les étapes d'extraction par macération.	23
Figure 06	Le montage d'extraction par Soxhlet .	23
Figure 07	L'extraction par micro-ondes.	24
Figure 08	Échantillon de rhizome de <i>Curcuma longa</i> L.	31
Figure 09	La poudre de <i>Curcuma longa</i> L.	32
Figure 10	Les étapes d'extraction solide-liquide discontinue.	33
Figure 11	Les étapes de l'extraction par macération.	34
Figure 12	Les étapes de la méthode de diffusion sur disques.	41
Figure 13	Résultats des tests phytochimiques de l'extrait de <i>Curcuma longa</i> L par l'extraction solide-liquide.	45
Figure 14	Résultats des tests phytochimiques de l'extrait de <i>Curcuma longa</i> L par l'extraction de macération.	46
Figure 15	La courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique.	51
Figure 16	La courbe d'étalonnage de taux d'inhibition de l'acide ascorbique.	51
Figure 17	La courbe d'étalonnage de l'extrait de <i>Curcuma longa</i> L.	52
Figure 18	La zone d'inhibition de la bactérie <i>Salmonella typhi</i>	54
Figure 19	La zone d'inhibition de la bactérie <i>Escherichia coli</i>	54
Figure 20	La zone d'inhibition de la bactérie <i>Staphylococcus aureus</i>	54
Figure 21	La zone d'inhibition de la bactérie <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	55
Figure 22	La zone d'inhibition de la bactérie <i>Bacillus cereus</i>	55
Figure 23	La zone d'inhibition de la bactérie <i>Bacillus subtilis</i>	55
Figure 24	La plaque de CMI avant l'incubation.	56
Figure 25	La plaque de CMI après l'incubation.	57
Figure 26	La CMB des souches bactériennes étudiées.	59

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Résumé

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction 1

Partie 1. Etude bibliographique

Chapitre 1. La plante *Curcuma longa* L.

1. La plante <i>Curcuma longa</i> L.....	4
1.1. Origine et répartition géographique de la plante.....	4
1.2. Classification systématique.....	5
1.3. Description botanique.....	5
1.4. Composition phytochimique.....	6
1.5. Valeurs nutritionnelles et énergétiques.....	7
1.6. Usages traditionnels et modernes.....	8
1.7. Toxicité.....	8
1.8. Domaines d'applications.....	9
1.8.1. Secteur alimentaire.....	9
1.8.2. Domaine médicinale et pharmaceutique.....	10
1.8.3. Domaine cosmétique.....	10
1.8.4. Domaine agricole.....	10
1.9. Activités biologiques du <i>Curcuma Longa</i> L.....	10
1.9.1. Activité antioxydante.....	11
1.9.2. Activité antimicrobienne.....	11
1.9.3. Activité anti-inflammatoire.....	12
1.9.4. Activité anticancéreuse.....	12

Chapitre 2. Activité antioxydante et Antimicrobienne de l'extrait de *Curcuma longa* L.

2. Activité antioxydante et antimicrobienne de l'extrait de <i>Curcuma longa</i> L.....	15
2.1. Antioxydants.....	15
2.1.1. Définition.....	15
2.1.2. Principaux composés antioxydants de <i>Curcuma longa</i> L.....	15
2.1.2.1. Curcumine et dérivés.....	15
2.1.2.2. Composés phénoliques, flavonoïdes et tanins.....	16
2.1.2.3. Huiles essentielles.....	17
2.1.3. Classification.....	17
2.1.3.1 Antioxydants enzymatiques.....	17
2.1.3.2 Antioxydants non enzymatiques.....	18
2.1.4. Importance des antioxydants.....	19
2.1.5. Rôle des antioxydants dans la conservation des aliments.....	19
2.2. Techniques d'extraction de l'extrait du <i>Curcuma longa</i> L.....	22
2.2.1. Extraction par Macération.....	22
2.2.2 Extraction par Soxhlet.....	23
2.2.3 Extraction par Micro-ondes.....	24
2.3. Activité antioxydante de l'extrait de <i>Curcuma longa</i> L.....	24
2.3.1. Mécanisme d'action antioxydante.....	24
2.3.2. Méthodes d'évaluation de l'activité antioxydante.....	25
2.3.2.1. Méthode DPPH.....	25

2.3.2.2. Méthode FRAP.....	25
2.4. Activité Antimicrobienne de l'extrait de <i>Curcuma longa L.</i>	25
2.4.1. Les agents antimicrobiens.....	25
2.4.2. Mécanismes d'action antimicrobienne des composés de <i>Curcuma longa L.</i>	25
2.4.3. Facteurs influençant l'efficacité antimicrobienne.....	26
2.4.4. Méthodes d'évaluation de l'activité antimicrobienne.....	26
2.4.4.1. Méthodes de diffusion en milieu solide.....	26
2.4.4.2. Méthodes de dilution en milieu liquide.....	26
2.5. Détermination de la Concentration Minimale Inhibitrice (CMI).....	27
2.6. Détermination de la Concentration Minimale Bactéricide (CMB).....	27

Partie 2. Partie expérimentale

Matériel et Méthodes

1. Objectif de l'étude.....	30
2. Matériel biologique.....	30
2.1. Matériel végétal.....	30
2.2. Microorganismes utilisés.....	31
3. Préparation des échantillons.....	31
3.1. Préparation de la poudre.....	31
3.2. Préparation de l'extrait <i>Curcuma longa L.</i>	32
3.2.1. Méthodes d'extraction.....	32
3.2.1.1. Extraction Solide-liquide.....	32
3.2.1.2. Extraction par Macération.....	33
3.2.2. Détermination du rendement d'extraction.....	34
4. Techniques analytiques.....	34
4.1. Criblage phytochimique des composés bioactifs.....	34
4.2. Analyse quantitative.....	36
4.2.1. Dosage des polyphénols totaux.....	36
4.2.2. Dosage des flavonoïdes.....	37
4.2.3. Dosage des tanins.....	38
4.2.4. Détermination de l'activité antioxydante.....	38
4.2.4.1. Activité antiradicalaire DPPH.....	38
4.3. Détermination de l'activité antibactérienne de l'extrait solide-liquide.....	39
4.3.1. Méthode de diffusion sur disques.....	40
4.3.2. Détermination de la concentration Minimale Inhibitrice (CMI).....	41
4.3.3. Détermination de la concentration Minimale Bactéricide (CMB).....	42

Résultats et discussion

1. Rendement des extraits bruts.....	44
2. Criblage phytochimique des composés bioactifs(Analyse qualitative).....	44
3. Analyse quantitative.....	47
3.1. Teneur en polyphénols totaux.....	48
3.2. Teneur en flavonoïdes.....	49
3.3. Teneur en tanins.....	49
4. Activité antioxydante.....	50
4.1. Activité antiradicalaire DPPH.....	50
5. Activité antibactérienne de l'extrait solide-liquide.....	52
5.1. Concentration minimale inhibitrice (CMI).....	56
5.2. Concentration minimale bactéricide (CMB).....	57
Conclusion.....	61
Références bibliographiques.....	64
Annexes	

Introduction

Introduction

Curcuma longa L. est une plante herbacée vivace, largement reconnue pour ses usages traditionnels et ses applications diverses dans les domaines de l'alimentation, de la santé et du cosmétique. Originaires des régions tropicales et subtropicales, elle est cultivée à grande échelle dans de nombreux pays pour ses rhizomes souterrains, qui présentent une coloration jaune orangé caractéristique et une saveur légèrement poivrée (Mebarkia et Miloudi, 2022).

Traditionnellement utilisé comme épice, colorant naturel ou remède médicinal, le curcuma suscite aujourd'hui un regain d'intérêt de la part de la communauté scientifique et industrielle.

L'intérêt croissant pour le curcuma s'explique par sa richesse exceptionnelle en composés bioactifs, en particulier les curcuminoïdes, auxquels sont attribuées de nombreuses propriétés biologiques, telles que les activités antioxydante, antimicrobienne, anti-inflammatoire et anticancéreuse (Saidi et Chachaoua, 2023).

Par ailleurs, la présence d'huiles essentielles, de flavonoïdes et de tanins renforce son potentiel thérapeutique et préventif (Benaïssa et Tabet, 2020). L'association de ces effets bénéfiques à une faible toxicité confère à *Curcuma longa* L. un fort potentiel en tant qu'ingrédient naturel dans le développement de produits innovants, tant à visée médicale que pour l'amélioration de la conservation des denrées alimentaires.

L'évaluation de *Curcuma longa* L. constitue une étape essentielle en vue d'explorer et de valoriser son potentiel bioactif. Elle implique une approche intégrante l'analyse de sa composition phytochimique, l'étude de ses propriétés biologiques, ainsi que la détermination des conditions optimales d'extraction et de formulation (Mebarkia et Miloudi, 2022).

Une telle démarche permet de mieux comprendre les mécanismes d'action des composés actifs du curcuma et d'envisager des applications ciblées dans le cadre d'une valorisation intégrée de cette plante.

Cette recherche contribue à la valorisation scientifique d'une plante utilisée depuis des siècles dans les pratiques traditionnelles, mais dont le potentiel d'application moderne, notamment dans les domaines de la santé et de l'agroalimentaire, reste largement exploitable.

Ce mémoire est structuré en deux parties principales. La première, de nature théorique, comprend deux chapitres : le premier propose une présentation générale de la plante *Curcuma*

longa L., tandis que le second s'intéresse à ses propriétés biologiques, en particulier ses activités antioxydantes et antibactériennes.

La seconde partie, dédiée à l'étude expérimentale, décrit dans un premier temps le matériel utilisé ainsi que les protocoles méthodologiques appliqués. Elle expose ensuite les résultats obtenus, suivis de leur interprétation et d'une discussion critique.

Ce travail se conclut par une synthèse des principaux résultats et par une ouverture sur les perspectives de recherche futures.

Chapitre 1. La plante *Curcuma longa* L.

1. La plante *Curcuma longa* L.

1.1. Origine et répartition géographique de la plante

Curcuma longa L. est une plante qui appartient à la même famille que le gingembre, les Zingibéracées, souvent appelé la « reine de la cuisine » (Mbadikoet *al.*, 2017). L'Inde, surnommée le « pays des espèces », produit environ 78 % du curcuma mondial, cultivé à grande échelle dans des États comme le Tamil Nadu, le Maharashtra et le Bengale. Historiquement appelé « herbe terrestre du soleil » pendant la période védique, Le nom curcuma vient du français Terre mérite, qui signifie « mérite de la terre », le curcuma est riche en composés bioactifs tels que la curcumine, qui aide à réguler l'inflammation et à contrôler l'oxydation cellulaire (Patel *et al.*, 2025).

Elle est distribuée dans les régions tropicales et subtropicales du monde et il est largement cultivé dans les pays asiatiques, à savoir : Malaisie, Indonésie, Inde et Taiwan. En Afrique, sa culture s'étend également à certains pays comme la République démocratique du Congo. Cette plante est exploitée principalement pour ses rhizomes, qui, une fois séchés puis réduits en poudre, peuvent être utilisés comme une épice alimentaire pour rehausser la saveur des aliments. Ils sont utilisés depuis au moins 4000 ans dans la tradition du système médical populaire, notamment la médecine chinoise (Mbadikoet *al.*, 2017) (Figure 01).

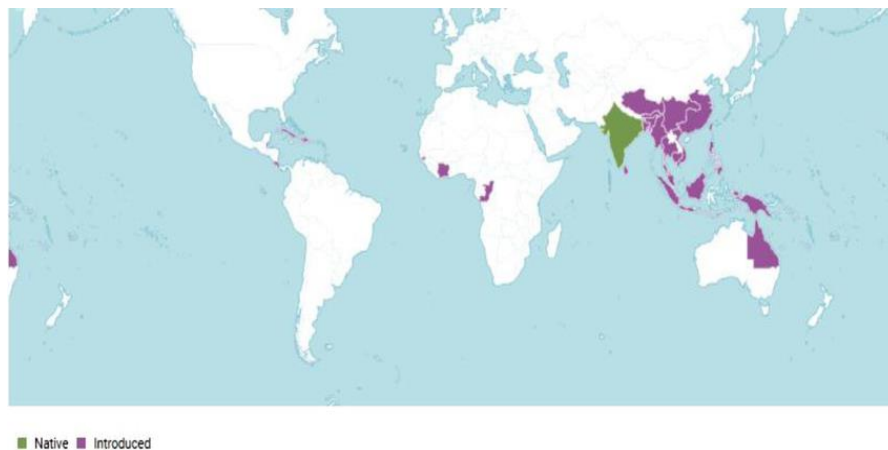


Figure01. Répartition mondiale de *Curcuma longa* L. (Iweala *et al.*, 2023).

- Zones indigènes de l'espèce, situées dans le sud-ouest de l'Inde, où elle est cultivée historiquement.
- Pays où la plante a été introduite et s'est naturalisée : Asie du Sud-Est, îles du Pacifique, régions tropicales d'Afrique, Caraïbes et Amériques.

1.2. Classification systématique

Curcuma longa L. a été décrit par **Sirirugsa et al. (2007)** et sa classification systématique la place dans le genre *Curcuma*, famille des *Zingibereae*, est mentionnée dans le tableau ci-dessous (**Tableau 01**).

Tableau 01. Classification taxonomique de *Curcuma longa* L. (**Chittopadhyay et al., 2004**).

Rang taxonomique	Nomenclature
Règne	<i>Plantae</i>
Classe	<i>Liliopsida</i>
Sous classe	<i>Commelinds</i>
Ordre	<i>Zingiberales</i>
Famille	<i>Zingiberaceae</i>
Genre	<i>Curcuma</i>
Espèce	<i>Curcuma longa</i>

1.3. Description botanique

Le genre *Curcuma* fait partie de la famille des Zingibéracées, Il compte une quarantaine d'espèces de vivaces à tubercules ou à rhizomes. Le *Curcuma longa* est une plante herbacée rhizomateuse vivace ce qui signifie qu'elle peut vivre plusieurs années, en subsistant l'hiver sous forme d'organes spécialisés souterrains protégés du froid et chargés en réserve (**Leroy, 2019**).

• Les feuilles

Les feuilles sont larges et naissent à partir du rhizome (**Figure 02**). Elles sont alternes et distiques, présentent un pétiole engainant, portant un limbe penninerve, oblongue-lancéolé, avec une longueur d'une cinquantaine de centimètres, glabre sur les deux faces (**Cheikh Ali, 2012**).



Figure 02. Les feuilles du *Curcuma longa* L. (**Khedis et Aid, 2020**).

- **Les fleurs**

Les fleurs sont généralement jaunes et assemblées en épi (**Figure 02**). Elles mesurent entre 10 à 15 cm de long et leur pédoncule mesure 15 cm, il est en général dissimulé par les gaines des pétioles. Lorsqu' il fleurit, les bractées vert clair deviennent violettes (**Jourdan, 2015**).



Figure 03. La Fleur du *Curcuma longa* L. (**Khedis et Aid, 2020**).

- **Les rhizomes**

Le *Curcuma longa* L a de nombreux rhizomes mesurant principalement environ 5 cm x 2,5cm et présentant à maturité de nombreux rhizomes latéraux aromatiques, cylindriques ou ellipsoïdes, de couleur grise -jaune à l'extérieur et orange sombre à l'intérieur (**Figure 03**)(**Leroy, 2019**).



Figure 04. Les rhizomes du *Curcuma longa* L. (**Leroy, 2019**).

1.4. Composition phytochimique

Les constituants chimiques de divers tissus du curcuma ont été largement étudiés. Les études phytochimiques sur la plante ont montré qu'elle est très riche en polyphénols, principalement des composés phénoliques, des terpénoïdes et des diarylpentanoïdes (les

curcuminoïdes). Elle contient aussi des flavonoïdes, des tannins, des alcaloïdes et des stéroïdes (Gururani et al., 2022 ; Amalraj et al., 2017 ; Ikpeama et al., 2014).

La composition phytochimique de *Curcuma longa* L. varie selon l'altitude, la région géographique et le cultivar (Gururani et al., 2022 ; Dosoky et al., 2019). Ces variations de composition influencent les activités biologiques comme les propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et antidiabétiques (Gururani et al., 2022).

Curcuma longa L. contient une gamme diversifiée de composés phytochimiques, notamment des curcuminoïdes, des huiles essentielles et divers métabolites secondaires. Les rhizomes sont riches en composés phénoliques (53,1 mg/g), en flavonoïdes (2,7 mg/g) et en tanins (360,75 mg/100 g) (François et al., 2024 ; Mouneam et al., 2015).

Plus de 235 composés ont été identifiés dans le curcuma, les curcuminoïdes et les huiles essentielles étant les principaux ingrédients bioactifs. La composition de ces composés varie en fonction de facteurs tels que la variété, la localisation et les méthodes d'extraction (Li et al., 2011). Le profil biochimique de la plante révèle un pH quasi neutre (6,68) et une teneur élevée en solides solubles (François et al., 2024).

1.5. Valeurs nutritionnelles et énergétiques

Le *curcuma longa* L est très riche en vitamines et en minéraux, comme le fer et le manganèse. C'est donc une épice alcalinisante et par conséquent, efficace contre l'acidose tissulaire, souvent à l'origine des états inflammatoires (Shahid, 2016). Les recherches sur la composition nutritionnelle du *curcuma longa* ont montré qu'il contient 8,92% d'humidité, 2,85% de cendres, 9,42% de protéines brutes, 4,60% de fibres brutes et 6,85% de matières grasses (Ikpeama et al., 2014) (Tableau 02).

Tableau 02. Valeurs nutritionnelles et énergétiques du *curcuma longa* L (Shahide, 2016).

Energie	354 Calories	Minéraux		Vitamines	
Eau	11.36 g	Calcium	183.00 mg	Vitamine A et B12	0.0 µg
Protéine	7.83 g	Cuivre	603.00 µg	Vitamine B1	0.15 mg
Sucre	3.21 g	Fer	41.42 mg	Vitamine B2	0.23 mg
Lipide	9.9 g	Magnésium	193.00 mg	Vitamine B2	0.23 mg
Fibre	21.10 g				
Acides gras		Manganèse	7.53 mg	Vitamine B3	5.14 mg
Total	9.88 g	Phosphore	268.00 mg	Vitamine B6	1.80 mg
Omega 3	0.48 g	Potassium	2525.00 mg	Vitamine B9	39.00 µg
Omega 6	1.69 g	Autres		Vitamine C	25.90 mg
Omega 9	1.66 g	Phytostéroles	82.00 mg	Vitamine E	3.10 mg
Gras saturés	3.12 g	Curcumine	3888.80 mg	Vitamine K	13.40 µg

1.6. Usages traditionnels et modernes

Curcuma longa L., communément appelé curcuma, est une plante largement utilisée depuis des millénaires dans les médecines traditionnelles et modernes asiatiques, notamment l'Ayurveda et chinoise. Traditionnellement, le curcuma est employé pour ses propriétés anti-inflammatoires, antimicrobiennes, antioxydantes, et comme traitement contre les troubles digestifs, les infections et les maladies de la peau (**Gupta et al., 2013**). Dans la culture alimentaire, il est utilisé comme épice et colorant naturel, apportant des bienfaits nutritionnels. À l'ère moderne, la recherche scientifique a validé plusieurs de ces usages en mettant en lumière les effets pharmacologiques de la curcumine, son principal composé actif. Le curcuma est aujourd'hui étudié pour ses applications dans le traitement des maladies chroniques telles que le cancer, les maladies neurodégénératives, et les troubles métaboliques, ainsi que pour ses propriétés antimicrobiennes et antioxydantes dans la conservation alimentaire (**Hewlings et Kalman, 2017 ; Aggarwal et Sung, 2009**). De plus, il est incorporé dans des formulations pharmaceutiques, cosmétiques et nutraceutiques, témoignant de sa polyvalence et de son importance croissante dans les approches thérapeutiques modernes (**Jäger et al., 2014**).

1.7. Toxicité

Malgré ses nombreuses propriétés thérapeutiques, *Curcuma longa* L. peut présenter une toxicité à des doses élevées ou en cas d'usage prolongé. La curcumine, son principal composé bioactif, est généralement considérée comme sûre lorsqu'elle est consommée aux doses usuelles dans l'alimentation. Cependant, certaines études in vivo ont montré que des doses élevées de curcumine (>500 mg/jour) peuvent induire des effets indésirables tels que des troubles gastro-intestinaux, une hépatotoxicité ou une altération de certains paramètres hématologiques chez les animaux de laboratoire (**Chainani-Wu, 2003**).

De plus, des cas rares de toxicité hépatique chez l'homme ont été rapportés après consommation de compléments à base de curcuma, notamment chez des individus présentant une susceptibilité hépatique ou prenant simultanément d'autres médicaments hépatotoxiques (**Teschke et Xuan., 2020; López-Lázaro, 2008**). Il est donc important de respecter les doses recommandées, surtout dans le cadre d'une application alimentaire ou thérapeutique prolongée.

Des études récentes ont examiné la toxicité des extraits de *Curcuma longa* L. Un extrait aqueux a montré une toxicité modérée dans les bio-essais sur *Artemia salina*, avec une

concentration létale médiane de 186,5 µg/mL-1 après 48 heures d'exposition (**Silva. L et Silva. F, 2024**).

1.8. Domaines d'applications

Curcuma longa L. est utilisé dans plusieurs secteurs en raison de ses propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes.

1.8.1. Secteur alimentaire

Les rhizomes de *Curcuma longa* L. sont couramment utilisés comme arôme, colorant et conservateur. Ils sont commercialisés comme épice et source d'amidon industriel (**Cousins et al., 2007**).

En agroalimentaire *Curcuma longa* L. est largement utilisé comme additif naturel, notamment en tant que colorant (E100) et agent de conservation. Sa richesse en curcumine lui confère une forte activité antioxydante, permettant de retarder l'oxydation des lipides et de prolonger la durée de conservation des aliments (**Prasad et al., 2021**).

De plus, son activité antimicrobienne contre divers pathogènes alimentaires en fait un candidat prometteur pour remplacer les conservateurs synthétiques (**Negi, 2012**). Il est également incorporé dans des produits laitiers, des sauces, ou encore des boissons fonctionnelles pour ses effets santé et sa stabilité (**Jayaprakasha et al., 2006**).

Le curcuma est largement utilisé dans l'industrie alimentaire (53 % des brevets), suivi par les produits pharmaceutiques (35 %), les biotechnologies (9,5 %) et les cosmétiques (1,5 %) (**Filgueiras et al., 2013**).

Dans les produits de la mer, le curcuma améliore la qualité nutritionnelle, prolonge la durée de conservation et améliore la couleur et la saveur (**Güneri, 2021**). Le curcuma est utilisé depuis longtemps en médecine traditionnelle et fait actuellement l'objet d'études pour des applications modernes (**Sabale et al., 2013**). Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour déterminer les seuils d'application optimaux et développer des techniques d'encapsulation efficaces pour une utilisation généralisée en agriculture (**Ibáñez et Blázquez, 2020**).

Curcuma longa L. est d'abord valorisé comme colorant alimentaire naturel ; de nouvelles formulations hydro diffusibles ou nano-encapsulées améliorent sa stabilité et sa dispersion dans les matrices hydrophiles telles que le yaourt, sans modifier significativement les profils nutritionnels (**Almeida, 2018**).

Dans les produits laitiers, l'incorporation de 0,5–1 % de poudre de curcuma accroît la capacité antioxydante du yaourt de 10 à 51 %, tandis que des nano-émulsions de curcumine améliorent la durée de vie et les qualités sensorielles de fromages frais (Sıçramaz,2025).

Côté emballage actif, l'ajout de 0,3 % de curcumine dans des films chitosane/protéine de *Tenebriomolitor* ou dans des films chitosane-PVA « intelligents » confère une barrière UV, une activité radicalaire > 85 % et permet soit de limiter la perte de poids des myrtilles, soit de suivre visuellement la fraîcheur des crevettes (Liu et al.,2024).

Enfin, l'enrichissement de pains fonctionnels avec 1–3 % de poudre de curcuma augmente la teneur en fibres et prolonge la durée de conservation sans détériorer les attributs sensoriels (Saddique et al., 2024). Ces exemples illustrent la polyvalence du curcuma comme colorant, ingrédient fonctionnel et agent de conservation naturel dans une large gamme de matrices alimentaires.

1.8.2. Domaine médicale et pharmaceutique

Dans les monographies de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), l'utilisation du curcuma est recommandée pour traiter les problèmes digestifs, les maladies inflammatoires (rhumatismes, arthrite, arthrose) et les troubles cardio-vasculaires, comme l'ont montré les études épidémiologiques. L'huile essentielle de curcuma possède également des propriétés préventives du cancer. Le curcuma aide dans le traitement de l'ostéoporose et à enrayer une perte osseuse post-ménopausique chez les femmes en déficit d'œstrogène, et utile aussi pour éviter la maladie d'Alzheimer, contribue au bon équilibre nerveux et mental (Shahid, 2016).

1.8.3. Domaine cosmétique

Le *Curcuma longa* L est couramment utilisé dans la fabrication de crèmes et de savons en ayurvéda, l'ancien système médicinale indienne. Ces produits topiques sont appliqués pour traiter diverses affections cutanées telles que les brûlures, les morsures, l'acné ou encore certaines infections oculaires, grâce aux propriétés antimicrobiennes, anti-inflammatoires et cicatrisantes du curcuma(Akpolat et al., 2010;Hatcher et al., 2008).

1.8.4. Domaine agricole

Dans le secteur agricole, l'huile essentielle de curcuma est employée pour lutter contre les proliférations fongiques des denrées alimentaires. Des études in vitro ont démontré son efficacité contre diverses souches de micromycètes fréquemment rencontrées dans les produits stockés, notamment dans les silos à grains. Parmi les composés bioactifs identifiés, la

turmérone apparaît comme le principal responsable de cette activité antifongique (**Jourdan, 2015**).

1.9. Activités biologiques du *Curcuma longa*L.

Curcuma longa L. présente un large éventail d'activités biologiques attribuées principalement à la curcumine, son composé polyphénolique majoritaire. Elle possède des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes et anticancéreuses. Ces effets sont bien documentés et justifient son usage en nutrition, médecine traditionnelle et industries agroalimentaire et pharmaceutique (**Gupta et al., 2013**).

1.9.1. Activité antioxydante

L'activité antioxydante de *Curcuma longa*L est largement exploitée dans le domaine alimentaire pour améliorer la stabilité des produits et prolonger leur durée de conservation. La curcumine, principal composé bioactif du curcuma, agit comme un puissant antioxydant naturel capable de neutraliser les radicaux libres et d'inhiber la peroxydation lipidique, un mécanisme clé dans l'oxydation des graisses alimentaires (**Hewlings et Kalman, 2017**). Intégrée dans des matrices alimentaires telles que les huiles, les viandes transformées ou les produits laitiers, la poudre ou l'extrait de curcuma permet de ralentir le rancissement oxydatif et d'améliorer la qualité sensorielle et nutritionnelle des aliments (**Dutta et al., 2021**).

Par ailleurs, des recherches ont montré que l'ajout de curcuma dans des produits de boulangerie ou de confiserie contribue à une augmentation significative de la capacité antioxydante globale, mesurée par les tests DPPH et FRAP (**Jayaprakasha et al., 2006**). L'utilisation de curcuma dans les formulations alimentaires est également valorisée pour son origine naturelle, en réponse à la demande croissante de conservateurs non synthétiques. Ainsi, *Curcuma long* L. s'impose non seulement comme un ingrédient fonctionnel, mais aussi comme un agent de protection contre l'oxydation dans l'industrie agroalimentaire(**Prasad et al., 2014 ; Dutta et al., 2020**).

Curcuma longa L. présente d'importantes propriétés antioxydantes. Diverses fractions de son extrait méthanolique, notamment la fraction acétate d'éthyle, présentent une forte activité antioxydante grâce à la capture des radicaux DPPH et ABTS et au pouvoir réducteur ferrique (**Choi, 2009**).

1.9.2. Activité antimicrobienne

L'activité antimicrobienne de *Curcuma longa* L. suscite un intérêt croissant dans le domaine alimentaire en raison de son efficacité contre divers microorganismes pathogènes et

d'altération, tout en répondant aux exigences de sécurité alimentaire et de naturalité. La curcumine, principal composé actif du curcuma, ainsi que ses dérivés (déméthoxy-curcumine, bis-dé-méthoxy-curcumine) exercent une action antimicrobienne en perturbant les membranes cellulaires bactériennes, inhibant la synthèse des protéines et induisant un stress oxydatif intracellulaire (Sharifi-Rad et al., 2020).

Des études récentes ont montré que des extraits de curcuma incorporés dans des matrices alimentaires comme les viandes, les produits laitiers et les sauces permettent de réduire significativement la croissance de *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* et *Salmonella enterica*, prolongeant ainsi la durée de conservation des aliments (Alavi et al., 2023; Das et al., 2021). De plus, des formulations innovantes comme les films comestibles enrichis en curcuma ou les nano émulsions de curcumine renforcent la stabilité et la biodisponibilité de ces composés antimicrobiens naturels, tout en maintenant les qualités organoleptiques des produits (Gavamukulya et al., 2022).

Par conséquent, *Curcuma longa* L. constitue une alternative prometteuse aux conservateurs chimiques dans les stratégies de bioconservation des aliments.

1.9.3. Activité anti-inflammatoire

L'activité anti-inflammatoire de *Curcuma longa* L., et plus spécifiquement de sa molécule active, la curcumine, est largement exploitée dans le domaine alimentaire fonctionnel pour ses effets bénéfiques sur la santé. Intégrée dans des aliments ou sous forme de compléments nutritionnels, la curcumine exerce une action anti-inflammatoire en inhibant plusieurs voies de signalisation clés impliquées dans l'inflammation, notamment NF- κ B, COX-2 et les cytokines pro-inflammatoires comme TNF- α , IL-1 β et IL-6 (Huminięcki et Horbańczuk, 2022).

Des études récentes ont démontré que l'enrichissement de produits alimentaires comme les boissons fonctionnelles, les yaourts ou les barres nutritionnelles en curcumine contribue à moduler les réponses inflammatoires chez des individus souffrant de troubles métaboliques ou inflammatoires chroniques (Nelson et al., 2023; Altobelli et al., 2020). L'efficacité de la curcumine dans les aliments est cependant limitée par sa faible biodisponibilité, ce qui a conduit au développement de nouvelles formulations telles que les nanoencapsulations, les complexes phospholipidiques ou les matrices lipidiques qui améliorent son absorption et sa stabilité dans les produits alimentaires (Bai et al., 2022). Ainsi, l'utilisation de *Curcuma longa* L. dans l'alimentation fonctionnelle offre une approche naturelle et prometteuse pour la prévention nutritionnelle des maladies inflammatoires.

1.9.4. Activité anticancéreuse

L'activité anti-cancéreuse de *Curcuma longa* L., notamment attribuée à la curcumine, suscite un fort engouement dans le domaine alimentaire fonctionnel en tant qu'approche préventive naturelle contre la carcinogenèse. La curcumine exerce ses effets anticancéreux par de multiples mécanismes : inhibition de la prolifération cellulaire, induction de l'apoptose, inhibition de l'angiogenèse et modulation de voies de signalisation clés impliquées dans le développement tumoral, telles que NF- κ B, PI3K/Akt, MAPK et Wnt/ β -caténine **(Kunnumakkara et al., 2020)**.

Intégrée dans des aliments fonctionnels, la curcumine peut contribuer à une réduction du risque de cancers digestifs, notamment colorectaux, grâce à son interaction directe avec la muqueuse intestinale et son effet sur le microbiote **(Cao et al., 2022)**. Cependant, sa faible biodisponibilité orale limite son efficacité, ce qui a conduit à l'émergence de nouvelles formulations alimentaires comme les nanoémulsions, les liposomes et les complexes micellaires, qui permettent une meilleure absorption et libération ciblée **(Liet et al., 2023)**.

Plusieurs études cliniques et précliniques soutiennent l'utilisation du curcuma dans l'alimentation quotidienne pour sa capacité à réduire l'inflammation chronique de bas grade, considérée comme un facteur clé dans l'initiation tumorale **(Prasad et al., 2021)**. Ainsi, *Curcuma longa* L. apparaît comme un ingrédient stratégique dans la conception de produits alimentaires préventifs à visée anticancéreuse.

**Chapitre 2. Activité antioxydante et
antimicrobienne de l'extrait de *Curcuma
longa* L.**

2. Activité antioxydante et antimicrobienne de l'extrait de *Curcuma longa* L.

2.1. Antioxydants

2.1.1. Définition

Un antioxydant c'est une molécule capable de réduire ou bloquer l'oxydation des molécules chimiques, tout en gardant les mêmes propriétés nutritionnelles des denrées alimentaires aussi ils maintiennent la qualité et prolongent leur durée de consommation **(Hocine et Gorine, 2017; Desmier, 2016; Atti, 2014)**.

Les antioxydants sont des molécules capables d'inhiber ou de ralentir l'oxydation d'autres substances en neutralisant les espèces réactives de l'oxygène (ROS) et les radicaux libres. Ces composés jouent un rôle essentiel dans la protection des cellules contre le stress oxydatif, un processus impliqué dans le vieillissement cellulaire et de nombreuses pathologies telles que les maladies cardiovasculaires, neurodégénératives et certains cancers **(Halliwell et Gutteridge, 2015)**.

Les antioxydants peuvent avoir plusieurs origines ils peuvent être produits dans l'organisme ou apportés par l'alimentation bien sont issus d'une synthèse chimique **(Kalanderet al., 2012)**. Ces antioxydants sont largement présents dans nos aliments, soit sous forme naturelle, soit sous forme d'additifs utilisés dans l'industrie agroalimentaire **(Tanguy et al., 2009)**. Les antioxydants peuvent être classés selon leurs origines en deux classes les antioxydants enzymatiques et les antioxydants non enzymatiques **(Delattre et al., 2005)**.

Les épices en générale, sont très riches en métabolites antioxydants, une revue scientifique reconnue a classé le curcuma au quatrième rang parmi les 50 aliments renfermant le plus d'antioxydants **(Halvorsen et al., 2006)**.

2.1.2. Principaux composés antioxydants de *Curcuma longa* L.

2.1.2.1. Curcumine et dérivés

Les curcuminoïdes constituent la fraction active de l'extrait de *Curcuma longa* L. Ils sont insolubles dans l'eau et doivent être extraits à l'aide de solvants **(Jayaprakasha et al., 2005)**. Ce sont des molécules polyphénoliques, on en dénombre trois : la curcumine, aussi dénommée diféruloyl-méthane et ses molécules dérivées, la déméthoxy-curcumine et la bisdéméthoxy-curcumine **(Portes, 2008; Kholi et al., 2005)**.

La curcumine fait l'objet d'un intérêt croissant dans le domaine de la recherche en raison de son rôle central dans les effets bénéfiques attribués à la plante. En tant que principal composé actif du *Curcuma longa* L., elle constitue le sujet principal de la section suivante, qui

s'attarde sur l'analyse de ses propriétés physico-chimiques et de ses potentialités thérapeutiques (Goel *et al.*, 2008).

2.1.2.2. Composés phénoliques

✚ Acide phénolique

Les acides phénoliques sont des substances phytochimiques ayant au moins un groupe carboxyle et un groupe hydroxy-phénolique (Chanforan, 2010). Ils sont nécessaires pour les fonctions normales des plantes, où ils jouent un rôle important dans la résistance des plantes aux agents pathogènes et les herbivores, la croissance des plantes, la couleur et les caractéristiques organoleptiques des plantes et la prévention du stress oxydatif (Challacombe *et al.*, 2012; Kawsar *et al.*, 2008). Ces composés sont principalement représentés par les acides hydroxybenzoïques et les acides hydroxy-cinnamiques, présents sous forme libre ou conjuguée (Garrido et Borges *et al.*, 2013; Martins *et al.*, 2011).

✚ Flavonoïdes

Selon Imen (2008), les flavonoïdes constituent la principale classe des composés phénoliques, caractérisés par leur faible poids moléculaire. On dénombre Plus de 4 000 flavonoïdes, jouant un rôle essentiel dans la pigmentation des plantes. Parmi eux, les anthocyanosides confèrent des teintes rouges ou bleues, tandis que les chalcones, les auronnes et les flavonols sont responsables des colorations jaunes.

Les flavonoïdes, par leur capacité à piéger les radicaux libres, contribuent à la stabilisation des membranes cellulaires et à la prévention du stress oxydatif (Prasad *et al.*, 2021).

✚ Tanins

Les tanins sont des polyphénols polaires d'origine végétale que l'on retrouve dans presque toutes les parties de la plante, notamment l'écorce, le bois, les feuilles, les fruits et les racines. Contrairement aux flavonoïdes, ils se distinguent par leur poids moléculaire élevé, généralement compris entre 500 et 3 000 Da. Leur séparation au sein d'un extrait végétal est souvent complexe en raison de la présence de nombreux isomères ayant des structures moléculaires très similaires (Hemmami *et al.*, 2023).

La teneur en tanins dans les extraits de *Curcuma longa* L. varie selon la méthode d'extraction et les conditions expérimentales. Selon certaines études, la concentration en tanins a été estimée à environ 0,87mg pour 100g de curcuma en poudre (Abubakar *et al.*, 2022).

2.1.2.3. Huiles essentielles

Les huiles essentielles de *Curcuma longa* L, extraites principalement des rhizomes par hydrodistillation ou par des procédés modernes tels que l'extraction assistée par micro-ondes, sont riches en composés bioactifs volatils. Les principaux constituants identifiés sont l'ar-turmérone, le β -turmérone, le zingibérène, le curlone et le β -sesquiphellandrène, qui confèrent à l'huile des propriétés antioxydantes et antimicrobiennes remarquables (**Mehmood et al., 2023; Lima et al., 2021**). Ces composés sont capables de neutraliser les radicaux libres et d'inhiber l'oxydation lipidique, ce qui rend l'huile essentielle de curcuma particulièrement efficace pour prolonger la durée de conservation des aliments sensibles à l'oxydation.

Dans le domaine alimentaire, l'huile essentielle de *Curcuma longa* est de plus en plus utilisée comme agent de conservation naturel. Son efficacité a été démontrée dans divers systèmes alimentaires, notamment les produits carnés, les huiles comestibles et les fruits frais, où elle contribue à limiter la croissance microbienne et retarder la dégradation oxydative (**Sultana et al., 2022**). En outre, son incorporation dans des films d'emballage actifs ou des revêtements comestibles permet de préserver la qualité sensorielle et nutritionnelle des aliments tout en répondant à la demande croissante pour des solutions naturelles de conservation (**Tylkowski et al., 2020**).

Cependant, certaines limitations telles que la volatilité élevée, l'odeur marquée et la sensibilité à la lumière et à la chaleur nécessitent le recours à des technologies d'encapsulation ou à des systèmes de libération contrôlée afin d'en améliorer la stabilité et l'efficacité en conditions industrielles (**Salgado et al., 2023**).

2.1.3. Classification

2.1.3.1. Antioxydants enzymatiques

Sont des antioxydants endogènes représentent la première barrière de défense contre les RL (radicaux libres) qui englobe les enzymes suivantes (**Bensakhria, 2018; Baba et McGrath., 2008**).

a) Superoxyde dismutase (SOD)

La superoxyde dismutase est un puissant antioxydant enzymatique présent chez tous les organismes aérobies (**Marok, 2014**). Elle catalyse la conversion des anions superoxydes en dioxygène et en peroxyde d'hydrogène (**Tarik, 2014; Stocker et al., 2004**).

b) Catalase (CAT)

La catalase, première enzyme antioxydante identifiée (Kurutas, 2016), dégrade le peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène (Tarik, 2014).

c) Glutathion peroxydases (GPx)

Les glutathion peroxydases possèdent une forte affinité pour le peroxyde d'hydrogène et par conséquent, catalysent l'élimination de H₂O₂ même présent à de très faibles concentrations (Bédane, 2008).

2.1.3.2. Antioxydants non enzymatiques

Sont des composés naturels ou synthétiques qui agissent en neutralisant les radicaux libres dans l'organisme. Ils jouent un rôle important dans la protection des cellules contre les effets nocifs du stress oxydatif. Parmi eux, on trouve des vitamines (Vitamine A et E, ...), des polyphénols et des caroténoïdes (Pham-huy., 2008).

a) Acide ascorbique (vitamine C)

La vitamine C ou acide ascorbique, est une molécule hydrosoluble abondante dans les fruits et légumes, que l'organisme humain ne peut pas synthétiser. Elle protège les membranes cellulaires contre l'oxydation grâce à sa forme ionisée, capable de neutraliser les radicaux libres en formant un radical ascorbate tricarbonylé stabilisé par résonance. En raison de son faible pK, cette forme radicalaire faiblement réactive est majoritairement présente (Rezaire, 2012).

b) Vitamine E

C'est un important antioxydant liposoluble majeur regroupant tocophérols et tocotriénols, protège les acides gras membranaires contre la peroxydation lipidique, en synergie avec d'autres antioxydants comme l'ubiquinol, le rétinol et l'ascorbate (Ortega et al., 2014; Lobo et al., 2010).

c) Les oligoéléments

Cu, Zn, Se et Fe des cofacteurs qui jouent le rôle d'un barrage contre le stress oxydatif. Ils maintiennent l'activité catalytique des enzymes antioxydantes (Garait, 2006). Aussi le zinc et le cuivre jouent un très grand rôle dans l'activité de la SOD (Bouldjadj, 2009).

d) Caroténoïdes

Aussi appelés xanthophylles ou caroténoïdes oxygénés, ce sont des pigments naturels jaunes, orange ou rouges. Les principaux caroténoïdes incluent le bêta-carotène, le lycopène et l'alpha-carotène, tandis que les xanthophylles comprennent la lutéine, la zéaxanthine, la cryptoxanthine, la canthaxanthine, l'astaxanthine et la fucoxanthine (**Chandrasekara et Shahidi, 2018**).

2.1.4. Importance des antioxydants

Les antioxydants de *Curcuma longa* L., en particulier la curcumine, jouent un rôle fondamental dans la prévention du stress oxydatif, un processus pathologique impliqué dans de nombreuses maladies chroniques telles que les cancers, les maladies cardiovasculaires, le diabète de type 2 et les affections neurodégénératives. La curcumine agit comme un piègeur de radicaux libres (ROS et RNS), tout en activant des enzymes antioxydants endogènes telles que la superoxyde dismutase (SOD), la catalase et la glutathion peroxydase (**Priyadarsini, 2020**).

Elle protège les membranes cellulaires, les protéines et l'ADN contre les dommages oxydatifs, contribuant ainsi au maintien de l'intégrité cellulaire. Dans le domaine alimentaire, ces propriétés antioxydants sont valorisées pour la formulation d'aliments fonctionnels capables d'apporter des bénéfices santé, mais aussi pour prolonger la durée de conservation des aliments en inhibant l'oxydation des lipides (**Bai et al., 2022**).

De plus, la biodisponibilité de la curcumine peut être améliorée par des technologies telles que la nanoencapsulation, les micelles ou l'association à la pipérine, renforçant ainsi son efficacité biologique (**Huang et al., 2023**). L'intégration des antioxydants de *Curcuma longa* L dans l'alimentation quotidienne constitue donc une stratégie nutritionnelle prometteuse pour prévenir le vieillissement cellulaire et les maladies liées au stress oxydatif.

2.1.5. Rôle des antioxydants dans la conservation des aliments

Les antioxydants jouent un rôle essentiel dans la conservation des aliments, en prévenant l'oxydation des lipides, des pigments et des composés nutritifs sensibles à l'oxygène. L'oxydation lipidique, en particulier, est l'un des principaux facteurs de dégradation des aliments riches en graisses, conduisant à la formation de composés secondaires toxiques, à la perte de goût, à des odeurs désagréables et à la réduction de la valeur nutritionnelle (**Shahidi et Ambigaipalan, 2015**).

Les antioxydants naturels ou synthétiques agissent en neutralisant les radicaux libres ou en inhibant les réactions en chaîne de peroxydation lipidique, prolongeant ainsi la durée de vie des produits alimentaires. Parmi les antioxydants les plus couramment utilisés figurent les tocophérols, acide ascorbique, acide citrique, phénols naturels (comme ceux du thé vert, du romarin ou du curcuma) (Zhang *et al.*, 2022).

Avec la demande croissante pour des alternatives naturelles, les antioxydants issus de plantes médicinales et aromatiques, tels que la curcumine (*Curcuma longa* L.), sont de plus en plus étudiés pour leur efficacité dans la stabilisation des huiles, viandes, produits laitiers et emballages actifs. Ces composés permettent non seulement de maintenir la qualité sensorielle et nutritionnelle des aliments, mais aussi de répondre aux attentes des consommateurs en matière de sécurité alimentaire et de produits plus sains (Bajpai *et al.*, 2020).

- **Prévention de l'oxydation lipidique**

L'oxydation lipidique est un processus chimique majeur de dégradation des aliments, en particulier ceux riches en acides gras insaturés, tels que les huiles, les viandes et les produits laitiers. Elle conduit à la formation de composés secondaires indésirables, responsables de la perte de goût, de l'apparition d'odeurs rances, de la diminution de la valeur nutritionnelle et de la génération de composés potentiellement toxiques.

La prévention de l'oxydation lipidique repose principalement sur l'utilisation d'antioxydants, qui peuvent inhiber le processus à différents stades : en captant les radicaux libres, en chélatant les ions métalliques catalyseurs (Fe^{2+} , Cu^{2+}) ou en régénérant d'autres antioxydants (Shahidi et Zhong, 2015).

Les antioxydants naturels, tels que les polyphénols végétaux, les tocophérols, les flavonoïdes (curcumine, catéchines, acide rosmarinique) ou la vitamine C, sont de plus en plus privilégiés comme alternatives aux additifs synthétiques (BHT, BHA), en raison de leur innocuité perçue par les consommateurs (Zhang *et al.*, 2022).

De plus, des techniques innovantes comme la nanoencapsulation, l'utilisation de films actifs enrichis en antioxydants, ou l'intégration dans des émulsions stabilisées permettent d'améliorer l'efficacité de ces composés dans la matrice alimentaire. Ces stratégies sont essentielles pour garantir la qualité, la sécurité et la durée de conservation des aliments transformés (Karre *et al.*, 2020).

- **Protection des nutriments**

La protection des nutriments est essentielle pour préserver la valeur nutritionnelle des aliments tout au long de leur transformation, stockage et consommation. De nombreux

nutriments, notamment les vitamines (A, C, E, B₁), les acides gras insaturés et certains composés phytochimiques, sont sensibles à la lumière, à l'oxygène, à la chaleur et au pH, ce qui peut entraîner leur dégradation ou leur inactivation (**Rodriguez-Amaya, 2021**).

L'utilisation d'antioxydants naturels, de techniques de micro-encapsulation, d'emballages actifs et de procédés doux (comme la lyophilisation ou la haute pression) permet de limiter les pertes nutritionnelles et de garantir la stabilité des micronutriments pendant la durée de vie du produit (**Cilla et al., 2022**). Par exemple, la curcumine, la vitamine E et les extraits phénoliques jouent un rôle clé en piégeant les radicaux libres et en prévenant l'oxydation des nutriments liposolubles.

De plus, certains agents protecteurs comme les protéines de lait, les polysaccharides (pectines, alginates), ou les lipides sont utilisés pour encapsuler les nutriments sensibles et améliorer leur biodisponibilité dans l'organisme. La préservation des nutriments est ainsi un enjeu majeur dans le développement d'aliments fonctionnels et fortifiés, répondant aux attentes des consommateurs en matière de santé et qualité nutritionnelle (**Augustin et Sanguansri, 2015**).

- **Amélioration de la durée de conservation**

L'amélioration de la durée de conservation est un enjeu majeur de l'industrie agroalimentaire, visant à réduire le gaspillage alimentaire, garantir la sécurité sanitaire des produits, et maintenir leur qualité nutritionnelle et sensorielle. Plusieurs stratégies sont utilisées pour prolonger la durée de vie des aliments, notamment l'ajout de conservateurs naturels (antioxydants, antimicrobiens), la réduction de l'exposition à l'oxygène (emballage sous vide ou sous atmosphère modifiée), et l'application de technologies innovantes comme la haute pression hydrostatique, le traitement par froid, ou l'irradiation douce (**Espitia et al., 2021**).

Les antioxydants, tels que les polyphénols, les tocophérols ou la curcumine, jouent un rôle clé en ralentissant les phénomènes d'oxydation lipidique et de dégradation des nutriments, tandis que des agents antimicrobiens naturels (huiles essentielles, peptides antimicrobiens, extraits de plantes) limitent la croissance de micro-organismes responsables de l'altération (**Gyawali et Ibrahim, 2014**).

Par ailleurs, l'utilisation d'emballages actifs, enrichis en substances protectrices, représente une approche prometteuse pour prolonger la stabilité des produits sans altérer leur composition. Ces méthodes combinées permettent non seulement de préserver la qualité des

aliments mais aussi de répondre à la demande croissante pour des solutions durables et naturelles dans le secteur agroalimentaire (Rivera-Calo et al., 2022).

- **Alternative aux conservateurs synthétiques**

Face aux préoccupations croissantes concernant les mauvaises effets potentiels des conservateurs synthétiques sur la santé, tels que les nitrites, parabènes, BHA ou BHT, la recherche s'est intensifiée pour développer des alternatives naturelles sûres et efficaces. Les extraits de plantes, riches en composés bioactifs comme les polyphénols, les flavonoïdes, les terpénoïdes et les huiles essentielles, constituent des candidats prometteurs en raison de leurs propriétés antimicrobiennes et antioxydants (García-Salinas et al., 2022). Par exemple, des extraits de romarin, thym, origan, cannelle, ou curcuma (*Curcuma longa* L.) sont utilisés pour inhiber la croissance microbienne et retarder l'oxydation lipidique dans divers produits alimentaires (Tajkarimi et al., 2021).

De plus, la biopréservation via l'utilisation de bactéries lactiques productrices de bactériocines ou d'acides organiques s'avère une approche naturelle efficace pour contrôler la flore pathogène et de dégradation. Ces alternatives permettent non seulement d'améliorer la durée de conservation des aliments mais aussi de répondre aux attentes des consommateurs en matière de produits plus naturels et « clean label ». Cependant, leur intégration nécessite souvent une optimisation des doses, formulations et modes d'application afin de garantir leur efficacité sans altérer les qualités organoleptiques des aliments (Cotter et al., 2017).

2.2. Techniques d'extraction de l'extrait de *Curcuma longa* L.

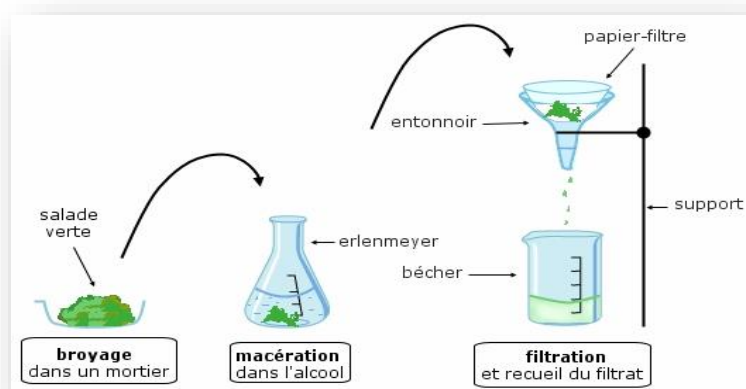
Diverses techniques ont été explorées pour extraire la curcumine de *Curcuma longa* L. (curcuma). Les méthodes traditionnelles comprennent l'extraction Soxhlet, l'hydrodistillation et l'extraction par solvant à basse pression, tandis que les approches modernes englobent l'extraction assistée par ultrasons, assistée par micro-ondes, assistée par enzymes et par fluide supercritique (Manasa et al., 2023).

L'extraction Soxhlet à l'éthanol ou à un mélange d'éthanol et d'alcool isopropylique a démontré des rendements élevés en curcuminoïdes et une forte activité antioxydante (Braga et al., 2003). Le choix de la méthode d'extraction a un impact significatif sur le rendement, la composition et la bioactivité des extraits de curcuma, chaque technique offrant des avantages uniques pour diverses applications (Sai et al., 2023; Braga et al., 2003).

1.1.1. Extraction par macération

La macération est une technique d'extraction consistant à immerger le matériel végétal dans un solvant à température ambiante pendant une période prolongée. Les composés solubles diffusent progressivement dans le solvant par simple diffusion. Il s'agit de la méthode d'extraction la plus simple, et elle peut être répétée plusieurs fois afin d'optimiser l'extraction des substances actives contenues dans la plante. Toutefois, son principal inconvénient réside dans la durée du processus, qui peut s'étendre sur plusieurs jours, voire semaines (Zirena,2015). Pour maximiser l'efficacité de l'extraction, il est recommandé d'utiliser un récipient hermétiquement fermé et d'agiter régulièrement le mélange, favorisant ainsi la diffusion des composés dans le liquide (Naviglio et al.,2019) (Figure 05).

Figure05. Les étapes d'extraction par macération (Périno-Issartier et Chemat, 2013).



2.2.2.Extraction par Soxhlet

L'extracteur de Soxhlet est un dispositif en verre couramment utilisé en chimie analytique et en chimie organique pour réaliser une extraction continue de composés contenus dans un solide à l'aide d'un solvant(Figure06). Il est constitué d'un corps principal en verre accueillant une cartouche en papier filtre épais, d'un tube siphon et d'un tube d'adduction. L'ensemble est installé sur un ballon contenant le solvant, tandis que le solide à extraire est placé dans la cartouche, sous un réfrigérant assurant la condensation des vapeurs (Hamidi, 2013).

C'est une technique qui présente plusieurs avantages : elle est simple et aucune nécessité de filtration après l'extraction. Toutefois, elle requiert une grande quantité de solvant ainsi qu'un temps d'évaporation relativement long (Penchev ,2010).

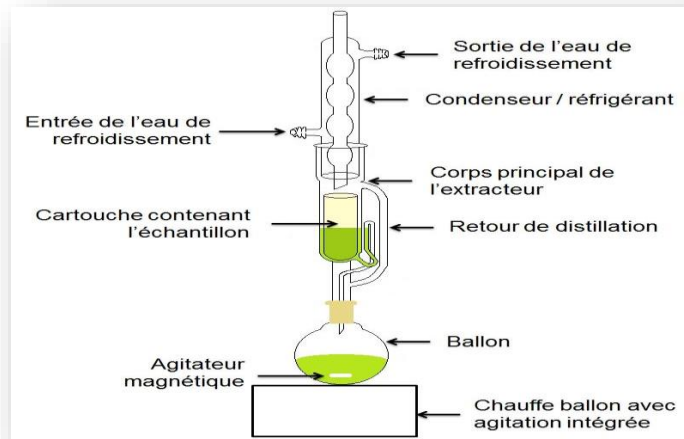


Figure06. Le montage d'extraction par Soxhlet(Bimakr et al., 2011).

2.2.3. Extraction par micro-ondes

Au début des années 1990, une nouvelle technique d'extraction a émergé : l'hydrodistillation par micro-ondes sous vide(Figure 07). Dans ce procédé, la matrice végétale est chauffée par micro-ondes dans une enceinte hermétique où la pression est réduite de manière séquentielle. La chaleur génère de la vapeur d'eau à partir de l'eau intrinsèque de la plante, entraînant les composés volatils. Ces derniers sont ensuite récupérés par des méthodes classiques telles que la condensation, le refroidissement et la décantation(Zensani, 2014).

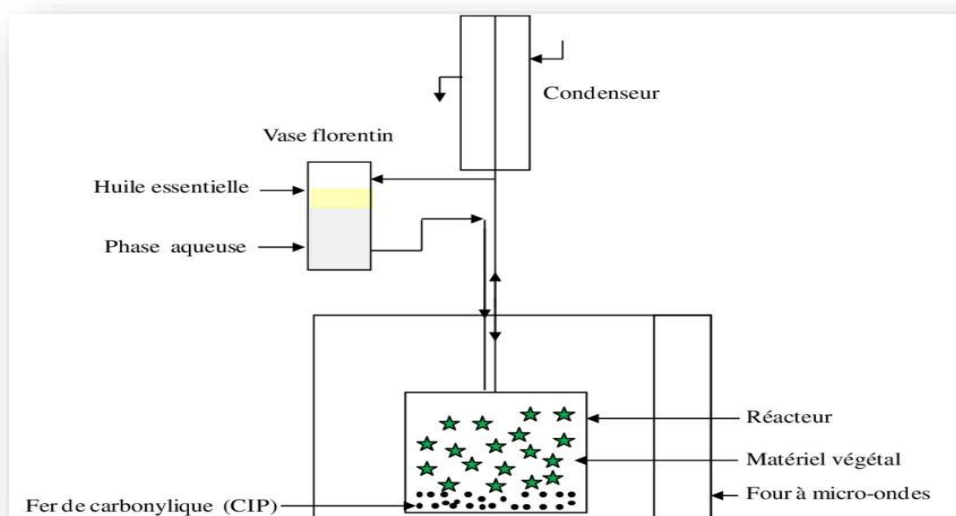


Figure07. L'extraction par micro-ondes. (Chemat et al., 2004).

2.3. Activité antioxydante de l'extrait de *Curcuma longa* L

2.3.1. Mécanisme d'action antioxydante de l'extrait de *Curcuma longa* L

L'activité antioxydante de l'extrait de *Curcuma longa* L. est principalement attribuée à la curcumine, son principal composé polyphénolique, ainsi qu'à d'autres constituants bioactifs comme les flavonoïdes, les tanins et les huiles essentielles. La curcumine agit comme un piègeur direct de diverses espèces réactives de l'oxygène (ROS) et de l'azote (RNS), notamment les radicaux hydroxyles (OH), les anions superoxydes (O_2^-) et le peroxydinitrite ($ONOO^-$) (Prasad et al., 2021). Ce mécanisme implique le transfert d'un atome d'hydrogène ou d'un électron depuis les groupes hydroxyles phénoliques de la curcumine vers les radicaux libres, stabilisant ces derniers et empêchant les réactions en chaîne de peroxydation lipidique.

Par ailleurs, la curcumine est capable d'activer les voies de signalisation cellulaires liées à la défense antioxydante, notamment par l'induction de l'expression de la voie Nrf2/Keap1, qui régule la transcription des enzymes antioxydantes telles que la superoxyde dismutase (SOD), la catalase (CAT) et la glutathion peroxydase (GPx) (Panahi et al., 2022). Elle peut également inhiber la formation des radicaux libres en chélatant les ions métalliques de transition comme le fer (Fe^{2+}) et le cuivre (Cu^{2+}), réduisant ainsi la production de radicaux via les réactions de Fenton.

Des travaux récents ont montré que l'extrait éthanolique de *Curcuma longa* présentait une capacité antioxydante élevée mesurée par les tests DPPH, ABTS et FRAP, comparables voire supérieurs à certains antioxydants de référence comme l'acide ascorbique (Rahmani et al., 2023). En outre, son incorporation dans les matrices alimentaires (comme les huiles végétales ou les viandes) permet de retarder l'oxydation lipidique, prolongeant ainsi la durée de conservation des aliments (Kocaadam et Şanlier, 2023).

2.3.2. Méthodes d'évaluation de l'activité antioxydante

2.3.2.1. Méthode DPPH

La méthode DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) évalue le pouvoir antioxydant des composés en mesurant leur capacité à réduire le radical libre DPPH. L'extrait méthanolique de *Curcuma longa* L. a montré une forte activité antioxydante, avec plus de 90 % d'inhibition à 500 µg/ml, comparable à celle du Trolox, grâce à sa richesse en curcuminoïdes et composés phénoliques (Verma et al., 2023).

2.3.2.2. Méthode FRAP

La méthode FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) mesure la capacité de l'extrait à réduire le fer ferrique (Fe^{3+}) en fer ferreux (Fe^{2+}). L'extrait éthanolique de *Curcuma longa* L.

a montré une forte activité FRAP, corrélée à sa richesse en polyphénols. Cette méthode est particulièrement utile pour évaluer l'action réductrice globale, pertinente dans la stabilisation des aliments riches en lipides (Zhang et al., 2022).

2.4. Activité antimicrobienne de l'extrait de *Curcuma longa* L.

2.4.1. Les agents antimicrobiens

Un agent antimicrobien est une substance capable de nuire aux micro-organismes, soit en les détruisant (bactéricide), soit en inhibant leur croissance (bactériostatique) (Paillot, 2016; Belkhiri, 2009).

2.4.2. Mécanismes d'action antimicrobienne des composés de *Curcuma longa* L

Les composés bioactifs de *Curcuma longa* L. exercent leur activité antimicrobienne selon plusieurs mécanismes :

- ✚ **Perturbation de la membrane cellulaire bactérienne** : la curcumine et les huiles essentielles modifient la perméabilité membranaire, provoquant la fuite des ions et des macromolécules intracellulaires.
- ✚ **Inhibition de la synthèse des protéines et des acides nucléiques** : la curcumine interfère avec l'ADN gyrase et la polymérase bactérienne, bloquant la réplication.
- ✚ **Induction du stress oxydatif** : production de ROS (espèces réactives de l'oxygène) qui endommagent les structures cellulaires.

La curcumine altère la fluidité de la membrane bactérienne en intercalant ses chaînes dans la bicouche lipidique, ce qui conduit à la lyse cellulaire (Khan et al., 2022).

2.4.3. Facteurs influençant l'efficacité antimicrobienne

L'efficacité antimicrobienne de l'extrait de *Curcuma longa* L. dépend de plusieurs facteurs :

- ✚ **Type d'extrait et solvant utilisé** : Les extraits méthanoliques et éthanoliques présentent généralement une meilleure activité antimicrobienne que les extraits aqueux, en raison d'une meilleure extraction des composés actifs (Khosravi et al., 2023).
- ✚ **Concentration de l'extrait** : Une activité significative est observée à des concentrations supérieures à 250 µg/ml, bien que cela varie selon la souche cible.
- ✚ **Sensibilité de la souche microbienne** : Les bactéries Gram-positives sont généralement plus sensibles que les Gram-négatives, en raison de la structure plus simple de leur paroi cellulaire.

- ✚ **Conditions du milieu (pH, température, présence de lipides) :** Ces paramètres influencent la stabilité et la diffusion des composés antimicrobiens.
- ✚ **Synergie avec d'autres agents :** La combinaison de curcumine avec des huiles essentielles ou d'autres extraits végétaux améliore l'efficacité antimicrobienne (**Lopez et al., 2024**).

2.4.4. Méthodes d'évaluation de l'activité antimicrobienne

2.4.4.1. Méthodes de diffusion en milieu solide

La méthode consiste à déposer une quantité définie de l'extrait sur un disque ou dans un puits creusé dans une géloseensemencée avec la souche bactérienne. Après incubation, l'apparition, indique une activité antibactérienne. La taille de cette zone permet d'estimer l'efficacité du composé testé (**Balouiri et al., 2016**).

2.4.4.2. Méthode de dilution en milieu liquide

En milieu liquide, la CMI est déterminée par dilution d'antibiotiques à concentrations décroissantes, puis ajout d'une suspension bactérienne. Après incubation à 37 °C pendant 18 à 24 h, la CMI correspond à la plus faible concentration inhibant toute croissance visible (**Ait Bazizet Chemali, 2017**).

2.5. Détermination de la Concentration Minimale Inhibitrice (CMI)

La CMI est la plus faible concentration d'extrait inhibant visiblement la croissance bactérienne après incubation. Pour *Curcuma longa* L., les extraits méthanoliques ou éthanoliques présentent des CMI variant de 125 à 1000 µg/ml selon la souche, avec 250 µg/ml (**Ahmad et al. 2023**) contre *Staphylococcus aureus* et 500 µg/ml contre *Escherichia coli*, en raison de la présence de curcumine et de composés phénoliques (**Nguyen et al., 2021**).

2.6. Détermination de la Concentration Minimale Bactéricide (CMB)

La CMB est la plus faible concentration d'un extrait éliminant totalement les bactéries viables. Pour l'extrait éthanolique de *Curcuma longa* L., elle est comprise entre 500 et 1000 µg/ml contre *Salmonella typhimurum* et *Listeria monocytogenes*. Ces données confirment le potentiel des extraits de curcuma comme alternatives naturelles aux agents antibactériens synthétiques, notamment dans l'industrie agroalimentaire (**Singh et al., 2022**).

Partie 2. Partie expérimentale

Matériel et Méthodes

1. Objectif de l'étude

Ce travail a pour objectif principal est d'évaluer les propriétés biologiques de l'extrait de *Curcuma longa* L., en mettant particulièrement l'accent sur deux aspects fondamentaux : son activité antioxydante et son activité antibactérienne.

L'étude vise à déterminer la capacité de l'extrait à neutraliser les radicaux libres, responsables du stress oxydatif, ainsi qu'à inhiber la croissance de différentes souches bactériennes, en vue d'une éventuelle valorisation dans les domaines agroalimentaire et pharmaceutique. Ces investigations permettront d'explorer le potentiel de cet extrait en tant qu'agent naturel à usage conservateur.

Dans le cadre de cette étude, deux techniques d'extraction ont été mises en œuvre pour l'obtention des composés bioactifs du *Curcuma longa* L. : la méthode solide-liquide discontinue et la macération. L'objectif est de comparer l'efficacité de ces approches sur le plan du rendement d'extraction, en vue de sélectionner la méthode la plus adaptée pour maximiser la récupération des principes actifs à potentiel antioxydant et antibactérien.

❖ Présentation du lieu de travail

L'ensemble des travaux expérimentaux a été conduit au sein des laboratoires spécialisés de l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, notamment dans les laboratoires de biochimie alimentaire, de microbiologie et de physiologie animale appliquée.

2. Matériel biologique

2.1 . Matériel végétal

Les rhizomes de *Curcuma longa* L. utilisés dans cette étude ont été acquis auprès d'un commerçant local au niveau du marché couvert de la ville de Mostaganem, en Algérie, au cours du mois de février 2025.

La plante, reconnue pour ses propriétés alimentaires et médicinales, a été choisie pour sa disponibilité locale et sa qualité apparente (forme, couleur et absence de moisissure). Après l'achat, les rhizomes ont été transportés dans des conditions hygiéniques adéquates au laboratoire (**Figure 08**).



Figure08. Echantillon de rhizome de *Curcuma longa* L. (Photo originale).

2.2. Microorganismes utilisés

Dans le cadre de ce travail, six souches bactériennes de référence ont été sélectionnées pour évaluer l'activité antimicrobienne de l'extrait étudié. Ces souches, représentant à la fois des bactéries à Gram positif et à Gram négatif, ont été choisies en raison de leur importance microbiologique et de leur disponibilité au sein du laboratoire de microbiologie de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (SNV Mostaganem). Les différentes souches sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 03. Les souches bactériennes testées.

Souches	Gram
<i>Staphylococcus aureus</i>	Gram +
<i>Bacillus subtilis</i>	
<i>Bacillus cereus</i>	
<i>Escherichia coli</i>	Gram -
<i>Salmonella typhi</i>	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	

3. Préparation des échantillons

3.1. Préparation de la poudre

Les rhizomes de *Curcuma longa* L. ont d'abord été soigneusement nettoyés à l'eau distillée afin d'éliminer les impuretés et les résidus de surface, puis laissés à sécher à l'air libre à température ambiante, à l'abri de la lumière directe du soleil, pendant plusieurs jours jusqu'à évaporation complète de l'humidité.

Une fois parfaitement secs, les rhizomes ont été broyés à l'aide d'un broyeur électrique jusqu'à l'obtention d'une poudre fine, homogène et de couleur jaune orangé caractéristique.

La poudre obtenue a ensuite été tamisée pour uniformiser la granulométrie, puis stockée dans des boîtes hermétiques, propres et sèches, à l'abri de la lumière et de la chaleur, afin de préserver ses propriétés physico-chimiques et biologiques. Cette poudre sera utilisée pour les différentes étapes d'extraction et pour la réalisation des dosages biochimiques prévus dans le cadre de ce travail (**Figure 09**).



Figure09. La poudre de *Curcuma longa* L.(photo originale).

3.2. Préparation de l'extrait de *Curcuma longa* L.

3.2.1. Méthodes d'extraction

3.2.1.1. Extraction Solide-liquide

L'extraction des composés bioactifs de *Curcuma longa* L. a été réalisée selon la méthode de **Kosar et al. (2005)**, reposant sur une technique d'extraction solide-liquide discontinue. À cet effet, 10 g de poudre fine de rhizomes de *Curcuma longa* L ont été placés dans un erlenmeyer, puis 100 ml de méthanol (pureté 99,7 %) ont été ajoutés.

Le mélange a ensuite été placé dans un bain-marie thermostatique à 60 °C sous agitation constante pendant 20 minutes, afin de favoriser l'extraction des composés solubles.

À la fin de cette période, le mélange a été filtré à l'aide d'un papier filtre de type Wattman n°1 pour séparer la phase liquide de la matière végétale résiduelle. Cette opération a été répétée deux fois supplémentaires avec le même résidu végétal, afin d'assurer une extraction exhaustive des composés méthanoliques. Les trois filtrats obtenus ont été combinés, puis soumis à une évaporation sous pression réduite à l'aide d'un évaporateur rotatif (BUCHI R-210) à 40 °C, dans le but d'évaporer le méthanol.

Le résidu concentré obtenu a ensuite été placé dans une étuve réglée à 30 °C pendant deux heures, afin d'éliminer toute trace résiduelle de solvant (**Figure 10**).

Enfin, l'extrait sec a été recueilli sous forme de poudre, transféré dans un flacon en verre hermétiquement fermé et conservé au réfrigérateur (à environ 4 °C) jusqu'à son utilisation pour les analyses ultérieures.

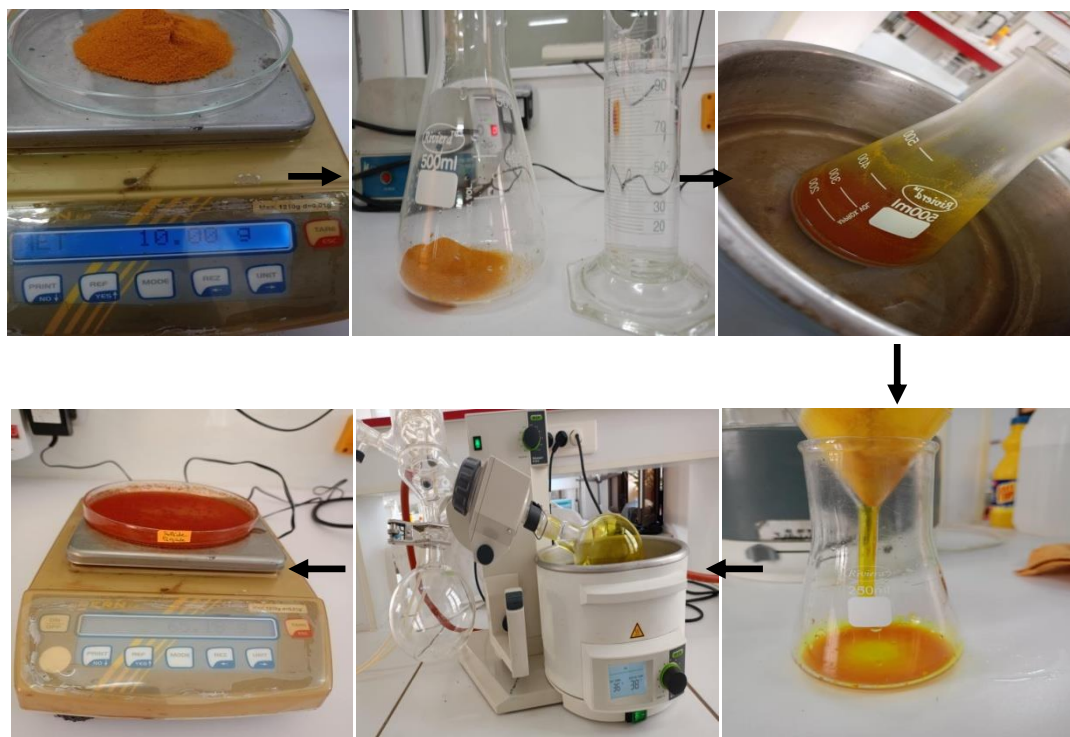


Figure10. Les étapes d'extraction solide-liquide discontinue (photo originale).

3.2.1.2. Extraction par macération

Conformément à la méthode décrite par **Talbi et al. (2015)**, l'extraction des composés bioactifs a été réalisée par macération. Pour cela, 10 g de poudre sèche de *Curcuma longa* L. ont été introduits dans un erlenmeyer contenant 100 ml de méthanol à 99,7 %.

Le mélange a été soumis à une agitation mécanique continue à température ambiante, et ce pendant une durée de 2 à 3 jours, afin d'assurer une diffusion optimale des constituants solubles dans le solvant.

À l'issue de la période de macération, le mélange a été filtré à l'aide d'un papier filtre de type Wattman n°1, permettant de séparer le macérât de la matière végétale résiduelle. Le filtrat clair ainsi obtenu a ensuite été concentré par évaporation sous pression réduite à l'aide d'un évaporateur rotatif (BUCHI R-210) dans le but d'éliminer le solvant organique (**Figure 11**).

Le résidu d'extrait concentré a finalement été transféré dans une boîte de pétri en verre, fermée. Il a été conservé à l'abri de la lumière, à température ambiante ou au réfrigérateur selon les besoins, jusqu'à son utilisation pour les analyses biochimiques et microbiologiques ultérieures.



Figure11. Les étapes de l'extraction par macération(photo originale).

3.2.2. Détermination du rendement d'extraction

Les extraits méthanoliques récupérés après évaporation à sec et sous pression réduite ont été pesés pour déterminer le poids sec résultant.

Le rendement a été déterminé par rapport à 10g de matériel végétal et les résultats sont exprimés en pourcentage (**Abudunia, 2018**).

Le rendement à l'extraction a été estimé suivant l'équation suivante :

$$\text{Rendement \%} = (\text{Me}/\text{Mv}) \times 100$$

Me : Masse de l'extrait sec après évaporation du solvant en gramme.

Mv : Masse de la poudre mise à l'extraction en gramme.

4. Techniques analytiques

4.1. Criblage photochimique des composés bioactifs

Pour mettre en évidence la présence ou l'absence des métabolites secondaires, les tests phytochimiques spécifiques basés sur des réactions de coloration en utilisant des réactifs spécifiques à chaque famille de composés.

- **Recherche des flavonoïdes**

Selon la méthode décrite par **Trease et Evans (1987)**, dans 5 ml d'extrait, quelques gouttes d'acide chlorhydrique (HCl) concentré sont ajoutées, suivies de l'introduction de fins copeaux de magnésium métallique. L'apparition d'une coloration rouge ou jaune indique la présence de flavonoïdes.

- **Recherche des tanins**

Pour la détection des tanins, 1 ml d'extrait alcoolique a été mélangé à 2 ml d'eau distillée, suivi de l'ajout de 2 à 3 gouttes d'une solution de chlorure ferrique (FeCl₃) à 1 %.

L'apparition d'une coloration verte ou bleu-vert constitue une indication de la présence de tanins. Une distinction plus précise peut-être faite selon la nuance de la coloration

obtenue : une teinte bleu-noir suggère la présence de tanins de type gallique, tandis qu'une couleur brun-verdâtre indique la présence de tanins catéchiq(u)es(Douhou et al., 2003).

- **Recherche des terpénoïdes**

Concernant la mise en évidence des terpénoïdes, 2,5 ml de l'extrait méthanolique sont introduits dans un tube à essai, suivis de l'ajout de 0,4 ml de chloroforme.

Ensuite, 0,6 ml d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4) sont versés délicatement le long de la paroi du tube afin de former une seconde couche. L'apparition d'une coloration marron-rouge à l'interface des deux phases constitue une indication positive de la présence de composés terpénoïdes(Trease et Evans, 1987).

- **Recherche des coumarines**

Pour la détection des coumarines, 2 ml de l'extrait méthanolique ont été mélangés à 3 ml d'une solution de soude (NaOH) à 10 %. L'apparition d'une coloration jaune indique la présence de composés coumariniques, conformément à la méthode décrite par (Sawant et Godghate,2013).

- **Recherche des saponines**

Pour la mise en évidence des saponines, 2 g de la poudre de la plante ont été introduits dans un bécher contenant 80 ml d'eau distillée. Le mélange a été soumis à une agitation vigoureuse pendant quelques minutes, puis filtré.

Le filtrat obtenu a ensuite été fortement agité manuellement ou mécaniquement. L'apparition d'une mousse persistante, stable pendant plusieurs minutes, est considérée comme une indication positive de la présence de saponines, selon la méthode décrite par (Kalla,2012).

- **Recherche des phénols**

L'extrait testé est traité gratuitement avec 4 gouttes de solution alcoolique de $FeCl_3$. Formation d'une couleur noire bleutée (Michael et al., 2017).

- **Recherche des sucres réducteurs**

Pour la détection des sucres réducteurs, 2 ml d'extrait méthanolique ont été soumis à une hydrolyse acide à l'aide d'acide chlorhydrique (HCl) dilué. Après hydrolyse, la solution a été neutralisée à l'aide d'une base alcaline, puis chauffée en présence des réactifs de Fehling

A et Fehling B. La formation d'un précipité rouge brique indique la présence de sucres réducteurs(Sawant et Godghate, 2013).

4.2. Analyse quantitative

4.2.1. Dosage des polyphénols totaux

La teneur en composés polyphénoliques de l'extrait a été déterminée par spectrophotométrie selon la méthode de Folin-Ciocalteu, décrite par **Wong et al. (2006)**. Cette méthode repose sur les propriétés colorimétriques du réactif de Folin-Ciocalteu, qui subit une modification de couleur en présence de groupements hydroxyles ($-OH$) caractéristiques des composés phénoliques.

Le réactif de Folin-Ciocalteu est constitué d'un mélange d'acide phosphomolybdique ($H_3PMO_{12}O_{40}$) et d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$). Lors de la réaction, ces composés sont réduits par les polyphénols, ce qui entraîne la formation d'oxydes de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (MO_8O_{23}), responsables d'une coloration bleu foncé caractéristique. L'intensité de cette coloration, mesurée par spectrophotométrie, est proportionnelle à la concentration en polyphénols présents dans l'échantillon.

Pour établir la courbe d'étalonnage, une solution mère d'acide gallique a été préparée dans du méthanol. À partir de cette solution, une série de dilutions a été réalisée (1/2, 1/4, 1/5, 1/7, 1/20, 1/40) afin d'obtenir des concentrations finales de 500, 250, 200, 150, 50 et 25 mg/l. L'absorbance de chaque solution étalon a été mesurée à 750 nm contre un blanc de méthanol, permettant ainsi de tracer la courbe d'étalonnage.

Pour l'échantillon à analyser :

- Une quantité d'extrait a été mélangée à 5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu préalablement dilué 10 fois avec de l'eau distillée.
- Le mélange a été homogénéisé puis incubé pendant 10 minutes à température ambiante.
- Ensuite, 4 ml de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à 7,5 % (préparé dans le méthanol) ont été ajoutés à la solution.
- Le mélange final a été vigoureusement agité, puis incubé dans l'obscurité pendant 2 heures à température ambiante.
- L'absorbance a ensuite été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 765 nm.

La teneur en polyphénols totaux est calculée à partir de la courbe d'étalonnage de l'acide gallique et les résultats sont exprimés en milligramme équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait de *Curcuma longa L.*

$$\text{TPT} = \text{C.V/M}$$

Avec :

TPT : Teneur en polyphénols totaux

- ✓ C : Concentration d'acide gallique $\mu\text{g/ml}$.
- ✓ V : volume d'extrait (ml).
- ✓ M : poids de l'extrait.

Les tests ont été répétés trois fois pour garantir la fiabilité des résultats.

4.2.2. Dosage des flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes totaux dans l'extrait a été déterminée à l'aide de la méthode colorimétrique au trichlorure d'aluminium (AlCl_3), selon le protocole décrit par (**Djeridane et al., 2006**). Cette méthode repose sur la capacité du trichlorure d'aluminium à former un complexe stable de couleur jaune avec les groupements hydroxyles ($-\text{OH}$) des flavonoïdes. Ce complexe présente une absorption maximale dans le domaine visible, à une longueur d'onde de 430 nm (**Boudiaf, 2006**).

Pour l'établissement de la courbe d'étalonnage, une solution mère de quercétine a été préparée dans du méthanol. À partir de cette solution, une série de dilutions a été réalisée (1/20, 1/40, 1/50, 1/100), permettant d'obtenir des solutions filles aux concentrations différentes.

L'absorbance de chaque solution étalon a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à 430 nm contre un blanc de méthanol. Ces mesures ont permis de tracer la courbe d'étalonnage nécessaire à la quantification des flavonoïdes dans l'échantillon.

Pour l'échantillon à analyser, Le mélange a été vigoureusement agité et l'absorbance lue après 10min d'incubation à 430nm.

La teneur en flavonoïdes totaux est calculée à partir de la courbe d'étalonnage de la quercétine, les résultats sont exprimés en milligramme équivalent de quercétine par gramme d'extrait de *Curcuma longa L.*

$$\text{TFT} = \text{C.V/M}$$

Avec :

TFT : Teneur en flavonoïdes totaux

- ✓ C : Concentration en Quercétine $\mu\text{g/ml}$

- ✓ V : volume d'extrait (ml)
- ✓ M : poids d'extrait (mg)

Chaque test a été réalisé en triplicata afin de garantir la fiabilité des résultats.

4.2.3. Dosage des tanins

Les tanins sont déterminés par la méthode de la vanilline en milieu acide. Le principe de ce dosage est basé sur la fixation du groupement aldéhydique de vanilline sur le carbone 6 du cycle A de la catéchique pour former un complexe chromophore rouge qui absorbe la lumière à 500nm (**Mahmoudie et al., 2013 ; Schofield et al., 2001**).

Le dosage des tanins condensés dans les extraits de *Curcuma longa* Lest effectué selon la méthode de (**Schofield et al., 2001**).

Pour 400µl de l'échantillon (extrait de méthanol à 99,7%), on ajoute 3ml d'une solution de vanilline (4% dans le méthanol (m/v)), et 5ml d'acide hydrochlorique concentré. Le mélange est incubé durant 15min et l'absorbance est lue à 500nm contre un blanc.

Les concentrations des tanins sont déduites à partir des gammes d'étalonnages établies avec la catéchine (0-100µg/ml) et sont exprimées en microgramme d'équivalent catéchine par milligramme d'extrait (µg ECT/mg d'extrait).

Les tests ont été répétés trois fois pour garantir la fiabilité des résultats.

4.2.4. Détermination de l'activité antioxydante

4.2.4.1. Activité antiradicalaire DPPH

Le radical libre 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle (DPPH) est une molécule stable possédant un électron célibataire, ce qui lui confère une couleur violette intense caractéristique, avec une absorption maximale à une longueur d'onde de 517 nm (**Bui Thanh et al., 2016**). Lorsqu'un antioxydant entre en contact avec le DPPH, il cède un électron ou un atome d'hydrogène, réduisant ainsi le radical en une forme non radicalaire de couleur jaune (**Lakshmi et al., 2014**). Ce changement de couleur se traduit par une diminution de l'absorbance, mesurable par spectrophotométrie.

La méthode est généralement standardisée à l'aide d'un antioxydant de référence, tel que l'acide ascorbique (vitamine C), utilisé comme contrôle positif (**Brand-Williams et al., 1995**).

Pour la préparation de la solution mère de DPPH, 25 mg de DPPH ont été dissous dans 100 ml de méthanol pur à 99,7 %. Cette solution a été conservée à l'abri de la lumière pour éviter toute dégradation. Une gamme d'étalonnage a ensuite été préparée à partir de cette

solution mère, et l'absorbance a été mesurée à 505 nm contre un blanc de méthanol, selon la méthode décrite par **(Dieng et al., 2015)**.

L'évaluation de l'activité antioxydante des extraits a été réalisée selon la méthode de **(Bougandoura et Bendimerad., 2013)**. Pour cela, 50 µl de chaque extrait méthanolique à différentes concentrations (10, 40, 80, 100 µg/ml) ont été ajoutés à 1,95 ml de la solution méthanolique de DPPH préalablement préparée. En parallèle, un contrôle négatif a été réalisé en remplaçant l'extrait par 50 µl de méthanol, mélangé à 1,95 ml de solution de DPPH.

Les mélanges ont été incubés à l'obscurité pendant 30 minutes à température ambiante, puis l'absorbance a été mesurée à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Un blanc a été préparé pour chaque concentration testée afin de garantir la précision des mesures.

L'acide ascorbique a été utilisé comme antioxydant de référence (contrôle positif) et a été soumis aux mêmes conditions expérimentales que les extraits étudiés. Une courbe d'étalonnage a été réalisée à partir de solutions standards d'acide ascorbique aux concentrations de 10, 40, 80 et 100 µg/ml, en suivant les mêmes étapes du protocole de dosage.

Les résultats obtenus pour les extraits sont alors exprimés en milligrammes d'équivalents acide ascorbique par gramme de matière végétale fraîche (mg EAA/g MVF).

Chaque test a été répété trois fois pour assurer la reproductibilité des résultats.

Expression des résultats

La capacité de piégeage du radical libre est calculée à travers le pourcentage d'inhibition :

$$\text{Le pourcentage d'inhibition} = ((\text{Abs contrôle} - \text{Abs test}) / \text{Abs contrôle}) \times 100$$

✓ **Abs contrôle** : Absorbance de la solution DPPH.

✓ **Abs test** : Absorbance de l'extrait.

Calcul des concentrations IC50

Pour chaque extrait, la valeur de l'IC₅₀ a été déterminée. Elle correspond à la concentration de l'échantillon nécessaire pour inhiber 50 % des radicaux libres DPPH. Cette valeur a été obtenue à partir de l'équation de la droite de régression issue de la courbe représentant les pourcentages d'inhibition en fonction des différentes concentrations testées, tant pour l'extrait que pour le standard de référence utilisé dans l'étude **(Bouras et Houchi, 2013)**.

4.3. Détermination de l'activité antibactérienne de l'extrait solide liquide

Pour évaluer l'activité antibactérienne de l'extrait de *Curcuma longa* L., nous avons utilisé la méthode de diffusion sur milieu gélosé, également appelée méthode des disques. Cette technique permet de déterminer l'effet inhibiteur d'un extrait en mesurant le diamètre de la zone d'inhibition formée autour de chaque disque (Bolou et al., 2011).

Le principe de cette méthode repose sur la diffusion de l'extrait à partir d'un disque placé sur la surface d'un milieu de culture solide préalablementensemencé avec la souche bactérienne à tester. L'extrait diffuse radialement dans la gélose, créant un gradient de concentration. Si l'extrait possède une activité antibactérienne, il inhibera la croissance bactérienne dans la zone environnante, formant ainsi un halo clair appelé zone d'inhibition. Le diamètre de cette zone reflète l'efficacité de l'extrait contre la souche testée (Rachana et Venugopalan., 2014).

Préparation des dilutions de l'extrait

L'extrait de *Curcuma longa* L. a été dissous dans le diméthyle sulfoxyde (DMSO) afin de préparer deux concentrations : 200mg/ml et 400mg/ml.

Préparation de préculture bactérienne

Les souches bactériennes ont étéensemencées à partir d'un bouillon nutritif (BN) sur des boîtes de pétri contenant de la gélose nutritive (GN), puis incubées à 37 °C pendant 24 heures afin d'obtenir des colonies jeunes et actives.

Préparation de la suspension bactérienne (inoculum)

Les différentes souches bactériennes ont été repiquées par la méthode des stries sur des boîtes de pétri contenant de la gélose nutritive, puis incubées à 37 °C pendant 24 heures. À partir de ces cultures pures, une ou plusieurs colonies bien isolées ont été prélevées et transférées dans une solution de chlorure de sodium à 0,9 % (eau physiologique) afin d'obtenir une suspension bactérienne présentant une turbidité équivalente à 0,5 sur l'échelle de McFarland.

Cette turbidité correspond à une densité optique (DO) comprise entre 0,08 et 0,1 mesurée à une longueur d'onde de 600 nm (Benyagoub et al., 2016).

4.3.1. Méthode de diffusion des disques

Selon la méthode décrite par Athamena et al., (2010), des disques stériles ont été imprégnés de 10 µl de différentes concentrations d'extrait, préalablement dissous dans du diméthylsulfoxyde (DMSO). Ces disques ont ensuite été déposés de manière aseptique à la

surface des milieux gélosés ensemencés avec les souches bactériennes. Les boîtes de pétri ont été incubées à 37 °C pendant 24 heures dans une étuve(**Figure12**).

Expression des résultats

Les résultats ont été évalués après 24 heures d'incubation, par la mesure du diamètre des zones d'inhibition, visibles sous forme d'auréoles claires autour de chaque(**Saidi, 2019**).

L'interprétation de ces diamètres se base sur les critères décrits par (**Pouce et al., 2003**), selon les trois niveaux de sensibilité suivants :

- Non sensible (-) ou résistante : diamètre < 7 mm
- Sensible (+) : diamètre entre 8 à 14 mm
- Très sensible (++) : diamètre entre 15 à 20 mm



Figure12. Les étapes de la méthode de diffusion sur disques (photo originale).

4.3.2. Détermination de la Concentration Minimale Inhibitrice (CMI)

Cette technique consiste à inoculer, par un inoculum standardisé, une gamme de concentration décroissante en extrait. Après incubation, l'observation de la gamme permet d'accéder à la Concentration Minimale Inhibitrice (CMI), qui correspond à la plus faible concentration en extrait capable d'inhiber la croissance bactérienne comme recommandé par le Comité National des Normes des Laboratoires Cliniques(**1997**).

Des solutions mères des extraits méthanolique ont été préparées à une concentration de 25 mg/ml, puis diluées dans du bouillon Mueller-Hinton pour obtenir une série de concentrations décroissantes : 50 mg/ml, 12,5 mg/ml, 6,25 mg/ml, 3,125 mg/ml, 1,5625 mg/ml, 0,781 mg/ml, 0,390 mg/ml et 0,195 mg/ml. Pour chaque dilution, 100 µl de la solution correspondante ont été transférés dans les puits d'une microplaque stérile à 96 puits, conformément à la méthode décrite par (**Klančnik et al., 2010**).

Chaque puits a ensuite été inoculé avec 10^6 cellules/ml de la suspension bactérienne ciblée, incluant *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Salmonella typhi*. Les puits de la dernière rangée de la microplaque ont été remplis

uniquement de bouillon Mueller-Hinton afin de servir de témoin négatif (absence de croissance), tandis que ceux de la première rangée ont reçu du bouillon contenant les mêmes concentrations de bactéries, mais sans extrait, servant ainsi de témoin positif (croissance maximale).

Les microplaques ont été incubées à 37 °C pendant 18 heures. À la fin de l'incubation, la croissance bactérienne a été révélée par l'ajout de 20 µl de chlorure de Triphenyltetrazolium (TTC), un indicateur coloré de viabilité bactérienne. La Concentration Minimale Inhibitrice (CMI) a été déterminée comme la plus faible concentration d'extrait ne présentant aucune coloration, indiquant l'absence de croissance bactérienne.

4.3.3. Détermination de la Concentration Minimale Bactéricide (CMB)

La Concentration Minimale Bactéricide (CMB) est définie comme la plus faible concentration d'une substance antimicrobienne capable de tuer au moins 99,99 % des micro-organismes, ne laissant ainsi pas plus de 0,01 % de germes viables.

Pour la déterminer, une anse calibrée de 2 µl est utilisée pour prélever le contenu des tubes ne présentant aucun trouble visible (absence de croissance bactérienne), en commençant par celui correspondant à la Concentration Minimale Inhibitrice (CMI).

Chaque prélèvement est ensuiteensemencé par stries parallèles de 5 cm de long sur la surface d'une gélose Mueller-Hinton stérile. Après incubation à 37 °C pendant 24 heures, les colonies développées sur les stries sont dénombrées et comparées à celles obtenues dans la boîte témoin utilisée pour la numération de l'inoculum initial. Le premier tube, dont le nombre de colonies présentes sur la strie est inférieur ou égal à celui de la dilution témoin, est considéré comme représentant la CMB (Toty *et al.*, 2013).

Résultats et discussion

1. Rendement des extraits bruts

L'extraction des composés phénoliques de *Curcuma longa* L. a été réalisée par deux techniques : macération à froid et l'extraction solide-liquide discontinue en utilisant le méthanol à 99,7 %. Le rendement de l'extrait méthanolique a été calculé par rapport à la masse initiale de poudre sèche (10 g). Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 04.

Tableau 04. Rendement des deux extraits méthanoliques.

Extraits	Rendement %
Solide-liquide	11,80 %
Macération	5,10 %

Les résultats obtenus montrent que l'extraction de *Curcuma longa* L. par macération a donné un rendement massique de 5,10 %, tandis que l'extraction par la méthode solide-liquide a permis d'atteindre un rendement de 11,80 %. Le premier rendement se révèle inférieur aux valeurs généralement rapportées dans la littérature, tandis que le second se situe dans l'intervalle couramment observé, compris entre 8 % et 15 %, selon les conditions opératoires utilisées. À titre d'illustration, **Mehmood et al. (2020)** ont obtenu un rendement de 12,3 % après 72 heures de macération au méthanol, tandis que **Rachmawati et al. (2019)** ont rapporté un rendement de 13,7 % dans des conditions d'extraction similaires, notamment en termes de solvant et de ratio matière/solvant.

L'efficacité de l'extraction solide-liquide peut être optimisée en modulant certains paramètres tels que la concentration du solvant, le rapport solide/liquide et la durée d'extraction (**Heryanto et al., 2024**). Par ailleurs, d'autres facteurs influencent également le rendement, notamment la nature du solvant, la température d'extraction, la méthode utilisée, ainsi que les caractéristiques génétiques de la plante. À cela s'ajoutent les conditions agronomiques, la période de récolte, les modalités et la durée de stockage, ainsi que les conditions opératoires spécifiques appliquées lors du procédé d'extraction, peuvent également influencer de manière significative le rendement obtenu (**Felhi et al., 2017 ; Lee et al., 2003**).

2. Criblage phytochimique des composés bioactifs (Analyse qualitative)

L'analyse phytochimique préliminaire de l'extrait méthanolique de *Curcuma longa* L. a permis de mettre en évidence la présence de plusieurs groupes de métabolites secondaires. Les tests qualitatifs effectués ont révélé la présence de composés phénoliques, de flavonoïdes, de tanins, de saponines, de terpénoïdes, de coumarines ainsi que de sucres réducteurs. Les résultats relatifs à chacun de ces groupes chimiques détectés dans l'extrait sont présentés dans les **figures 13 et 14**, ainsi que dans le **tableau 05**.


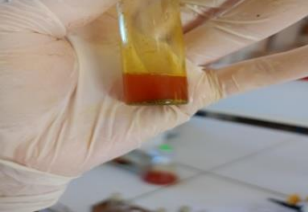

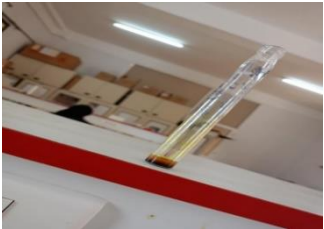
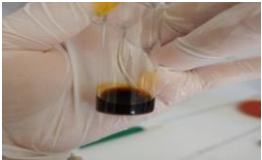

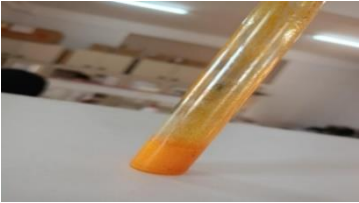
 <p>Phénol</p>	 <p>Flavonoïdes</p>
 <p>Tanins</p>	 <p>Terpénoïdes</p>
 <p>Sucres réducteurs</p>	 <p>Coumarines</p>
 <p>Saponine</p>	

Figure 13. Les résultats des tests phytochimiques pour l'extrait *Curcuma longa* Lde l'extraction Solide-Liquide discontinue (photo originale).


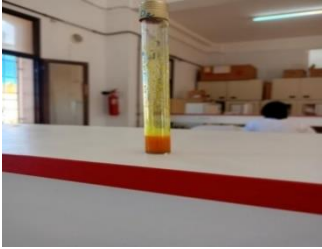

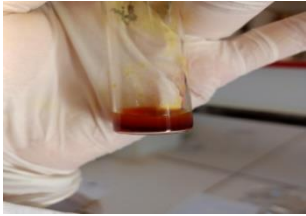


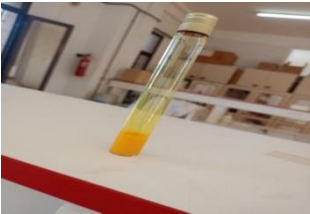
 <p style="text-align: center;">Phénol</p>	 <p style="text-align: center;">Flavonoïdes</p>
 <p style="text-align: center;">Tanins</p>	 <p style="text-align: center;">Terpénoïdes</p>
 <p style="text-align: center;">Sucres réducteurs</p>	 <p style="text-align: center;">Coumarines</p>
 <p style="text-align: center;">Saponine</p>	

Figure 14. Les résultats des tests phytochimiques pour l'extrait *Curcuma longa L* de l'extraction par macération(photo originale).

Méthodes Composés	Solide-liquide	Macération
Saponine	-	-
Tanins	+	+
Phénol	+	+
Terpénoïdes	+	+
Sucre réducteurs	+	+
Flavonoïdes	+	+
Coumarines	-	-

Tableau 05.Résultats des analyses phytochimiques des deux extraits.

Présence : +, Absence : -

Les résultats de l'analyse phytochimique des deux extraits méthanoliques de *Curcuma longa* L. ont révélé la présence de l'ensemble des principaux métabolites secondaires, notamment les composés phénoliques, flavonoïdes, tanins, terpénoïdes et sucres réducteurs. En revanche, les tests n'ont pas permis de détecter la présence de coumarines ni de saponines.

Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés dans plusieurs travaux antérieurs. En effet, **Oghenejobo et al., (2017)** ; **Poonam et al., (2017)** et **Dhulipalla et al., (2016)** ont également mis en évidence la présence de tanins, de composés phénoliques, de flavonoïdes et de terpénoïdes dans les extraits de *Curcuma longa* L.

Par ailleurs, les résultats de nos tests de détection des coumarines confirment l'absence de ces composés dans les rhizomes de curcuma, comme le rapportent également **Sawant et Godghate(2013)**.

Concernant les saponines, bien que *Curcuma longa* L. en contienne, leur concentration semble très faible. Nos résultats concordent avec ceux obtenus par **Chairman et al. (2015)**, **Nijalana et al. (2013)**, **Saxena et al. (2012)**, ainsi que **Swadhini et al. (2011)**, qui ont tous observé une faible teneur en saponosides dans les extraits de curcuma. L'absence de saponines dans notre extrait pourrait s'expliquer par leur faible solubilité dans le méthanol pur. En effet, leur extraction dépend fortement de la polarité du solvant utilisé, comme le soulignent **Jahurul et al. (2021)**.

3. Analyse quantitative

La quantification des polyphénols totaux, des flavonoïdes et des tanins dans les deux extraits méthanoliques de *Curcuma longa* L. a été réalisée à l'aide de méthodes colorimétriques spécifiques (**Tableau 06**).

Tableau 06. Teneurs en composés phénoliques, flavonoïdes et tanins des deux extraits méthanoliques de *Curcuma longa* L.

Composés	Extraits	
	Solide-liquide	Macération
Polyphénols (µg EAG/mg ES)	281.91 ±0.58	178.58 ±0.58
Flavonoïdes (µg EQE/mg ES)	108.44 ±0.00	82.16 ±0.26
Tanins (µg ECAT/mg ES)	56.8 ±3.77	48.8 ±3.77

3.1. Teneur en polyphénols totaux

La teneur en composés phénoliques de chaque extrait a été déterminée à partir de la courbe d'étalonnage d'acide gallique (**Annexe 03**), selon l'équation de régression de type : $y=0,001x-0,011$.

Les résultats ont été exprimés en microgrammes équivalents en acide gallique par gramme d'extrait sec (mg EAG/g ES).

Comme l'indiquent les résultats présentés dans le **tableau 06**, la teneur en polyphénols de l'extrait obtenu par extraction solide-liquide s'élève à 281,91 µg EAG/mg, contre 178,58 µg EAG/mg pour l'extrait issu de la macération. Ces données révèlent une teneur nettement plus élevée en composés phénoliques dans l'extrait obtenu par la méthode solide-liquide, comparativement à celui obtenu par macération.

La richesse des extraits méthanoliques en composés phénoliques peut être attribuée à l'efficacité du méthanol en tant que solvant d'extraction des principes actifs, comme l'ont souligné **Araújo et Leon (2010)**.

D'après **Choi H-Y (2009)**, la teneur en polyphénols totaux dans un extrait méthanolique a été estimée à $288,7 \pm 2,3$ µg EAG/mg. Par ailleurs, **Ahu et Saxena (2013)** ont rapporté une teneur de $260 \pm 0,25$ mg EAG/g dans un extrait obtenu par macération au méthanol, ce qui confirme la capacité de ce solvant à extraire efficacement les composés phénoliques.

Les variations observées dans la teneur en polyphénols peuvent être attribuées à une combinaison de facteurs génétiques, environnementaux et techniques, qui influencent de

manière significative la synthèse, la qualité et la quantité de ces composés bioactifs, selon les espèces végétales et leur stade de développement (Nurzynska-Wierdak, 2023).

D'après Rapinski et al. (2014), des paramètres environnementaux tels que la température, le rayonnement solaire, la sécheresse et la photopériode exercent une influence notable sur la biosynthèse et l'accumulation des composés phénoliques dans les plantes.

3.2. Teneur en flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes de chaque extrait a été calculé à partir de la courbe d'étalonnage de Quercétine (Annexe 03), selon l'équation de régression : $y = 0,021x + 0,021$.

Les résultats ont été exprimés en microgrammes équivalents en quercétine par milligramme d'extrait ($\mu\text{g EQ/mg}$). Les valeurs obtenues pour les deux extraits méthanoliques sont illustrées dans le tableau 06.

D'après les résultats obtenus de la teneur en flavonoïdes est significativement plus élevée dans l'extrait obtenu par extraction solide-liquide ($108,44 \pm 0,00 \mu\text{g EQ/mg}$) comparativement à celui obtenu par macération ($82,16 \pm 0,26 \mu\text{g EQ/mg}$).

Selon Sahu et Saxena (2013), la teneur en flavonoïdes dans un extrait méthanolique obtenu par macération a été estimée à $79,36 \pm 0,01 \text{ mg EQ/g}$, une valeur nettement supérieure à celles obtenues dans le cadre de la présente étude. De même, Trinidad et al. (2012) ont rapporté une teneur encore plus élevée, atteignant 125 mg EQ/g . Toutefois, une comparaison directe avec les données de la littérature reste difficilement représentative, dans la mesure où la répartition qualitative et quantitative des flavonoïdes peut être influencée par de nombreux facteurs, notamment d'ordre génétique, environnemental ou technique (Saidi, 2019).

3.3. Teneur en Tanins

La teneur en tanins des deux extraits a été déterminée à partir de la courbe d'étalonnage de Catéchine (Annexe 03), selon l'équation de régression : $y = 0,001x + 0,000$.

Les résultats ont été exprimés en microgrammes équivalents en catéchine par milligramme d'extrait ($\mu\text{g EC/mg}$). Les valeurs obtenues sont présentées dans le tableau 06.

Les résultats montrent que la teneur en tanins est plus élevée dans l'extrait obtenu par extraction solide-liquide ($56,8 \pm 3,77 \mu\text{g EC/mg}$) que dans celui obtenu par macération ($48,8 \pm 3,77 \mu\text{g EC/mg}$). Toutefois, les concentrations obtenues dans cette étude restent inférieures à celles rapportées par Amrane et Dib (2021), qui ont observé une teneur en tanins de $300,95 \mu\text{g EC/mg}$ d'extrait sec dans leurs travaux sur *Curcuma longa*, indiquant des valeurs nettement plus élevées.

La disparité observée dans les teneurs en tanins par rapport aux données de la littérature peut être attribuée à des différences dans les protocoles d'extraction, les conditions environnementales de culture, le type de solvant utilisé, ou encore la méthode de dosage employée.

4. Activité antioxydante

4.1. Activité antiradicalaire DPPH

Pour évaluer l'activité antioxydante des extraits obtenus, la méthode du test au DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) a été retenue. Ce test repose sur la réduction du radical DPPH par les composés antioxydants, entraînant un changement de couleur mesurable par spectrophotométrie à une longueur d'onde spécifique. Cette variation d'absorbance permet ainsi de quantifier le pouvoir antioxydant des extraits analysés.

Tableau 07. Activité antioxydante de l'extrait de *Curcuma longa* L par extraction solide-liquide.

Antioxydants	Concentrations µg/ml
IC 50 de l'acide ascorbique	21.10
IC50 de l'extrait méthanolique DPPH	27.00

Les résultats obtenus ont révélé un pouvoir antioxydant significatif, avec une concentration inhibitrice médiane (IC₅₀) estimée à 27,00 µg/ml (**Tableau 07**), indiquant un potentiel antioxydant intéressant de l'extrait de *Curcuma longa*. Ces données sont cohérentes avec celles rapportées dans la littérature. En effet, **Singh et al. (2010)** ont observé une IC₅₀ de 31,5 µg/ml pour l'extrait éthanolique de *Curcuma longa*, tandis que **Sabir et al. (2020)** ont rapporté une IC₅₀ de 27,20 µg/ml pour un extrait similaire, ce qui reflète une activité antioxydante comparable.

En revanche, certaines études ont mis en évidence une activité plus marquée. Par exemple, **Jayaprakasha et al. (2006)** ont obtenu une IC₅₀ de 20,8 µg/ml, tandis que **Amalraj et al. (2017)** ont rapporté des valeurs variant de 16 à 25 µg/ml pour différents extraits curcuminoïdes, en fonction des solvants et des méthodes d'extraction utilisés.

Ces différences peuvent être attribuées à plusieurs facteurs, notamment la nature du solvant, les conditions d'extraction, l'origine géographique de la plante ainsi que la teneur en composés bioactifs (**Sai Lakshmi Manasa et al., 2023**).

Les résultats obtenus indiquent que l'extrait méthanolique de *Curcuma longa* L(Figure 15, 16 et 17)présente une activité antioxydante élevée, avec un pourcentage d'inhibition de 66,80 %.

Selon **Gonzalez et al. (2019)**, un pourcentage d'inhibition d'environ 40 % a été obtenu pour l'extrait de *Curcuma longa*, une valeur inférieure à celle observée dans la présente étude (64,6 %). De même, **Tanzeelz et al. (2015)** ont rapporté une activité de piégeage des radicaux libres avoisinant les 60 %. Par ailleurs, **Maisura et al. (2011)** ont observé un pourcentage d'inhibition de 62,2 % pour une concentration de 0,2 mg/ml d'extrait méthanolique de *Curcuma longa* L.

Les différences observées entre les résultats peuvent s'expliquer par la variation des rendements d'extraction ainsi que par les concentrations des solvants utilisés (**Kim et al., 2019**).

Elles peuvent également être liées à la sensibilité des réactifs employés dans chaque méthode, indépendamment de la technique d'extraction ou de l'approche choisie pour l'évaluation de l'activité antioxydante des extraits (**Oudraogo et al., 2015**).

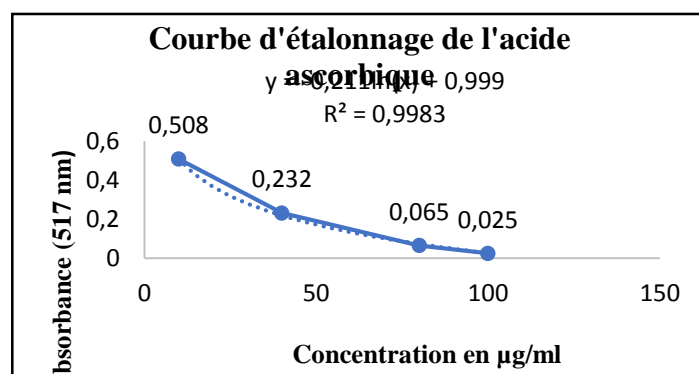


Figure 15. La courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique.

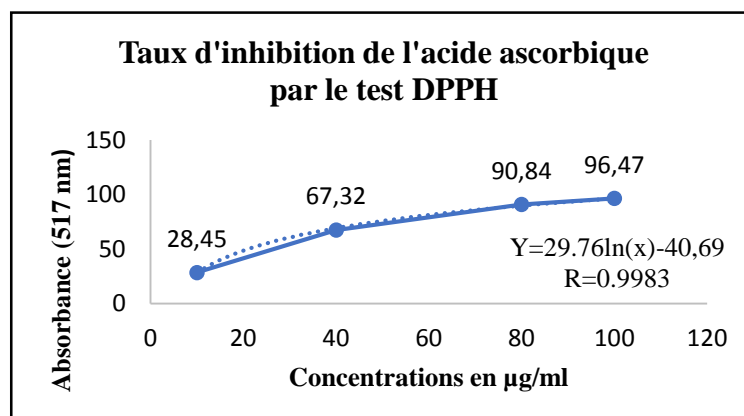


Figure 16. La courbe d'étalonnage de taux d'inhibition de l'acide ascorbique.

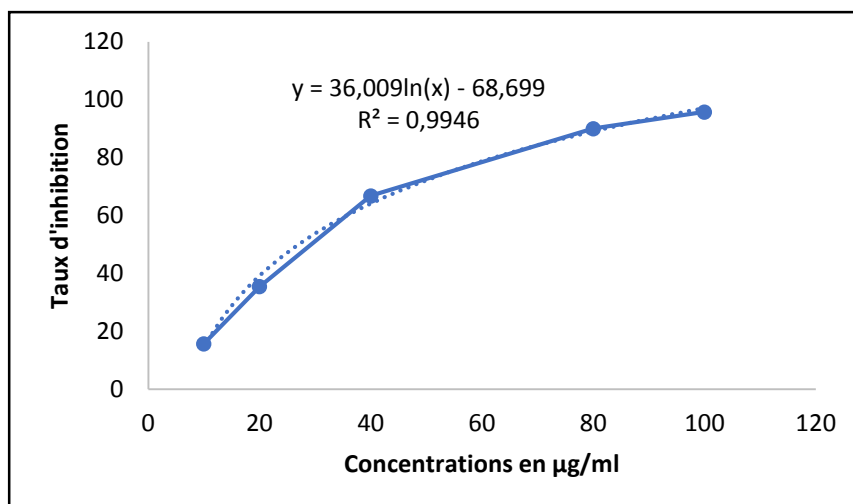


Figure 17. La courbe d'étalonnage de l'extrait *Curcuma longa* L.

5. Activité antibactérienne de l'extrait solide liquide

L'activité antimicrobienne de l'extrait méthanolique de *Curcuma longa* L. vis-à-vis de différents microorganismes pathogènes est résumée dans le **tableau 08**.

Les souches	Diamètre de la zone d'inhibition (mm)	
	L'extrait méthanolique	L'antibiotique CIP
<i>Staphylococcus aureus</i>	9.33 ±2.78	35±2.70
<i>Bacillus subtilis</i>	6.66 ±0.27	40±0.81
<i>Bacillus cereus</i>	7.66 ±0.27	35±2.70
<i>Salmonella typhi</i>	12.66±0.27	28±0.81
<i>Escherichia coli</i>	12.33±0.27	25±1.45
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	9.33 ± 0.27	31 ± 0.57

Tableau 08. Résultats de l'activité antibactérienne du l'extrait méthanolique de *Curcuma longa* L.

L'évaluation des zones d'inhibition a révélé une bonne activité antibactérienne de l'extrait *Curcuma longa* L. contre trois souches à Gram négatif : *Salmonella typhi*, *Escherichia coli*, et *Pseudomonas aeruginosa*, ainsi qu'une souche à Gram positif *Staphylococcus aureus*, tandis que *Bacillus subtilis* et *Bacillus cereus* se sont révélées résistantes (**Tableau 09**).

Tableau 09. Sensibilité des bactéries pathogènes contre l'extrait méthanolique du *Curcuma longa* L.

Bactéries	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus cereus</i>	<i>Salmonella typhi</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
Sensibilité	+	-	-	+	+	+

Présence : +, Absence : -

L'effet le plus marqué a été observé contre *Salmonella typhi*, avec un diamètre moyen de la zone d'inhibition de 12.66 ± 0.27 mm, indiquant une sensibilité notable de cette bactérie à l'extrait *Curcuma longa* L. testé (**Figure 18**), suivie près de *Escherichia coli* (12.33 ± 0.27 mm) (**Figure 19**). Ces résultats sont cohérents avec ceux d'**Al-Daihan et al. (2013)**, qui ont rapporté des zones d'inhibition de 12 mm pour *E. coli* et de 15 mm pour *S. aureus* avec l'extrait méthanolique de *Curcuma longa*. De même, **Ikpeama et al. (2014)** ont observé des diamètres de 9 mm pour *E. coli* et 7 mm pour *S. aureus*.

L'extrait a montré une activité modérée contre *S. aureus* (**Figure 20**) et *P. aeruginosa*, (**Figure 21**) avec des diamètres d'inhibition de $9,33 \pm 2,78$ mm et $9,33 \pm 0,27$ mm respectivement. En revanche, *Bacillus cereus* ($7,66 \pm 0,27$ mm) (**Figure 22**) et *Bacillus subtilis* ($6,66 \pm 0,27$ mm) (**Figure 23**) ont présenté une résistance, ce qui confirme leur résistance relative observée également dans d'autres travaux.

Par ailleurs, **NoorFazreen et Jeyalakshmi (2012)**, dans leur étude sur l'activité antibactérienne des extraits de feuilles de *Curcuma longa*, ont démontré une efficacité contre les bactéries à Gram positif et Gram négatif, avec une action plus marquée sur les souches à Gram négatif.

Les résultats issus des différentes études montrent une variabilité de l'activité antibactérienne de l'extrait de *Curcuma longa* L. Cette variabilité peut s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment la méthode employée pour l'évaluation de l'activité antibactérienne, la concentration de l'extrait utilisé, la sensibilité spécifique des souches testées, la quantité d'extrait déposée sur les disques, ainsi que la composition chimique de l'extrait, en particulier la teneur en composés phénoliques (**Falleh et al., 2008**).



Figure 18. La zone d'inhibition de *Salmonella typhi*.

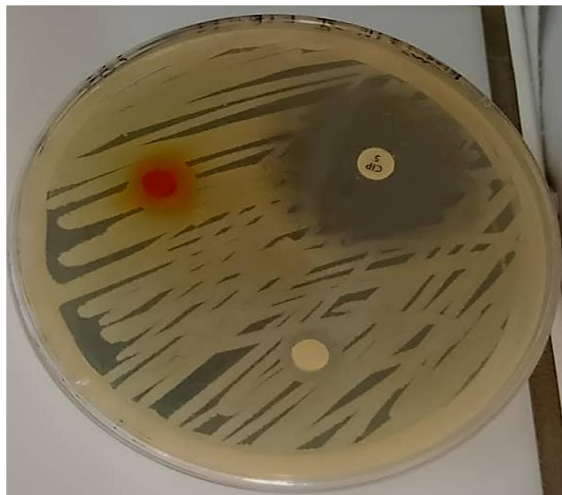


Figure 19. La zone d'inhibition d'*Escherichia coli*.



Figure 20. La zone d'inhibition de *Staphylococcus aureus*.

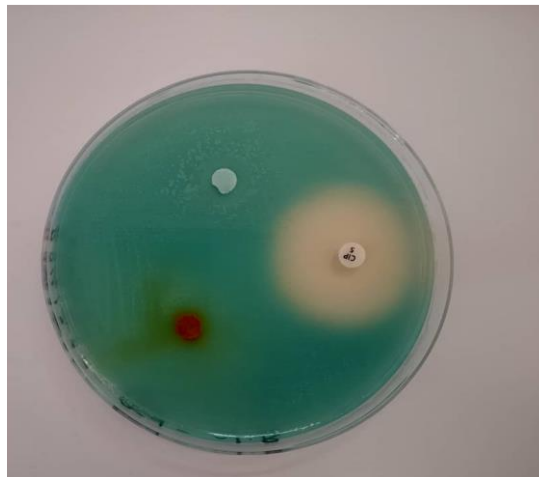


Figure 21. La zone d'inhibition de *Pseudomonasaeruginosa*.

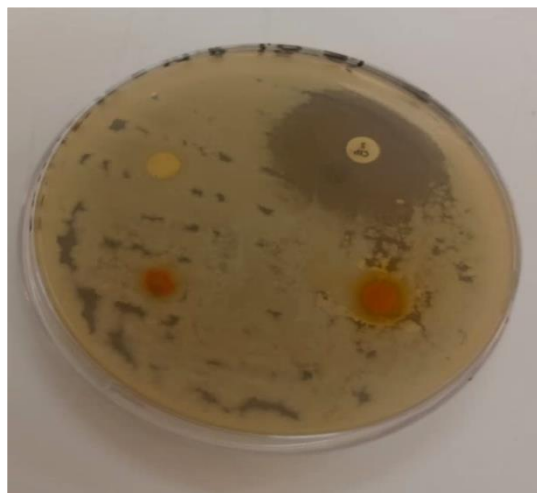


Figure 22. La zone d'inhibition de *Bacillus cereus*.



Figure 23. La zone d'inhibition de *Bacillus subtilis*.

5.1. Concentration minimale inhibitrice (CMI)

Les résultats obtenus pour la concentration minimale inhibitrice (CMI) révèlent que l'extrait méthanolique de *Curcuma longa* L. possède une activité antibactérienne significative contre les souches testées (**Tableau 10**).

Les valeurs de CMI observées sont de 1,97 mg/ml pour *Staphylococcus aureus*, 6,25 mg/ml pour *Escherichia coli* et *Salmonella typhi*, et 12,5 mg/ml pour *Pseudomonas aeruginosa*. Ces valeurs révèlent une capacité inhibitrice notable de l'extrait, même à faibles concentrations, mettant en évidence son potentiel antimicrobien contre les souches pathogènes testées (**Figures 24 et 25**).

Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par **Sasidharan et al. (2014)**, qui ont démontré que la curcumine exerce un effet inhibiteur sur les souches *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*, avec des CMI comprises entre 0,25 et 0,5 mg/ml.

Tableau 10. Résultats de la concentration minimale inhibitrice (CMI).

Bactéries	Les concentrations de CMI (mg/ml)
<i>Staphylococcus aureus</i>	1,97
<i>Escherichia coli</i>	6,25
<i>Salmonella typhi</i>	6,25
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	12,5

À la lumière de ces résultats, il apparaît que l'extrait méthanolique présente une activité antibactérienne plus marquée, ce qui pourrait s'expliquer par la nature organique du méthanol et sa grande capacité à extraire un large éventail de composés bioactifs (**Al-Daihan et al., 2013**).

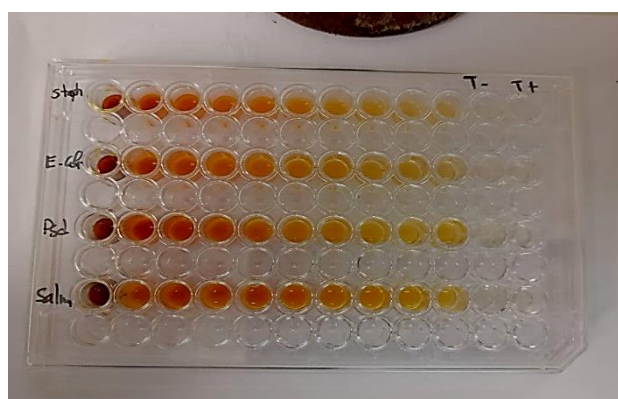


Figure 24. La plaque de CMI avant l'incubation (Photo originale).

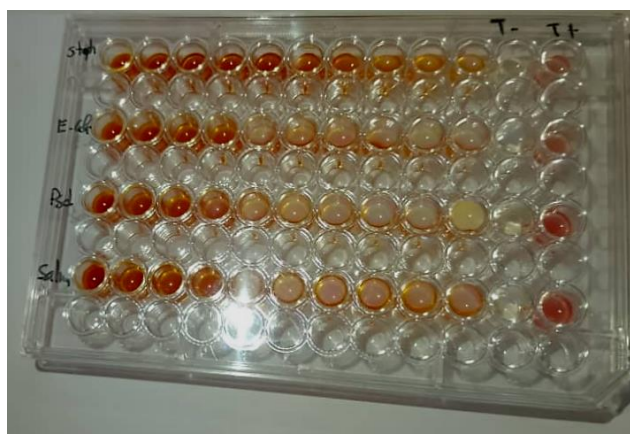


Figure 25. La plaque CMI après l'incubation (Photo originale).

5.2. Concentration minimale bactéricide (CMB)

Les résultats obtenus indiquent que l'extrait méthanolique de *Curcuma longa* L. est efficace contre les quatre souches bactériennes testées : *Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Staphylococcus aureus* (Figure 26).

Tableau 11. Résultats de la concentration minimale bactéricide (CMB) et le rapport CMB/CMI

Bactéries	Les concentrations de CMB (mg/ml)	Rapport CMB/CMI	Nature de l'activité
<i>Staphylococcus aureus</i>	12,5	6	Bactériostatique
<i>Escherichia coli</i>	50	8	Bactériostatique
<i>Salmonella typhi</i>	50	8	Bactériostatique
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	50	4	Bactéricide

D'après les résultats présentés dans le **tableau 11**, la concentration minimale bactéricide observée pour chaque souche testée est de 12,5 mg/ml pour *Staphylococcus aureus*, et de 50 mg/ml pour *Escherichia coli*, *Salmonella typhi* et *Pseudomonas aeruginosa*.

Mahmoudi et al. (2019) ont étudié l'effet antibactérien d'un extrait méthanolique de *Curcuma longa* L. contre *Staphylococcus aureus* et ont rapporté une concentration minimale bactéricide (CMB) de 10 mg/ml, en utilisant une méthode d'extraction solide-liquide classique. Ce résultat traduit une activité légèrement plus élevée que celle obtenue dans notre étude (12,5 mg/ml).

De leur côté, **Bouaïcha et Timechbache(2020)** ont évalué l'activité antibactérienne d'un extrait méthanolique de *Curcuma longa* commercialisé à Biskra. Ils ont obtenu une CMB de 100 mg/ml contre *Salmonella typhi*, ce qui indique une efficacité deux fois moindre que celle observée dans notre travail (50 mg/ml), malgré des conditions expérimentales

différentes. En revanche, leur extrait a montré une CMB de 25 mg/ml contre *Pseudomonas aeruginosa* et *Escherichia coli*, révélant une activité antibactérienne plus marquée que celle obtenue dans notre étude (50 mg/ml pour les deux souches).

Les variations observées dans les valeurs de la CMB peuvent être attribuées à plusieurs facteurs. Tout d'abord, elles dépendent du type de souche bactérienne utilisée, certaines présentant une résistance naturelle plus élevée que d'autres. Par ailleurs, la composition chimique de l'extrait testé influence fortement l'activité antibactérienne, celle-ci pouvant varier selon la méthode d'extraction employée et la concentration en principes actifs. Enfin, la méthode utilisée pour déterminer la CMB peut entraîner des différences d'interprétation.

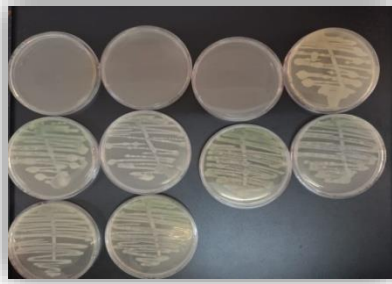
Le rapport CMB/CMI constitue un indicateur pertinent pour déterminer le mode d'action antimicrobien de l'extrait méthanolique de *Curcuma longa*. Un rapport compris entre 1 et 4, comme observé pour *Pseudomonas aeruginosa*, traduit une activité bactéricide. En revanche, les rapports supérieurs à 4 obtenus pour *Staphylococcus aureus* (6), *Escherichia coli* et *Salmonella typhi* (8) suggèrent une activité de type bactériostatique (**Tableau 11**).

Selon les critères établis **Bashige et al. (2020)**, un rapport CMB/CMI ≤ 4 indique une activité bactéricide, tandis qu'un rapport > 4 signale une activité bactériostatique.

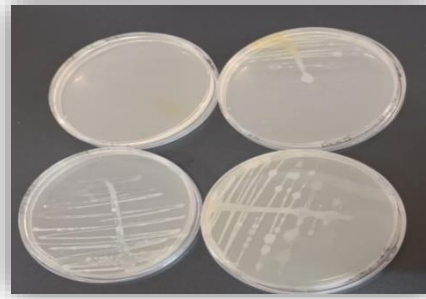
Pour *Pseudomonas aeruginosa*, le rapport CMB/CMI est de 4, ce qui indique une activité bactéricide. À l'inverse, les rapports CMB/CMI de 6 pour *Staphylococcus aureus* et de 8 pour *Escherichia coli* et *Salmonella typhi* traduisent une activité bactériostatique de l'extrait. Cela signifie que l'extrait inhibe efficacement la croissance bactérienne, mais ne provoque pas la lyse ou la mort complète des cellules à ces concentrations.

Ces résultats sont cohérents avec les données de la littérature, qui soulignent que les extraits de *Curcuma longa* exercent majoritairement une action inhibitrice (bactériostatique) sur diverses souches, en particulier les Gram négatif, en raison de leur membrane externe protectrice (**Semysim, 2022 ; Suwal et al., 2021**).

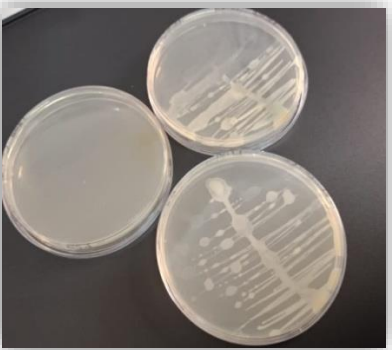
En somme, l'extrait méthanolique de *Curcuma longa* L. présente une activité antimicrobienne différenciée selon les espèces bactériennes, avec un potentiel bactéricide limité à *P. aeruginosa* et une activité inhibitrice marquée sur les autres souches pathogènes testées.



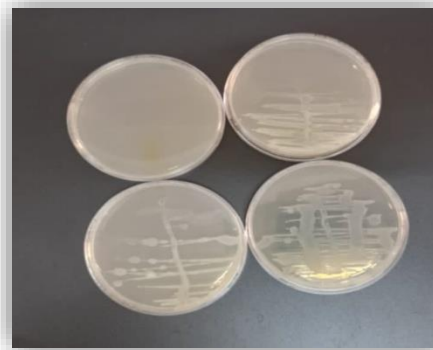
S. aureus



E. coli



P. aeruginosa



Salmonella typhi

Figure 26. La CMB des souches bactériennes étudiée.

Conclusion

Conclusion

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer les propriétés biologiques des extraits issus des rhizomes de *Curcuma longa* L. en mettant en œuvre deux techniques d'extraction distinctes : l'extraction solide-liquide discontinue et l'extraction par macération, utilisant le méthanol comme solvant d'extraction.

Le choix de ces méthodes vise à comparer leur efficacité en termes de rendement en composés bioactifs, avec des taux respectifs de 11,80 % pour l'extraction solide-liquide et de 5,10 % pour la macération. Une attention particulière a été portée à la caractérisation des propriétés biologiques des extraits obtenus, notamment à travers l'évaluation de leur activité antioxydante et antibactérienne.

L'analyse phytochimique des extraits de *Curcuma longa* L. a mis en évidence une richesse en composés bioactifs, notamment les polyphénols, flavonoïdes, tanins, terpénoïdes et sucre réducteurs. Ces molécules sont largement reconnues pour leurs propriétés biologiques, et leur présence explique en grande partie les activités antioxydantes et antimicrobiennes observées.

La diversité chimique de ces constituants confère à *Curcuma longa* un intérêt particulier en tant que source naturelle d'agents bioactifs, notamment dans un contexte où la recherche de substituts naturels aux conservateurs et additifs de synthèse devient une priorité tant pour l'industrie agroalimentaire que pharmaceutique.

Par ailleurs, l'évaluation des propriétés biologiques de *Curcuma longa* L. a mis en évidence un potentiel antioxydant significatif, comme en témoigne une valeur d'IC₅₀ de 27,00 µg/ml. De plus, l'extrait a démontré une activité antibactérienne notable, se traduisant par une inhibition de la croissance de plusieurs souches bactériennes pathogènes, notamment *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhi* et *Staphylococcus aureus*.

Ces résultats mettent en évidence son double potentiel antimicrobien et antioxydant, renforçant ainsi son intérêt en tant qu'ingrédient fonctionnel. L'intégration du *Curcuma* dans des formulations alimentaires, cosmétiques ou pharmaceutiques apparaît comme une perspective prometteuse, tant pour la conservation naturelle des produits que pour l'apport de bienfaits sur la santé humaine.

L'intérêt croissant pour les substances d'origine naturelle renforce la pertinence de cette plante, à la fois pour ses usages traditionnels et pour ses applications modernes. L'étude réalisée constitue une base pour orienter des recherches futures plus approfondies, visant à

optimiser les procédés d'extraction, à isoler et purifier les composés bioactifs, et à développer des produits innovants à forte valeur ajoutée.

En conclusion, *Curcuma longa* L. apparaît comme une plante prometteuse, offrant des solutions naturelles pertinentes face aux défis actuels liés à la santé publique, à la qualité nutritionnelle des aliments et à la durabilité des systèmes de production.

L'évaluation approfondie de ses composés bioactifs et de leurs propriétés biologiques constitue une étape essentielle vers une valorisation élargie de cette ressource végétale. Ces résultats ouvrent la voie à son intégration dans divers secteurs industriels.

Références Bibliographiques

A

- **Abubakar, I. R., Maniruzzaman, K. M., Dano, U. L., AlShihri, F. S., AlShammari, M. S., Ahmed, S. M. S., Al-Gehlani, W. A. G., & Alrawaf, T. I. (2022).** Environmental sustainability impacts of solid waste management practices in the Global South. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19), 12717. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912717>
- **Abudunia, A. M. (2018).** Etude phytochimique, Screening biologique et pharmacologique des fleurs de calendula arvensis.
- **Aggarwal, B. B., et Sung, B. (2009).** Pharmacological basis for the role of curcumin in chronic diseases: An age-old spice with modern targets. *Trends in Pharmacological Sciences*, 30(2), 85–94.
- **Ahmad, T., Khan, M. A., & Rehman, M. U. (2023).** Antimicrobial evaluation of methanolic extract of *Curcuma longa* L. against multidrug-resistant bacteria. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 23(1), 111.
- **Ait Baziz, H., Chemali, A. (2017).** Evaluation de l'activité antioxydante et de l'activité antimicrobienne de l'extrait méthanolique d'une plante médicinale locale. Mémoire de Fin d'étude. Université A. MIRA-Bejaia. P :11-12.
- **Akpolat, M., Tarladaçalisir, Y., Uz, Y., Metin, M., & Kizilay, G. (2010).** Kanser tedavisinde curcuminin yeri. *Yeni Tip Dergisi*, 27 : 142–147.
- **Alavi, F., Mahdi, M., Hosseini, S. M., & Yousefi, M. (2023).** Use of turmeric (*Curcuma longa*) extract in nano emulsions to enhance shelf life of dairy products. *LWT - Food Science and Technology*, 173, 114338.
- **Al-Diahan, S., Al-Faham, M., Al-shawi, N., Almayman, R., Brnawi, A., Zaegar, S., & Bhat, R. Shafi. (2013).** Antibacterial activity and phytochemical screening of some medicinal plants commonly used in Saudi Arabia against selected pathogenic microorganisms. *Journal of King Saud University – Science*, 25(2), 115–120. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2012.11.003>
- **Alizadeh, M., Khodayar, M. J., & Kakaei, F. (2023).** Comparative antioxidant activity of methanolic and aqueous extracts of *Curcuma longa* L. *Journal of Medicinal Plants Research*, 17(3), 44–52.
- **Almeida, H. H., Barros, L., Barreira, J. C., Calhelha, R. C., Heleno, S. A., Sayer, C., Ferreira, I. C. (2018).** Bioactive evaluation and application of different formulations of the natural colorant curcumin (E100) in a hydrophilic matrix (yogurt). *Food Chemistry*, 261, 224–232. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.056>
- **Altobelli, E., Angeletti, P. M., Latella, G., & Petrocelli, R. (2020).** Curcumin in inflammatory diseases: mechanisms and clinical evidence. *Nutrients*, 12(1), 215.
- **Alsahli, M. A., Rahmani, A. H., Aly, S. M., & Khan, M. A. (2023).** *Curcuma longa* L.: A promising plant with diverse biological activities – A systematic review. *Journal of Food Biochemistry*, 47(2), e14156.
- **Amalraj, A., Pius, A., Gopi, S., & Gopi, S. (2017).** Biological activities of curcuminoids, other biomolecules from turmeric and their derivatives – A review. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 7(2), 205–233. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2016.05.005>
- **Amalraj, A., Varma, K., Jacob, J., Divya, C., Kunnumakkara, A. B., Stohs, S. J., & Gopi, S. (2017).** A novel highly bioavailable curcumin formulation improves symptoms and diagnostic indicators in rheumatoid arthritis patients: a randomized, double-blind, placebo-controlled, two-dose, three-arm, and parallel-group study. *Journal of Medicinal Food*, 20(10), 1022–1030. <https://doi.org/10.1089/jmf.2017.3930>

- **Amrane, K., & Dib, L. (2021).** Etude de l'activité antioxydante et dosage des composés phénoliques des extraits d'épices et du thé vert. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Mémoire de Master. P35.
- **Anie, C. O., Oghenejobo, M., & Asibe, E. (2007).** Identification and evaluation of bacteria present in the toilet bowls of students' hostel in Delta State University, Abraka. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 11(10).
- **Araujo, C. C., et Leon, L. (2001).** Biological Activities of *Curcuma longa* L. *Mem Inst Oswaldo Cruz*, 96(5): 723–728.
- **Atti, I. (2014).** Evaluation des activités antioxydant et anti radicalaire d'un mélange d'épices « Ras el hanout ». Thèse de master. Université Kasdi Merbah Ouargla. P : 9–10–14–31–57.
- **Augustin, M. A., et Sanguansri, L. (2015).** Encapsulation of bioactives in food: Strategies, technologies, and matrix interactions. *Current Opinion in Food Science*, 4, 1–6.

B

- **Baba L., McGrath IM. (2008).** Oxygen free radicals: effects in the newborn perinod. *Advances in Neonatal Care* 8 Journal. P 256-264.
- **Bai, R., Dong, H., Zhang, Y., & Liu, Z. (2022).** Curcumin-loaded delivery systems in food: Recent advances and future perspectives. *Trends in Food Science & Technology*, 120, 178–190. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.028>
- **Bajpai, V. K., Kang, S. C., & Shukla, S. (2020).** Applications of plant-based natural preservatives in food storage and safety. *Frontières in Microbiology*, 11, 560911.
- **Bashige, V. C., Bakari, A. S., Okusa, P. N., Kalonda, E. M., & Lumbu, J. B. S. (2020).** Criblage phytochimique et activité antimicrobienne de six rhizomes comestibles utilisés en médecine traditionnelle à Lubumbashi (RDC). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14(4), 1367-1380. DOI:10.4314/ijbcs.v14i4.16
- **Belkhiri F. (2009).** Activité antimicrobienne et antioxydante des extraits du *Tamus communis* L. et *Carthamus caeruleus* L. Mém : Magister : Université Farhat Abbas Setif, 189P.
- **Bensakhria A. (2018).** Toxicologie générale-Stress oxydatif. Université atholique Saint Antonio de Murcia. P 78-79-80.
- **Benyakoub, R. M. (2016).** Maghnia, la reine des épices. El Watan, Algérie.
- **Bouaïcha, N., & Timechbache, H. (2020).** Évaluation de l'activité antibactérienne du *Curcuma longa* commercialisé dans la wilaya de Biskra [Mémoire de Master, Université Mohamed Khider de Biskra, Spécialité : Biochimie Appliquée].
- **Boudiaf, S. (2006).** Contribution à l'étude de la tache septorienne du blé : caractérisation culturelle et morphologique. Mémoire d'ingénieur. ENSA. <https://catalogue.ensa.dz>.
- **Bougandoura N., Bendimerad N. (2013).** Evaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux et méthanolique de *Satureja calaminthassp. Nepeta (L.) Briq.* *Nature & Technologie*, 14-19.
- **Bouldjadj J R. (2009).** Etude de l'effet antidiabétique et antioxydant de l'extrait aqueux lyophilisé d'*Artemisia herba alaba* Asso. Université de Constantine : 22-27.
- **Bouras F., Houchi A. (2013).** Etude de l'activité antioxydante de la Plantes *Rumex Vesicarius* L. Mémoire Master Académique. P :128.
- **Braga, M., Leal, P.F., Carvalho, J., & Mireles, M. (2003).** Comparison of yield, composition, and antioxidant activity of turmeric (*Curcuma longa* L.) extracts obtained using various techniques. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51 (22), 6604-6611. <https://doi.org/10.1021/jf0345550>

- **Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset C. (1995).** Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT- Food Science and Technologie*, 28(1), p25-30.
- **Bédane C. (2008).** Photo dermatologie : Photobiologie cutanée, photo protection et photothérapie. Edition Wolters Kluwer France, p 20.

C

- **Cao, H., et al. (2022).** Curcumin and gut microbiota: A review of potential interactions and implications for cancer prevention. *Food Research International*, 157, 111279.
- **Chainani-Wu, N. (2003).** Safety and anti-inflammatory activity of curcumin: A component of turmeric (*Curcuma longa*). *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 9(1), 161–168. <https://doi.org/10.1089/107555303321223035>
- **Chairaman k, Jayamala M, Vijila Christy & Ranjit Singh Aja. (2015).** Phytochemical Screening and Antimicrobial Activity of *Curcuma longa*. *Natural Due. Phytochemistry*. 16:79-83.
- **Challacombe, C.A., Abdel-Aal, E.S.M., Seetharaman, K et Duizer, L.M. (2012).** Influence of phenolic acid content on sensory perception of bread and crackers made from red or white wheat. *Journal of cereal Science*, 56(2) : 181-188.
- **Chandrasekara, A et Shahidi, F. (2018).** Herbal beverages: Bioactive compounds and their role in disease risk reduction a review. *Journal of traditional and Complementary medicine*. 8(4) : 451-458.
- **Chanforan, C. (2010).** Stabilité de microconstituants de la tomate (composés phénoliques, carténoïdes, vitamines C et E) au cours des procédés de transformation : études en systèmes modèles, mise au point d'un modèle stoechio-cinétique et validation pour l'étape unitaire de préparatio, de sauce tomate. Thèse de doctorat. Université d'Avignon et des pays de Vaucluse.
- **Cheikh Ali Z., (2012).** Études chimiques et biologiques d'*Aframomum sceptrum* (Zingiberaceae) et de la curcumine. Thèse de doctorat en chimie pharmaceutique. Faculté de pharmacie de Châtenay-Malabry Université Paris-Sud : p153
- **Choi H-Y. (2009).** Antioxidant activity of *curcuma longa* L. novel foodstuff. *Molecular & Cellular Toxicologie* 5(3): 237-242.
- **Choi, H. (2009).** Activité antioxydante du *Curcuma Longa* L., nouvel aliment. *Toxicologie moléculaire et cellulaire*, 5, 237-242.
- **Chttopadhyay I., Biswas K., Bandyopadhyay U., Banerjee R. K. (2004).** Turmeric and curcumin: Biological actions and medicinal applications. *CURRENT SCIENCE* 87(1): 44-53.
- **Cilla, A., Bosch, L., & Alegría, A. (2022).** Stability and bio accessibility of food bioactives: An overview of in vitro assessment. *Food Chemistry*, 373, 131414.
- **Cotter, P. D., Hill, C., & Ross, R. P. (2017).** Bacteriocins: Developing innate immunity for food. *Nature Reviews Microbiology*, 3(10), 777–788. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1273>
- **Cousins M., Adelberg J., Chen F., Rieck J. (2007).** Antioxidant capacity of fresh and dried rhizomes from four colons of Termeric (*Curcuma longa* L.) grown in vitro. *Industrial Crops and Products* 25 :129-135.
- *Curcuma longa* L. Rhizome Essential Oil from Extraction to Its Agri-Food Applications. A Review María Dolores Ibáñez and María Amparo Blázquez (2020). <https://doi.org/10.3390/plants10010044>

D

- **Das, A., Islam, M. A., & Rahman, M. H. (2021).** Natural antimicrobials from spices for food preservation: A review. *Food Bioscience*, 43, 101251.

- **Delattre J., Beaudoux J-L., Bonnefont-Rousselot D. (2005).** Radicaux libres et stress antioxydant : aspects biologiques et pathologiques. Lavoisier édition TEC □ DOC éditions médicales internationales, Paris : 405.
- **Desmier, T. (2016).** Les antioxydants de nos jours. Définition et applications. Thèse de doctorat. Université de Limoges. <https://aurore.unilim.fr/ori-oai-search/notice/view/unilim-ori-47443>
- **Dhouhou, N., Yamni, K., Tahrouch, S., Idrissi Hassani, L.M., Badoc, A., & Gmira, N. (2003).** Screening phytochimique d'une endémique ibéro-marocaine. Thyme laealythroïdes. Bulletin de la société de Pharmacie de Bordeaux. 142. P61-78.
- **Dhulipalla, S. K., Aydi, H., Felhi, A., & Sahmim, S. (2016).** On common fixed points for α -F-contractions and applications. Journal of Nonlinear Sciences and Applications, 9(5), 2458–2466.
- **Dieng M., Fall A D., Diatta K., Diatta W., Bassene E. 2015.** Dosage des polyphénols et activité antioxydante de feuilles et d'inflorescences mâles de *Borassus aethiopum*, Mart. Arecaceae. International. Journal of Biological and Chemical Sciences. 9(1) : 1067-1071.
- **Djeridane A., Yous M., Nadjemi B., Boutassouna D., Stoker P. & Vidal N. (2006).** Antioxidant activity of some medicinal plants extracts containing phenolic compounds. Food Chemistry, 97: 654-660.
- **Dosoky, N. S., & Setzer, W. N. (2019).** Chemical composition and biological activities of essential oils of Curcuma species: A review. Molécules, 24(21), 4026. <https://doi.org/10.3390/molecules24214026>.
- **Dutta, A., Paul, S., & Dey, T. (2020).** Natural preservatives from plant origin in meat and poultry products. Food Chemistry, 329, 127049. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127049>
- **Dutta, D., Chaudhuri, D., & Ghosh, S. (2021).** Curcumin as a food antioxidant: A review. Current Research in Food Science, 4 : 186–197.

E

- **Espitia, P. J. P., Soares, N. F. F., & Teófilo, R. F. (2021).** Food preservation techniques: An overview. Current Opinion in Food Science, 41, 56–64.

F

- **Falleh, H., Ksouri, R., Chaib, K., Karray-Bouraoui, N., Trabelsi, N., Boulaaba, M., & Abdelly, C. (2008).** Phenolic composition of *Cynaracardunculus* L. organs, and their biological activities. Comptes Rendus Biologies, 331(5), 372-379.
- **Felhi, S., Daoud, A., Hajlaoui, H., Mnafigui, K., Gharsallah, N., & Kadri, A. (2017).** Solvent extraction effects on phytochemical constituent's profiles, antioxidant and antimicrobial activities... Ciência e Tecnologia de Alimentos, 37(3), 483–492.
- **Filgueiras, M. R., Matos, R. D., et Druzian, J. I. (2013).** Estudo prospectivo da *Curcuma longa* L... Cadernos de Prospecção, 6(3), 366-366.
- **Fiorucci, S. (2006).** Activités biologiques de composés de la famille de flavonoïdes... Thèse de doctorat. Nice, p. 211.

G

- **García-Salinas, S., Elizondo-Cabal, A., Arruebo, M., & Santamaría, J. (2022).** Plant extracts as natural preservatives for food applications... Food Research International, 153, 110949.

- **Gariam B. (2006).** Le stress oxydant induit par voie métabolique... Thèse de doctorat. Université Joseph Fourier Grenoble 1, p. 123–125.
- **Garrido, J., & Borges, F. (2013).** Wine and grapepolyphenols... *Food Research International*, 54(2), 1844-1858.
- **Gayamukulya, Y., Wada, Y., Okoth, P., Ogwang, P. E., Okello, D., Byarugaba, F., Mwanga, J., Wampande, J., Serwadda, D., & Kambugu, D. (2022).** Antimicrobial and antioxidant properties of curcumin-based edible coatings in meat preservation. *Frontiers in Nutrition*, 9, 887324. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.887324>
- **Goel, A., Kunnumakara, A. B., & Aggarwal, B. B. (2008).** *Biochem. Pharmacol.*, 75, 787–809.
- **González, C., Ray, J. C., Manhart, M., Adams, R. M., Nevozhay, D., Morozov, A. V., & Balázi, G. (2015).** *MolecularSystemsBiology*, 11(8), 827.
- **González, J. E., Ortiz, L., Smith, B. K., Devineni, N., et al. (2019).** *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1439, 30–70.
- **Gupta, S. C., Patchva, S., & Aggarwal, B. B. (2013).** Therapeutic roles of curcumin... *The AAPS Journal*, 15(1), 195–218.
- **Gururani, A., Pant, S., & Arya, R. (2022).** Curcuma longa L.: A comprehensive review... *Journal of Ethnopharmacology*, 298, 115555.
- **Güneri, N. (2021).** Revue du curcuma (*Curcuma longa L.*) et de son utilisation... *Bulletin des sciences et technologies marines*, 71-84.
- **Gyawali, R., & Ibrahim, S. A. (2014).** Natural products as antimicrobial agents. *Food Control*, 46, 412–429.

H

- **Halvorsen B. L., Carlsen M. H., Philip K. M., Bohen S. K., Holte K., Jacobs D. R., J. K. and Blomhoff R. (2006).** Content of redox-active compounds (antioxidants) in foods consumed in the United States. *Am J Clin Nutr*, 84, 95–135.
- **Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. C. (2015).** *Free radicals in biology and Medicine*. 5th ed. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198717478.001.0001>
- **Hamidi, A. (2013).** Etude phytochimique et activité biologique de la plante *Limoniastrum guyonianum*. Mémoire de Magister, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 86p.
- **Hatcher, H., Planalp, R., Cho, J., Torti, F. M., & Torti, S. V. (2008).** Curcumin: From ancient medicine to current clinical trials. *Cell Mol Life Sci*, 65:1631–1652.
- **Hemmami, H., Seghir, B. B., Zeghoud, S., Ben Amor, I., Kouadri, I., Rebiai, A., ... & Atanassova, M. (2023).** Desert endemic plants in Algeria: A review on traditional uses, phytochemistry, polyphenolic compounds and pharmacological activities. *Molecules*, 28(4), 1834. <https://doi.org/10.3390/molecules28041834>
- **Hewlings, S. J., & Kalman, D. S. (2017).** Curcumin: A review of its effects on human health. *Foods*, 6(10), 92.
- **Hocine, F. M., & Gorine, M. A. (2017).** Évaluation de l'exposition au plomb et cadmium et impact sur quelques paramètres du statut oxydant/antioxydant chez les ouvriers exposés aux fumées de soudage. Thèse de master II. Univ. Abou Bakr Belkhir-Tlemcen, p. 45–65.

- **Horbanczuk, J. O. (2022).** The current use and evolving landscape of nutraceuticals. *Pharmacological Research*, 175, 106001. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2021.106001>
- **Huminiecki, L., & Horbańczuk, J. (2022).** Curcumin's anti-inflammatory properties and the application in functional food. *Nutrients*, 14(3), 620.

I

- **Ikpeama, A., Onwuka, G. I., & Nwankwo, C. (2014).** Nutritional composition of turmeric (*Curcuma longa*) and its antimicrobial properties. *Int. J. of Scientific and Engineering Research*, 5(10), 1085–1089.
- **Imen, R. (2008).** Étude de l'effet de l'irradiation sur les polyphénols du curcumin. *Projet de fin d'études, Centre National des Sciences et Technologies Nucléaires.*
- **Irshad, M., Subhani, M. A., Ali, S., & Hussain, A. (2019).** Biological Importance of Essential Oils. In *Essential Oils - Oils of Nature*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.87198>
- **Iweala, E. E. J., Ugbogu, M. E. A., Dike, E. D., & Uche-Ikonne, C. (2023).** *Curcuma longa* (Turmeric): Ethnomedicinal Uses, Phytochemistry, Pharmacological Activities and Toxicity Profiles – A Review.

J

- **Jäger, R., Lowery, R. P., Calvanese, A. V., Joy, J. M., Purpura, M., & Wilson, J. M. (2014).** Comparative absorption of curcumin formulations. *Nutrition Journal*, 13(1), 11. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-13-11>
- **Jahurul, M. H. A., Jack, C. S. C., Syifa, A. A. B., Shahidul, I., Norazlina, M. R., Shihabul, A., & Zaidul, I. S. M. (2022).** Physicochemical and antioxidant properties... of noni (*Morindacitrifolia*). *Food Chemistry Advances*, 1, 100079. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100079>
- **Jayaprakasha, G. N., Jagan Mohan Rao, L., & Sakariah, K. K. (2005).** Chemistry and biological activities of *C. longa*. *Trends in Food Science & Technology*, 16, 533–548.
- **Jayaprakasha, G. K., Rao, L. J. M., & Sakariah, K. K. (2006).** Antioxidant activities of curcumin, demethoxycurcumin and bisdemethoxycurcumin. *Food Chemistry*, 98(4), 720–724. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.06.037>
- **Jourdan, J. P. (2015).** *Curcuma* et curcumine, de l'histoire aux intérêts thérapeutiques. Thèse de doctorat en sciences pharmaceutiques, Univ. de Caen, 133p.

K

- **Kaloustian, J., & Hadji-Minaglou (2012).** La connaissance des huiles essentielles : qualité et aromathérapie. p. 06.
- **Kalla, A. (2012).** Étude de valorisation des principes actifs de quelques plantes du sud algérien.
- **Karre, L., Lopez, K., & Getty, K. J. K. (2020).** Natural antioxidants in meat and poultry products. *Meat Science*, 94(2), 220–227.
- **Kawsar, S. M. A., Hug, E., Nahar, N., & Ozeki, Y. (2008).** Identification and quantification of phenolic acids.... *American Journal of Plant Physiology*, 3(4), 165–172.
- Kew Science – Plants of the World Online. *Curcuma longa* comme cultigène indigène au sud-ouest de l'Inde.

- **Khedis, L., & Aid, A. (2020).** Caractérisation phytochimique et activité antibactérienne de *Curcuma longa*. Mémoire de mastère, Université Akli Mohand Oulhadj – Bouira, 46p.
- **Khan, A., Ahmad, A., & Dey, A. (2022).** Curcumin as a natural antimicrobial agent.... *Journal of Food Science and Technology*, 59(11), 4192–4204.
- **Kholi, K., Ali, J., & Rahmen, Z. (2005).** Curcumin: A natural anti-inflammatory agent. *Indian J. Pharmacol.*, 37(3), 141–147.
- **Kim, J., Chang, Y., Chong, A. Y. L., & Park, M.-C. (2019).** Perceived Use Context Measure. *PsycTESTS*. <https://doi.org/10.1037/t78583-000>
- **Kosar, M., Dorman, H. J. D., & Hiltunen, R. (2005).** Effect of an acid treatment on the phytochemical.... *Food Chemistry*, 91(3), 533–535. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.06.029>
- **Ksouri, R., Falleh, H., Megdiche, W., Trabelsi, N., Hamdi, M., Chaib, K., Bakhrouf, A., Mangé, C., & Abdelly, C. (2009).** Antioxidant and antimicrobial activities of the edible medicinal halophyte *Tamarix gallica* L. *Food and Chemical Toxicology*, 47(8), 2083–2091.
- **Kumakara, A. B., Costa, M. F. C., Soares, P. K., & Barbosa, A. M. C. (2020).** Curcumin targets multiple oncogenic pathways.... *Cellex*, 9(8), 1671.
- **Kurutas, E. B. (2016).** The importance of antioxidants in cellular response to oxidative/nitrosative stress. *Nutrition Journal*, 15, 1475–2891.
- **K. Bolou, G. E., Attioua, B., C. N'Guessan, A., Coulibaly, A., D. N. Guessan, J., & Djaman, A. J. (2011).** Évaluation in vitro de l'activité antibactérienne.... *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*. <https://popups.uliege.be/00379565/index.php.id=3283>

L

- **Lakshmi, G., Smitha, N., Ammu, S. V., Priya, C. L., & Bhaskara Rao, K. V. (2014).** Phytochemical profile, in vitro antioxidant and hemolytic activities of various leaf extract of *Nymphaea nouchali* Linn: an in vitro study. *Int J PharmSci*, 6(6), 548–552.
- **Lee, E. T., & Wang, J. W. (2003).** *Statistical Methods for Survival Data Analysis* (3rd ed.). Wiley, New York.
- **Leroy R. (2019).** La curcumine : provenance et potentiels thérapeutiques. Thèse de doctorat en pharmacie. Université d'Aix-Marseille.
- **Li, X., Wu, S., Liu, Y., & Fang, Y. (2023).** Nano formulations of curcumin for cancer prevention and therapy: Recent advances and future perspectives. *Journal of Functional Foods*, 104, 105412.
- **Li, Y., Erhunmwunsee, F., Liu, M., Yang, K., Zheng, W., & Tian, J. (2022).** Antimicrobial mechanisms of spice essential oils and application in food industry. *Food Chemistry*, 382, 132312.
- **Lima, C. F., Barbosa, J. M., & Silva, A. R. A. (2021).** Antimicrobial and antioxidant activity of turmeric (*Curcuma longa* L.) essential oil in food preservation: A review. *Food Research International*, 140, 109869.
- **Liu, M., Zou, X., Wu, X., Li, X., Chen, H., Pan, F., ... & Peng, W. (2024).** Preparation of chitosan/Tenebriomolitor larva protein/curcumin active packaging film and its application in blueberry preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 275, 133675.
- **Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., Chandra, N. (2010).** Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Review*, 4(8), 118–126.

- **Lopez, S. A., Martins, J. T., & Vicente, A. A. (2024).** Synergistic effects of turmeric and rosemary essential oils in food preservation. *Trends in Food Science & Technology*, 145, 142–150.
- **López- Lázaro, M. (2008).** Anticancer and carcinogenic properties of curcumin: considerations for its clinical development as a cancer chemo-preventive and chemotherapeutic agent. *Molecular nutrition & food research*, 52(S1), S103–S127.

M

- **Mahadagde, P. (2018).** Techniques disponibles pour l'extraction des huiles essentielles de plantes : une revue. *Revue internationale de recherche en sciences appliquées et en technologie de l'ingénierie*, 6, 2931–2935.
- **Mahboubi, M., & Hagi, G. (2008).** Activité antimicrobienne et composition chimique de l'huile essentielle de *Menthapulegium* L. *Journal of ethnopharmacology*, 119(2), 325–327.
- **Mahmoudi A., Benali M., Touati L., & Bensalem R. (2019).** Évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique de *Curcuma longa* contre *Staphylococcus aureus*. *Journal Algérien de Phytothérapie*, 7(2), 45–52.
- **Mahmoudi S., Khali M., & Mahmoudi N. (2013).** Étude de l'extraction des composés phénoliques de différentes parties de la fleur d'artichaut (*Cynarascolymus* L.). *Nature & Technologie*, 9, 35–40.
- **Manasa, P. S. L., Kamble, A. D., & Chilakamarthi, U. (2023).** Various extraction techniques of curcumin - a comprehensive review. *ACS Omega*, 8(38), 34868–34878.
- **Marok, M.A. (2014).** Implication des mécanismes antioxydants enzymatiques et non enzymatiques dans la tolérance au stress hydrique chez deux variétés d'orge, Saida et Express. ENSA Alger.
- **Martins, S., Mussatto, S.L., Martinez-Avila, G., Montanez-Saenz, J., Aguilar, C.N., & Teixeira, J.A. (2011).** Bioactive phenolic compounds: production and extraction by solid-state fermentation. *Biotechnology Advances*, 29(3), 395–373.
- **Mbadiko C. M., et al. (2017).** Assessment of the anti-sickling activity of total methanolic extracts from the rhizomes and roots of *C. longa*.... *Journal of Advancement in Medical and Life Sciences*, 5(1), 1–6.
- **Mebarkia, Z., & Miloudi, F. (2022).** Étude bibliographique du *Curcuma longa* L. Mémoire de Master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahim.
- **Mehmood, T., Ahmad, M., & Zhang, H. (2023).** Application of turmeric essential oil-based edible coatings to improve the shelf life of fresh produce: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 131, 178–190.
- **Michel, Pierre. (2017).** La bible des plantes qui soignent. Édition Chêne.

- **Morteza-Semnani, K., Saeedi, M., & Akbarzadeh, M.J. (2011).** Composition chimique et activité antimicrobienne de l'huile essentielle de *Menthapulegium* L. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 14, 208–213.

N

- **Naviglio, D., Scarano, P., Ciaravalo, M., & Gallo, M. (2019).** Rapid Solid-Liquid Dynamic Extraction (RSLDE): A Powerful and Greener Alternative... *Foods*, 8(7).
- **Negi, P. S. (2012).** Plant extracts for the control of bacterial growth: Efficacy, stability and safety issues for food application. *Int. J. of Food Microbiology*, 156(1), 7–17.
- **Nelson, K. M. (2023).** Dietary curcumin and inflammation: Recent human clinical trials and advances in delivery methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*.

- **Nguyen, H. T., Le, T. T., & Vo, V. T. (2021).** Curcuma longa extract and its antimicrobial potential against foodborne pathogens. *Asian Journal of Microbiology*...
- **Nilanjana, T., Mae, T., Kishida, H., et al. (2005).** Curcuminoids and sesquiterpenoids in turmeric (*Curcuma longa* L.) suppress and increase blood glucose...
- **NoorFazreen, D., & Jeyalakshmi, R. (2012).** Determination of antibacterial activity of *Curcuma longa* against selected food poisoning causing bacteria.

O

- **Ortega-Ramirez, L. A., Rodriguez-Garcia, L. A., Leyva, J. M., Gonzalez-Aguilar, G. A., & Ayala-Zavala, J. F. (2014).** Potential of medicinal plants as antimicrobial and antioxidant agents in food industry: A hypothesis. *Journal of Food Science*, 79(2), R129–R137.
- **Ouattara, A., Ouedraogo, C. M., Ouedraogo, A. (2015).** Références et évacuations obstétricales dans le contexte de la subvention des soins obstétricaux et néonataux d'urgence. *Médecine et Santé Tropicales*, 25, 403–407. <https://doi.org/10.1684/mst.2015.0466>

P

- **Paillet, P. (2016).** Modification chimique, greffage et dispersion d'agents fonctionnels pour des applications antimicrobiennes.
- **Panahi, Y., Saadat, A., Beiraghdar, F., & Sahebkar, A. (2022).** Curcumin as a potential modulator of oxidative stress-mediated damage in neurodegenerative diseases.
- **Patel, J., Patel C., Purohit, M., Patel, D., Limabachiya, R., Patel, K. (2025).** Évaluation des techniques analytiques pour la quantification de la curcumine : une revue complète.
- **Patil, V.V., et al. (2019).** Phytochemical Analysis and Antibacterial Evaluation of *Curcuma longa* and *Curcuma Aromatica* against Enteric Poultry Pathogens.
- **Penchev, P.L. (2010).** Étude des procédés d'extraction et de purification de produits bioactifs à partir de plantes...
- **Pham-Huy, L.A., He, H., & Pham-Huy, C. (2008).** Free radicals, antioxidants in disease and health. *Int J Biomed Sci*, 4(2), 89–96.
- **Podsdek, A. (2007).** Natural Antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. *LWT*, 40, 1–11.
- **Portes, A. (2008).** Migration and social change: Some conceptual reflections. *Journal of Ethnic and Migration Studies*, 34(6), 153–179.
- **Priyadarsini, K. I. (2020).** The chemistry of curcumin: From extraction to therapeutic agent. *Molecules*, 25(17), 3883.
- **Pham-Huy, L.A., He, H., & Pham-Huy, C. (2008).** Free radicals, antioxidants in disease and health. *Int J Biomed Sci*, 4(2), 89–96.
- **Podsdek, A. (2007).** Natural Antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. *LWT*, 40, 1–11.
- **Portes, A. (2008).** Migration and social change: Some conceptual reflections. *Journal of Ethnic and Migration Studies*, 34(6), 153–179.
- **Prasad, S., Gupta, S. C., Tyagi, A.K., Aggarawal, B.B. (2014).** Curcumin, a component of golden spice: From bedside to bench and back. *Biotechnology Advances*.
- **Prasad, S., Dubourdiou, D., Srivastava, A., Kumar, P., Lall, R. (2021).** Metal–curcumin complexes in therapeutics: an approach to enhance pharmacological effects of curcumin. *Int J Mol Sci*, 22(13), 7094.
- **Priyadarsini, K. I. (2020).** The chemistry of curcumin: From extraction to therapeutic agent. *Molecules*, 25(17), 3883.

R

- **Rachana, S., & Venugopalan, P. (2014).** Antioxidant and bactericidal activity of wild turmeric extracts. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2(6).
- **Rahmani, A. H., Alshali, M. A., Aly, S. M., & Khan, M. A. (2023).** Curcuma longa L.: A promising plant with diverse biological activities – A systematic review. *Journal of Food Biochemistry*, 47(2), e14156.
- **Rezaire, A. (2012).** Activité antioxydante, caractérisation phénolique du fruit de palmier Amazonien *Oenocarpus bataua* (patwa). Université des antilles et de la Guyane. Thèse de doctorat, Antilles-Guyane. P 56-58 France.
- **Ribeiro, M., Lopes, L., & Teixeira, C. (2022).** Comparison of antimicrobial testing methods: diffusion vs dilution assays using plant extracts. *Journal of Natural Products Research*, 36(4), 489–496.
- **Rivera-Calo, M., Crandall, P.G., O'Bryan, C.A., & Ricke, S.C. (2022).** Active packaging systems to extend the shelf life of food products: Trends and innovations. *Trends in Food Science & Technology*, 122, 134–147.
- **Rodriguez-Amaya, D. B. (2021).** Impact of processing and storage on food carotenoids and strategies to improve their stability. *Food Research International*, 147, 110552.
- **Rodriguez-Amaya, D.B. (2021).** Natural food pigments and colorants. In Mérillon, J.M., & Ramawat, K.G. (Eds.), **Bioactive Molecules in Food** (pp. 867–901). Springer.

S

- **Sabale, PM, Modi, A., et Sabale, VP (2013).** Curcuma longa Linn. *Revue phytochimique et phyto pharmacologique. Revue de recherche en pharmacognosie et phytochimie*, 5, 59-68.
- **Sabir, S. M., Zeb, A., Mahmood, M., Abbas, S. R., Ahmad, Z., & Iqbal, N. (2020).** Phytochemical analysis and biological activities of ethanolic extract of Curcuma longa rhizome. *Brazilian Journal of Biology*, 81(3), 737-740. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.230628>
- **Saddique, M. S., Sultan, M. T., Iqbal, S. Z., Bosch, C., Akhtar, S., Raza, H., ... & Ahmed, W. (2024).** Physicochemical, rheological and sensory evaluation of herbal bread containing turmeric, ginger, and black cumin powder. *Foods*, 13(4), 555. <https://doi.org/10.3390/foods13040555>
- **Sahu, R., et Saxena, J. (2013).** Screening of total phenolic and flavonoid content in conventional and non-conventional species of curcuma. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2(1).
- **Sai, V., Bonatti, R., Bucker, A., & Kapoor, A. (2023).** Design Principles and Model Abilities. *arXivpreprint, arXiv:2306.17582*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.17582>
- **Saidi, I. 2019.** Caractérisation et valorisation d'une plante de la famille des fabaceae : *Gleditsia triacanthos* de la région de Sidi Bel Abbès : Extraction des substances bioactives. Thèse de Doctorat Université Djillali Liabes Sidi Bel Abbés Algérie. 103p.
- **Salgado, P. R., Castillo, L. A., & Mauri, A.N. (2023).** Biopolymer-based edible films incorporating turmeric essential oil: Recent advances and applications in food packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 36, 101048
- **Sasidharan, S., Joseph, P., & Junise, J. (2014).** Formulation and evaluation of fairness serum using poly herbal extracts. *International Journal of Pharmacy*, 4(3), 105–112. PDF.

- **Sawant, R S., Godghate, A G. (2013).** Qualitative phytochemical screening of rhizomes of *Curcuma longa* L. *International Journal of Sciences, Environment and technology*, 2(4) : 634-641.
- **Saxena Jyotie, Sahu Rajeshwar. (2012).** Valuation of Phytochemical Constituents in Conventional and Non-Conventional species of *Curcuma*. *International Research Journal of Pharmacy*, 3(8). P203-204.
- **Schofield P., Mbugua D. M., et Pell A. N. (2001).** Analyses of condensed tannins: a review animal. *Food and Technology*, 91 : 21-40.
- **Semysim, E. A. A. R. A. (2022).** Evaluation of Antibacterial Activity of Extracts of *Curcuma Longa* L. Rhizome and Estimation of Curcuminoids by HPLC. *Biomedical and Pharmacology Journal*, 15(4), 2217-2227. DOI: <https://dx.doi.org/10.13005/bpj/2559>
- **Shahid N., (2016),** Valeur thérapeutique du curcuma. *Source vitales* 98 Sharma et al. (2022). A comprehensive review on the therapeutic potential of *Curcuma longa* Linn. (PMC), décrivant la répartition dans de nombreux pays d'Asie tropicale, du Pacifique et d'Amérique.
- **Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015).** Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. *Journal of Functional Foods*, 18, 820–897.
- **Shahidi, F., et Zhong, Y. (2015).** Measurement of antioxidant activity in food and biological systems. In F. Shahidi (Ed.), *Antioxidants in Food and Biology* (pp. 287–318). CRC Press.
- **Sharifi-Rad, J.. (2020).** Curcumin and its potential impact on microbiota: A narrative review. *Pharmaceuticals*, 13(11), 366.
- **Sharma, P., Sharma, R., & Sharma, S. (2022).** A comprehensive review on the therapeutic potential of *Curcuma longa* Linn. *Pharmacognosy Communications*, Publication mentionnant sa répartition en Asie tropicale, Pacifique et Amérique.
- **Silva, L.T., & Silva, F.P. (2024).** Toxicidad aguda do extrato aquoso de *Curcuma longa* L. em *Artemia salina* L. *Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade*.
- **Singh, G., Kapoor, IPS, Singh, P., de Heluani, CS, de Lampasona, MP, & Catalan, CA (2008).** Études chimiques, antioxydantes et antimicrobiennes sur l'huile essentielle et les oléorésines de *Zingiber officinale*. *Toxicologie alimentaire et chimique*, 46 (10), 3295-3302. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.07.017>
- **Singh, S., Kumari, M., & Sharma, A. (2022).** *Curcuma longa* L. extract exhibits bactericidal activity against major foodborne pathogens: CMI and CMB determination. *Journal of Food Safety*, 42(3), e12912.
- **Sirirugsa, P., Larsen, K., & Maknoi, C. (2007).** Le genre *Curcuma* L. (Zingiberaceae) : répartition et classification en fonction de la diversité des espèces en Thaïlande.
- **Stocker R., John F., Keaney, J. (2004).** Role of oxidative modifications in atherosclerosis. *Physiological Reviews*, 1381-1478.
- **Sultana, R., Imran, M., & Arshad, M. S. (2022).** Antioxidant potential of turmeric essential oil and its role in oxidative stability of edible oils. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(6), e16510.
- **Suwal, N., Subba, R. K., Paudyal, P., Khanal, D. P., Panthi, M., Suwal, N., ... & Koirala, N. (2021).** Antimicrobial and antibiofilm potential of *Curcuma longa* Linn. Rhizome extract against biofilm producing *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa* isolates. *Cellular and Molecular Biology*, 67(1), 17-23. <https://doi.org/10.14715/cmb/2021.67.1.3>
- **Swadhini S.P., Santosh R, Uma C, Mythili S and Sathiavelu A. (2011).** Phytochemical Screening and antimicrobial activity of five medicinal plants against *Myrothecium* SP. *International Journal of Pharma and Biosciences*. 2(1) : B272-B279.

- **Sıçramaz, H. (2025).** Yaourt enrichi au curcuma : teneur accrue en antioxydants et en composés phénoliques. *Fermentation*, 11 (3), 127. <https://doi.org/10.3390/fermentation11030127>

T

- **Tajbakhsh, M. (2008).** The rapid and efficient synthesis of disulfides from alkyl and acyl halides. *Monatshefte für Chemie - Chemical Monthly*, 139(5), 491–495. <https://doi.org/10.1007/s00706-008-0890-9>
- **Tajkarimi, M. M., Ibrahim, S. A., & Cliver, D. O. (2021).** Antimicrobial herb and spice compounds in food. *Food Control*, 59, 273–291. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.106859>
- **Talbi H., Boumaza A., Elmostafa K., Talbi J et Hilali A. 2015.** Evaluation de l'activité antioxydante de la composition physico-chimiques des extraits méthanoliques et aqueux de la nigella sativa L. Université Hassan le 1er. Casablanca Maroc. P78.
- **Tanguy M. (2009).** Antioxydants Première partie : Les antioxydants dans l'alimentation. *Médecine*. Vol 5(6) : P256-260.
- **Tarik M.C. (2014).** Contribution à l'étude des activités antioxydantes et antimicrobiennes des extraits de quelques plantes médicinales. Thèse de doctorat : Université abou-bakr-belkaid-Tlemcan (Algérie), 119 P.
- **Teschke, R., & Xuan, T. D. (2020).** Herbs including shell ginger, antioxidant profiles, aging, and longevity in Okinawa, Japan: A critical analysis of current concepts. In *Aging* (pp. 209-222). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818698-5.00021-3>
- **Toty A., Guessennd N., Bahi C., Kra A., Otokore D and Dosso M., 2013.** Evaluation in vitro de l'activité antibactérienne de l'extrait aqueux de l'écorce de tronc de *Harunganamadagascariensis* sur la croissance de souche multi-résistante. *Bulletin de la société Royale des Sciences de Liège*, p: 12-21.
- **Trease, G.E., Evans, W.C. (1987).** *Pharmacognosy*. 13ed. London: Baillière Tindall.
- **Trinidad P., Sagum S., Deleon M., Mallillin S., et Borlagdin M. (2012).** Zingiber Officinale and curcuma longa sapotencial functional foods/ Ingredient. *Food and public Health*.2(2), 14.
- **Tylkowski, B., Trindade, M. A., & Silva, C. F. (2020).** Encapsulation strategies to improve the stability of turmeric essential oil in food matrices. *Food Hydrocolloids*, 105, 105844.

V

- **Verma, R., Sharma, A., & Singh, V. (2023).** Antioxidant and antimicrobial activity of *Curcuma longa* extract: A potential natural food preservative. *Foods*, 12(10), 1550. <https://doi.org/10.3390/foods12101550>.

Y

- **Yin, H.M., Yan, L.F., Liu, Q., Preng, Z., Zhang, C.V., Xia, Y., et al. (2020).** Activating transcription factor 3 coordinates differentiation of cardiac and hematopoietic progenitors by regulating glucose metabolism. *Sciences Advanced*. 6(2). 9466. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aay9466>

Z

- **Zenasni L. (2014).** Etude du polymorphisme chimique des huiles essentielles de *Thym satureioides* Coss et d'*Origanum compactum* Benth genre *Neota* et évaluation de leur propriété antibactérienne. Thèse de doctorat. Université Mohammed-Agdal Rebat. Maroc.

- **Zhang, Y., Wang, L., & Liu, H. (2022).** Antioxidant activity and phenolic content of turmeric extracts from different solvents. *Food Chemistry*, 375, 132935. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132935>
- **Zhang, Y., Xu, S., Zhang, M., & Fang, Z. (2022).** Natural antioxidants and their mechanisms in preventing lipid oxidation in foods: Trends and challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(18), 4972–4991.
- **Zirena Marca, D.S. (2015).** Evaluation de l'effet scabicide de l'extrait lupinus Mutabilis Sweet (Tarwi), pour le traitement de la gale humaine, en patients du « Hopital Régional Honorio Delgado.






Annexes




Annexe 1**Tableau.** Les milieux de cultures utilisés.

Milieu	Composition
Gélose Nutritive (GN)	Pour 1 litre de milieu : Tryptone (5,0g) Extrait de viande (1,0g) Extrait de levure (2,0g) Chlorure de sodium (5,0g) Agar (12 ,0g) pH=7
Milieu de Mueller-Hinton (MH)	Pour 1 litre de milieu : Infusion de viande de bœuf (300g) Peptone de caséine (17,5g) Amidon da mais (1,5g) Agar (17,0g) pH=7,4
Bouillon Mueller-Hinton (BMH)	Pour 1litre de milieu : Extrait de viande (2g) Hydrolysate acide de caséine (17,5g) Amidon soluble (1,5g) pH=7,3

Annexe 2

Tableau. Les appareils utilisés.

Nom	Photo (originale)
Rota vapeur	
Spectrophotomètre	
Etuve	
Balance	
Balance de précision (KERN Ew)	

Bain marie	
Agitateur (Stuart UC152)	
Vortex	

- **Réactifs et solvant**

L'eau distillée ; Méthanol (99,7%), Réactif de Folin-Ciocalteu, Acide gallique, Chlore ferrique FeCl_3 , HCl , Carbonate de sodium, Catéchine, morceau de Mg , solution de KOH , Iode (I_2), DMSO , Quercétine, AlCl_3 .

- **Préparation de la solution**

- Folin-Ciocalteu (10 fois dilué) : 1ml du réactif de Folin-Ciocalteu avec 9ml d'eau distillé.
- Carbonate de sodium Na_2CO_3 (7,5%) : 7,5g de carbonate de sodium avec 100ml d'eau distillé.
- Trichlorure d'aluminium AlCl_3 (2%) : 2g dans 100ml de Méthanol (99,7%).
- Solution DMSO à 10% : 10ml DMSO avec 90ml d'eau distillé.
- Solution FeCl_3 à 2% : 2g fer FeCl_3 avec 98ml de Méthanol (99,7%).

Annexe 3

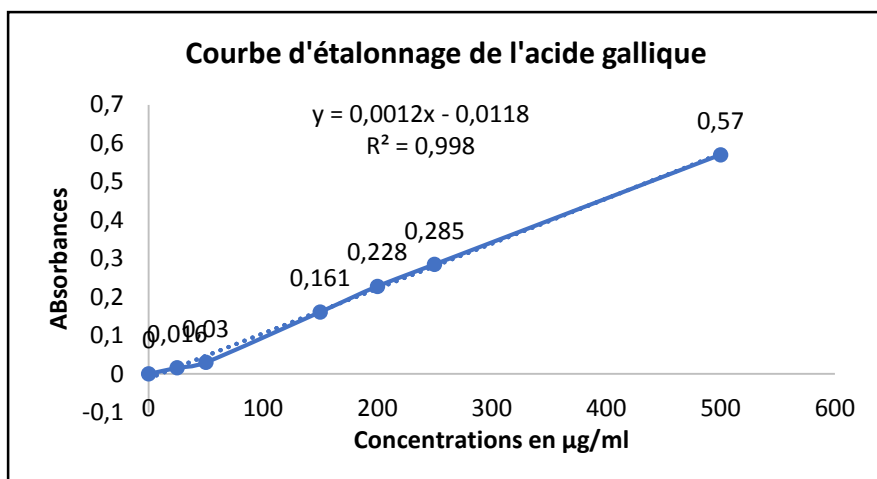


Figure 01. La courbe d'étalonnage de l'acide gallique.

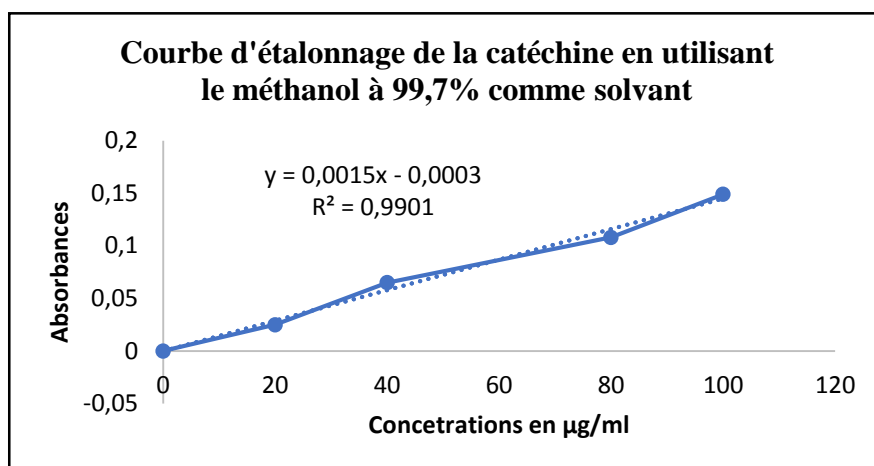


Figure02. La courbe d'étalonnage de la Catéchine.

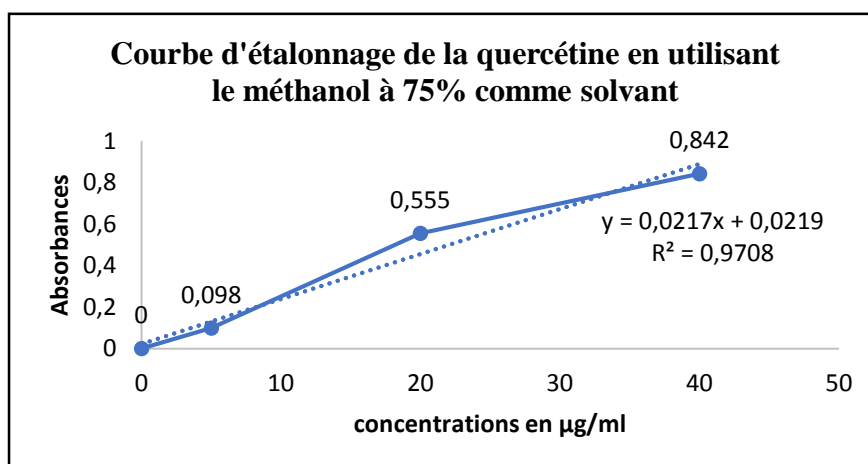


Figure03. La courbe d'étalonnage de la Quercétine.