

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

الجيلاد بونعامة خميس مليانة

Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences de la Matière



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention d'un diplôme de **Master** en Chimie

Spécialité: Chimie Pharmaceutique

Thème :

Etude de l'activité antibactérienne et anti oxydante de l'extrait des rhizomes de Curcuma (Curcuma longa)

Devant le jury composé de :

Examineur : HAMMOUDI Mounir

Examinatrice : HARICHANE Aliya

Encadreur: MEKHANEG Benyoucef

Présenté par :

M^{elle} Djebbour Bochra

M^{elle} Kadi Fatiha

Année universitaire : 2019/2020

Remerciements

Avant tout, nous remercions notre créateur « Allah » tout puissant qui nous avoir, donné la force, la santé et la volonté pour réaliser ce modeste travail et arriver à ce stade scientifique.

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement du Dr **B.MEKHANEG** , on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*Nous remercions l'ensemble des membres du jury pour avoir accepté de juger ce travail, notamment: Monsieur **M.Hammoudi** (Examineur) et Madame **A.Harichane** (Examinatrice).*

*Nos remerciements s'adressent à tous nos professeurs et enseignants du département de Chimie pharmaceutique de l'université Djilali Bounaama **KHEMIS MILIANA**, qui n'ont ménagé aucun effort pour nous avoir permis d'acquérir toutes ces connaissances durant les cinq années de notre formation.*

On tient à remercier nos parent sans eux on ne serait pas là, merci pour votre soutien le long de la route, merci de nous avoir encouragé et de nous avoir poussez à montrer notre mieux.

On tient à remercier tous nos amis pour leur support et leur encouragement spécialement khalida.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à toutes Les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Merci à toutes et à tous.

Dédicace

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut,
Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude l'amour,
Le respect, la reconnaissance...*

Je commence ma dédicace au nom du dieu et le salut sur Mohamed le messenger de dieu.

J'ai l'honneur de dédie ce modeste travail à :

A mes parents,

Sans qui je ne serai pas là aujourd'hui. Tout ce que j'ai accompli dans ma vie, c'est grâce à vous, à votre soutien, votre amour et vos sacrifices. Maman, Papa merci d'être la lumière dans ma vie, les étoiles de mon ciel je vous aime infiniment.

A mes chères frères (Maamar, Nour El Dinne, Ilyas et Hicham) et ma soeur Sanaa, pour leurs disponibilités, leurs soutiens moral, leurs encouragements incessants et pour leurs compréhension,et surtout leur amours.

A toute la famille Djebbour de près et de loin, un spéciale merci de votre soutien sans faille..

Spéciale dédicace à mon binôme et ma partenaire dans ce Mémoire :Fatiha qui a partagé avec moi les moments difficiles de ce travail.

A tous mes camarades de promotion de master II Chimie Pharmaceutique.

A tous ceux qui m'a appris un mot et à tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour savoir et pour sauver les autres.

A tous ceux qui m'ont aidé de près et de loin.

BOUCHRA

Dédicace

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail aux deux personnes les plus chères à mon cœur : mes parents qui m'ont encouragé dans le bonheur comme dans la douleur, qui ont été pour moi un soutien constant tout au long de mes années d'études.

À

Mes très chers frères ET SŒURS qui m'ont conseillé et aidé à atteindre mon but.

À

Toute ma famille qui m'a soutenu.

À

Mes meilleurs amis : bouchra, khalida

Tous mes amis et mes collègues de promotion et la promo de chimie pharmaceutique.

KADI FATIHA

Résumé

Curcuma longa L, est une plante utilisée et reconnue pour ses vertus thérapeutiques depuis l'antiquité en médecine traditionnelle. La recherche de nouvelles molécules comme substituant aux agents antioxydants ou antimicrobiens de synthèse est l'objectif de cette étude.

Le présent travail, est une étude comparative des travaux antérieurs, relatifs à la caractérisation et étude de l'activité Antioxydante et antibactérienne des huiles essentielles des extraits des rhizomes de *Curcuma Longa L* de la famille des Zingibéracées.

L'étude de l'activité antioxydante des extraits étudiés a été évaluée par la méthode de piégeage du radical libre DPPH. Les résultats ont montré que l'extrait méthanolique de *Curcuma longa L* exprime la meilleure activité DPPH, (99 % \pm 0.03), par rapport à celle de l'acide ascorbique (96 %). Et la curcumine est un excellent inhibiteur avec un pourcentage d'inhibition élevé (IC= 99.1%), elle est mieux que l'acide gallique (IC acide gallique= 92,6%). Pour l'extrait éthanolique de *Curcuma longa L* assez proche de celle BHT (95 %). Ces résultats indiquent que les rhizomes de *Curcuma Longa L* possèdent une activité antioxydante très importante.

L'activité antibactérienne, montre que, les souches testées (*Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Serratia* et *Escherichia coli*), ont une sensibilités aux extraits de *Curcuma Longa L*.

Mots clés : Activité antioxydante, Activité antimicrobienne, *Curcuma longa*, huiles essentielles.

Abstract:

Curcuma longa L, is a plant used and recognized for its therapeutic virtues since antiquity in traditional medicine. The search for new molecules as a substitute for antioxidant or synthetic antimicrobial agents is the objective of this study.

This work is a comparative study of previous work, relating to the characterization and study of the activity Antioxidant and antibacterial essential oils from extracts of the rhizomes of *Curcuma Longa L* from the Zingiberaceae family.

The study of the antioxidant activity of the extracts studied was evaluated by the DPPH free radical scavenging method. The results showed that the methanolic extract of *Curcuma longa L* expresses the best DPPH activity, ($99\% \pm 0.03$), compared to that of ascorbic acid (96%). And curcumin is an excellent inhibitor with a high percentage inhibition (CI = 99.1%), it is better than gallic acid (CI gallic acid = 92.6%). For the ethanolic extract of *Curcuma longa L* quite close to that of BHT (95%). These results indicate that the rhizomes of *Curcuma Longa L* have a very important antioxidant activity.

The antibacterial activity shows that the strains tested (*Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Serratia* and *Escherichia coli*) have sensitivity to extracts of *Curcuma Longa L*.

Keywords: Antioxidant activity, Antimicrobial activity, *Curcuma longa*, essential oils.

:

ركم الطويل، نبات يستخدم و بخصائصه العلاجية منذ العصور القديمة في الطب التقليدي. الهدف من هذه الدراسة هو البحث عن جزيئات جديدة كبديل لمضادات الأكسدة أو عوامل مضادات الميكروبات الاصطناعية.

العمل الحالي عبارة عن دراسة مقارنة لأعمال سابقة تتعلق بتوصيف ودراسة النشاط المضاد للأكسدة والبكتيريا للزيوت الأساسية من مقتطفات من جذور نبات كركم الطويل *Zingibéracées*.

تم تقييم دراسة النشاط المضاد للأكسدة للمستخلصات المدروسة بواسطة طريقة مسح الجذور الحرة DPPH. أظهرت النتائج أن المستخلص الميثانولي لمستخلص الكركم يعبر عن أفضل نشاط DPPH ($0.03 \pm 99\%$) بحمض الأسكوربيك (96%). والكرمين مثبت ممتاز مع نسبة عالية من التثبيط ($CI = 99.1\%$) ، فهو أفضل من حمض اليك ($92.6\% = CI$) . بالنسبة للمستخلص الإيثانولي من *Curcuma longa L* ، فهو قريب جدًا من BHT (95) تشير هذه النتائج إلى أن جذور نبات الكركم الطويل لها نشاط مهم جدًا .

يوضح النشاط المضاد للبكتيريا أن السلالات المختبرة (*Bacillus subtilis*, *Staphylococcus* ,

Serratia, *Escherichia coli*) لديها حساسية لمستخلصات الطويل.

الكلمات المفتاحية: بكتيريا الطويل، الزيوت الأساسية .

Table des matières

Introduction générale	01
------------------------------------	----

Chapitre I

Généralité sur les plantes médicinales et Curcuma

I.1 Historique.....	03
I.2 Définition des plantes médicinales.....	03
I.3 Domaines d'application des plantes médicinales.....	03
.3.1 Utilisation en médecine.....	04
.3.2 Utilisations en alimentation.....	04
.3.3 Utilisation en cosmétique.....	04
.3.4 Utilisation en industrie chimique et pharmaceutique.....	04
.4 Le Curcuma : Présentation de la plante étudiée.....	05
.4.1 Etymologie.....	05
.4.2 Historique.....	06
.4.3 Taxonomie.....	08
.4.4 Caractère botanique	09
I.4.5 Culture et Récolte.....	09
I.4.5.1 Culture.....	09
I.4.5.2 Récolte	10
.4.6 Composition chimique.....	10
I.4.7 Propriétés chimiques	12
I.5 Propriété pharmacologique de curcuma.....	12
I.6 Utilisation.....	13
I.6.1 Colorant.....	13
I.6.2 En cosmétique.....	13
I.6.3 Anticorrosion.....	13

Table des matières

Chapitre : Les procédés d'extraction

II.1 Historique.....	15
II.2 Définition des huiles essentielles	15
II.3 Composition chimique de HE.....	16
II.4 Intérêts thérapeutiques.....	16
II.5 Les procédés d'extraction.....	17
II.5.1 Extraction par hydro distillation.....	17
II.5.2 Entraînement à la vapeur d'eau (ou vapo-hydro distillation).....	18
II.5.3 L'extraction par les solvants organique.....	18
II.5.4 L'expression à froid.....	20
II.5.5 Extraction par appareillage soxhlet.....	20
II.5.6 L'extraction assistée par micro-onde.....	21
II.5.7 La macération.....	22
II.5.8 L'extraction par CO2 supercritique.....	23

Chapitre III. Activités biologiques des huiles essentielles

III.1.L'activité antibactérienne.....	25
III.1.1.Introduction.....	25
III.1.2. Les huiles essentielles.....	25
III.1.3. Activité antibactérienne.....	26
III.1.4. Mode d'action des huiles essentielles.....	27
III.1.4.1.Lyse de la paroi bactérienne.....	27
III.1.4.2.Inhibition de l'adhésion aux cellules hôte.....	27
III.1.4.3.Disfonctionnement de la membrane cytoplasmique.....	27
III.1.4.4.Inhibition de la production de toxine.....	27
III.1.4.5.Mode d'action contre l'ATP.....	28
III.1.5. Notion du bactériostatique et du bactéricide.....	28
III.1.5.1.L'effet bactéricide.....	29

Table des matières

III.1.5.2. L'effet bactériostatique.....	29
III.1.5.3. Méthode de micro-dilution en milieu liquide.....	29
III.1.5.4. Caractère bactéricide et bactériostatique.....	29
III.1.6. Souches bactériennes :	29
III.1.7. Méthode d'évaluation de l'activité antibactérienne.....	31
III.1.7.1. Aromatogramme.....	31
III.1.7.2. Méthode de diffusion en puits.....	32
III.1.7.3. Méthode de dilution.....	32
III.1.8. Les principales substances antimicrobiennes.....	33
III.1.8.1. Les polyphénols.....	33
III.1.8.2. Les antibiotiques.....	33
III.2. Activité antioxydante :	34
III.2.1. Introduction.....	34
III.2.2. Définition.....	35
III.2.3. Mécanismes d'action des antioxydants.....	35
III.2.4. Principaux antioxydantes et leurs caractéristiques.....	36
III.2.4.1. Les antioxydants endogènes (enzymatiques)	36
III.2.4.1.1. La Superoxyde dismutase (SOD)	36
III.2.4.1.2. La catalas:.....	37
III.2.4.1.3. La Glutathion peroxydase (GPx) et la Glutathion réductase (GR).....	37
III.2.4.2. Les antioxydants exogènes (non enzymatiques)	38
III.2.4.2.1. La Vitamine C.....	38
III.2.4.2.2. La vitamine E.....	39
III.2.5. antioxydants de référence.....	40
III.2.5.1. L'hydroxytoluène butylé ou BHT.....	40

Table des matières

III.2.5.2.Le β -carotène.....	41
III.2.6.Stress et Radicaux libres.....	41
III.2.6.1.Définition du stress oxydant.....	41
III.2.6.2.Radicaux libres.....	42
III.2.7.Méthodes d'évaluation de l'activité antioxydante et anti radicalaire.....	43
III.2.7.1.Test de pouvoir réducteur (FRAP)	44
III.2.7.2.Test d'activité anti-radicalaire (DPPH)	44
III.2.7.3.Test de blanchissement de β -carotène / acide linoléique.....	45

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Introduction.....	46
IV.2. Détermination du taux d'humidité.....	46
IV.3.Rendement de l'extraction.....	47
IV.3.1.Extraction d'oléorésine.....	47
IV.3.2.Extraction de l'huile essentielle.....	47
IV.3.3.Extraction de curcuminoïde.....	48
IV.3.4.Extraction de curcumine.....	48
IV.4. Caractères organoleptique de l'huile essentielle.....	49
IV.5.Les caractéristiques physico-chimiques.....	50
IV.5.1.Point de fusion.....	50
IV.5.2. Solubilité de la Curcumine.....	50
IV.5.3. Caractérisation quantitative et qualitative des extraits.....	51
IV.5.3.1.Teneur en polyphénols totaux de <i>curcuma longa</i>	51
IV.5.3.2. Teneur en flavonoïdes de <i>curcuma longa</i>	52
IV.5.3.3.Analyse de l'huile essentielle du curcuma par GC-MS.....	52
IV.5.3.4. spectroscopie infrarouge IR.....	53
IV.5.4.Etude des activités biologiques.....	53
IV.5.4.1. l'activité antioxydant.....	53

Table des matières

IV.5.4.2. L'étude de l'activité antibactérienne.....	56
Conclusion générale.....	63

Introduction générale

Durant des milliers d'années, la phytothérapie a constitué la principale source de remèdes contre de nombreuses maladies. Aujourd'hui, elle est abondamment utilisée avec succès dans le monde par des millions d'êtres humains pour qui la médecine occidentale reste en grande partie inaccessible [1].

La phytothérapie est de guérir par les plantes médicinales, elle est aussi la connaissance et l'utilisation de leurs propriétés thérapeutiques [2], Son efficacité est prouvée et elle est toujours vue comme un remède surtout utilisé à travers le monde par la population [3], la Phytothérapie apparaît d'autre part comme la réponse idéale aux "maladies du siècle" qui caractérisent nos sociétés, comme le stress, la perte du sommeil ou la prise de poids [4].

L'utilisation des plantes en phytothérapie est très ancienne et connaît actuellement une région d'intérêt auprès du public, selon l'Organisation Mondiale de la Santé OMS, (2003), environ 65-80% de la population mondiale à recours au médecine traditionnelle pour satisfaire ses besoins en soins de santé primaire, en raison de la pauvreté et du manque d'accès à la médecine moderne [5].

Cette matière végétale contient un grand nombre de molécules qui ont des intérêts multiples mis à profit dans l'industrie alimentaire, en cosmétologie et en pharmacie. Les plantes médicinales sont donc importantes pour la recherche pharmaceutique et l'élaboration des médicaments, directement comme agents thérapeutiques, mais aussi comme matière première pour la synthèse des médicaments ou comme model pour les composés pharmaceutiquement actifs [6].

Le curcuma, est une plante vivace appartenant à la famille de *Zingiberaceae*. Il est cultivé sous les tropiques, mais l'essentiel de la production se fait en Inde et en Asie du Sud-est. Le rhizome est la partie utilisée de la plante. Le rhizome réduit en poudre est utilisé en tant qu'épice alimentaire pour renforcer la saveur des aliments et les conserver, et comme colorant des aliments et des textiles. Cependant, on l'utilise aussi depuis des siècles en médecine traditionnelle indienne et chinoise. La poudre a une saveur poivrée et amère.

La couleur jaune caractéristique de la poudre de rhizome est donnée par les curcuminoïdes. Parmi ceux-ci, la curcumine est la molécule la plus abondante et la plus

Introduction générale

étudiée. Elle a été isolée pour la première fois en 1815 et obtenue sous forme cristalline en 1870 [7].

Il est utilisé aussi en médecine ayurvédique, pour traiter l'asthme, les allergies, les désordres hépatiques comme la jaunisse, l'anorexie, les rhumatismes, le rhume, la sinusite. En médecine traditionnelle chinoise, il est utilisé pour traiter les douleurs abdominales, Il est également reconnu pour ses propriétés anti inflammatoires, Antibactérienne [8].

La curcumine, est le principe actif de plusieurs curcumas, d'autres Zingiberaceae. Il présente un grand nombre de propriétés pharmacologiques remarquables. Elle est très bien tolérée, la curcumine donne lieu à des travaux de pharmaco modulation et de formulation, visant à améliorer son efficacité et sa biodisponibilité [9].

L'objectif de notre travail est l'étude comparative des travaux antérieurs relatifs à l'activité anti-oxydante et antibactérienne des extraits de *Curcuma longa*, ainsi que leurs cratérisation.

Notre présent travail est divisé en trois chapitres

- Le premier chapitre est l'étude bibliographique sur les plantes médicinales *Curcuma longa*.
- Le deuxième chapitre est consacré aux procédés d'extractions des huiles essentielles.
- Le troisième chapitre est étude et discussion approfondie des résultats des travaux antérieurs, relatifs à l'activité antibactérienne et antioxydante des huiles essentiels de *Curcuma longa*.

Le manuscrit est achevé par une conclusion générale qui résumera l'ensemble des résultats.

Chapitre I : Généralités sur les plantes médicinales

I.1 Historique

Les plantes médicinales ont été employées pendant des siècles comme remède pour les maladies humaines, parce qu'elles contiennent des composants de valeurs thérapeutiques (elles contiennent des principes actifs qui agissent directement sur l'organisme .On les utilise aussi bien en médecine classique qu'en phytothérapie)[1].

Depuis toujours les plantes ont constitué la source majeure de médicaments grâce à leur richesse de ce qu'on appelle les métabolismes secondaires. Cependant, l'homme n'a découvert les vertus bénéfiques des plantes que par une approche progressive, facilitée par l'organisation des rapports sociaux, en particulier à partir de néolithique (8000 ans av .J.C).

L'observation liée à l'expérience et la transmission des informations glanées au cours du temps font que certains hommes deviennent capables de poser un diagnostic, de retrouver la plante qui soigne et finalement de guérir le malade [2].

I.2 Définition des plantes médicinales :

La phytothérapie vient du grec et signifie « soigner par les plantes ». Elle repose en partie sur une pratique traditionnelle, fondée sur l'utilisation ancestrale et locale des plantes. Les plantes médicinales sont des drogues végétales dont au moins une partie possède des propriétés médicamenteuses [3], Les plantes médicinales renferment de nombreux principes actifs (plus de 250) qui ont des activités thérapeutiques complémentaires ou synergiques.

Ces principes actifs ont été étudiés et reproduits chimiquement pour être incorporés de nos jours dans de nombreux médicaments [4], entre 20.000 et 25.000 plantes sont utilisées dans la pharmacopée humaine 75% des médicaments ont une origine végétale et 25% d'entre eux contiennent au moins une molécule active d'origine végétale.

I.3 Domaines d'application des plantes médicinales :

Les substances naturelles issues des végétaux ont des intérêts multiples mis à profit dans l'industrie en alimentation, en cosmétologie et en pharmacie .Parmi ces composés on retrouve dans une grande mesure les métabolites secondaires qui se sont surtout illustrés en thérapeutique ,La pharmacie utilise encore une proportion de médicaments d'origine

Généralités sur les plantes médicinales

végétale et la recherche trouve chez les plantes des molécules actives nouvelles, ou des matières premières pour la semi-synthèse [5], Il y a donc réveil vers un intérêt progressif dans l'utilisation des plantes médicinales dans les pays développés comme dans les pays en voie de développement, parce que les herbes fines guérissent sans effets secondaires défavorables. Ainsi, une recherche de nouvelles drogues est un choix normal [6].

I.3.1 Utilisation en médecine

- ❖ En urologie, dermatologie, gastrite, toux, ulcère d'estomac, laxatif, et désordre Nerveux [7].
- ❖ Système cardiovasculaire [8].
- ❖ Drogues immunostimulantes, antispasmodique, et anti-inflammatoire.
- ❖ Contre le diabète (azadirachtaindica) [9].
- ❖ Les maladies du stress, des activités antioxydants ; tel que le thé noir, le thé vert et le cacao sont riche en composés phénolique [10].
- ❖ Activités antimicrobienne, antivirale, antiparasitaire : les produits naturels des plantes de puis des périodes très anciennes ont joué un rôle important dans la découverte de nouveau agent thérapeutique exemple : la quinine obtenu à partir du quinquina a été employée avec succès pour traiter la malaria [11].

I.3.2 Utilisations en alimentation

Assaisonnement, des boissons, des colorants et des composés aromatiques. Les épices et les herbes aromatique utilisées dans l'alimentation sont pour une bonne part responsable du plaisir de table [7, 12-13].

I.3.3 Utilisation en cosmétique

Des produits de beauté, parfums et article de toilette, produits d'hygiène [12].

I.3.4 Utilisation en industrie chimique et pharmaceutique

Les plantes médicinales sont très importantes comme plantes économiques, elles contiennent des principes actifs utilisés dans le traitement de diverses maladies, après leur isolement, et on peut aussi les employer dans les industries pharmaceutiques, alimentaires, des cosmétiques et des parfums. La production des médicaments nécessite de grandes quantités de plantes médicinales (matière première) ; donc la culture de ces dernières doit être à grand échelle. Aujourd'hui les préparations pharmaceutiques dans le monde utilisent environ 300 espèces de plantes médicinales et aromatiques. En plus les plantes sont utilisées généralement en tisanes, extraits et teintures [14], Parmi les derniers médicaments obtenus à partir des plantes, on trouve le Taxol. L'artémisinine, substance isolée d'une armoise chinoise

Généralités sur les plantes médicinales

(*Artemisia annua*, Asteraceae) est utilisée dans le traitement des formes résistantes de la malaria. On peut encore citer la galanthamine, obtenue de la perce-neige (*Galanthus nivalis*, Amaryllidacées) utilisée depuis peu dans le traitement de la maladie d'Alzheimer [14].

I.4 Le Curcuma : Présentation de la plante étudiée

Le curcuma (*Curcuma longa*), un aliment de base de l'allée supermarché d'épices, a été en usage depuis des millénaires. Depuis les temps anciens, ce rhizome a servi comme assaisonnement, colorant alimentaire, de la médecine et de teinture textile.

I.4.1 Étymologie

Le terme de curcuma est d'origine irano-indienne. Il dérive du sanscrit *kartouma* qui a donné *kurkum* en persan ancien, en arabe et curcuma en latin [15].

C'est sous cette dernière forme qu'il est passé dans les langues européennes, le « c » se transformant parfois en « k » dans les langues germaniques, à l'exception de l'anglais qui le désigne sous le nom de *turmeric*. C'est d'ailleurs la langue anglaise qui a conservé l'origine de son appellation en latin médiéval, *terra merita* (terre mérite) par le mot "*turmeric*". On trouve dans les langues européennes deux racines pour le Curcuma Racine majoritaire "Kurkuma" et minoritaire "Turmerik" [16] (Figure .1).

Généralités sur les plantes médicinales

Son emploi, en Asie, en Afrique et au Proche et Moyen-Orient, remonte à plus de 4000 Ans ; Dès cette époque, le curcuma est utilisé en tant qu'épice, mais aussi comme agent de coloration de plusieurs aliments, tels que le cari et la moutarde, de même que dans la production des cosmétiques, des teintures et des médicaments[19]. Le curcuma serait connu en Chine depuis très longtemps puisque le plus vieux traité de médecine chinoise le PEN-TSAO de Sheng Nung écrit vers 2600 av J.-C., le mentionne dans le traitement des douleurs rhumatoïdes[20].

En médecine traditionnelle chinoise, il est utilisé pour ses propriétés analgésiques en cas de douleurs thoraciques et abdominales, d'aménorrhée, comme antalgique, contre les hémorragies du post-partum et pour améliorer la circulation sanguine [21], Les Chinois ont utilisé ces plantes pour faire du colorant jaune.

En Europe, le curcuma ne prouve pas une épice aussi populaire que le gingembre et autres importations de n'est, mais a été évalué plus comme colorant alimentaire et textile colorant. Le curcuma, épice bien connue des aficionados de la cuisine indienne, l'est moins pour ses vertus médicinales. Et pourtant, il s'agit d'un remède utilisé depuis des temps très anciens dans le traitement de l'arthrite et des troubles digestifs [22].

L'usage du curcuma en Inde serait apparu en tant que substitut des safran et autres poudres jaunes apportées par les anciens aryens lorsqu'ils envahirent cette partie du continent asiatique vers 2000 av J.-C [23].

Du monde asiatique, il passe par la voie commerciale en Grèce. Dioscorides, médecin hellène devenu militaire romain et praticien réputé à Rome, décrit la curieuse drogue comme *kupeirosex India: cyperus* (ou souchet) des Indes ; l'intense couleur jaune lui fait croire à tort à des propriétés identiques à celles du Safran. Une grande confusion de termes s'installera, au cours du moyen âge, tandis que les marchands arabes introduisent largement ce curieux produit.

Ainsi au XVIIIe siècle P.Pomet écrira : « La terra merita que quelques-uns appellent curcuma et d'autres Safran ou Souchet des Indes, ou de Malabar ou de Babylone, est une

Généralités sur les plantes médicinales

racine presque semblable au gingembre » [15]. Vers 1450, il figure sur la liste des produits exotiques transitant par Francfort, à côté de la zédoaire et du gingembre [24].

Une indication du prix est trouvée dans le tarif du 18 septembre 1664 : « *terra méritaou Culcuma*, le cent payera 40 sous » [15]. Le tarif douanier de 1664 établit une protection des Productions nationales, l'utilité économique des droits de douane étant perçue à cette époque Comme un moyen d'encourager le commerce et de protéger les manufactures nationales. Nicolas Léméry, médecin et chimiste français, estime cette *terra mérita* « apéritive, détersive, propre pour lever les obstructions du foie, de la ratte, pour exciter l'urine et les mois aux femmes, pour la jaunisse, pour la pierre, pour la néphrétique » dans le dictionnaire ou traité universel des drogues simples de 1716 [15].

I.4.3 Taxonomie :

Curcuma longa appartient: Règne: plantae
Sous-règne : Tracheobionta
Division: magnoliophyta
Classe: lilopsida
Sous-classe: Zingiberidae
Ordre: Zingiberales Famille: Zingiberaceae
Genre: curcuma
Espèce : *Curcuma longa*
Noms vernaculaires: curcuma, safran indien, souchet des indes, safran bourbon [25].

Le genre *Curcuma* regroupe de nombreuses espèces ornementales, tandis que d'autres se sont démarquées par l'utilisation de leur rhizome, aux propriétés culinaires et médicinales [20].

133 espèces ont été identifiées à travers le monde, les plus importantes sont *Curcuma amada*, *Curcuma angustifolia*, *Curcuma aromatica*, *Curcuma caesia* et - *Curcuma zedoaria*. *Curcuma longa* L est l'espèce la plus utilisée de nos jours, et donc la plus étudiée [26].

I.4.4 Caractère botanique

Curcuma longa L est une plante herbacée vivace, appartenant à la famille des Zingibéracées, connu surtout pour ses rhizomes aromatique, cylindrique ou ellipsoïdes, à la couleur de l'or jaune qui émettent tous les ans des tubercules et tiges aériennes [22].

La plante se dresse sur une hauteur de 60 à 100 cm de haut. ses grandes feuilles alternées oblongues sont disposées sur deux rangées, et peuvent s'étaler jusqu'à 50 cm de long et 25cm de large. Elle porte également un épis de 20 cm de haut ,au sommet duquel se placent des bractées de couleur blanche à vert clair ,parfois teintées de pourpre sur les pointes. Ses petites fleurs hermaphrodites sont zygomorphes-autrement dit dotées d'une symétrie bilatérale-et stériles .le bouturage des rhizomes est le seul mode de reproduction et de multiplication de ce végétal[22],[Les rhizomes représentent la partie consommée comme épice. Une odeur aromatique se dégage après section du rhizome][16] (figure I.2).

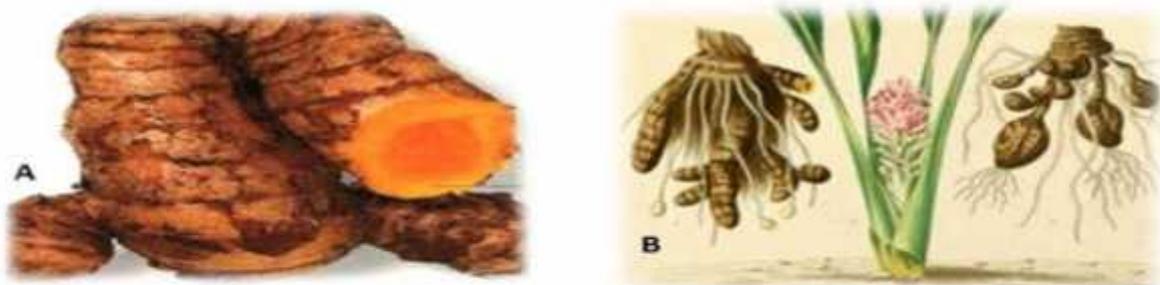


Figure .2 :(A) Rhizome frais de *Curcuma longa* [22], (B) aspect de la partie aérienne [23].

I.4.5 Culture et Récolte:

I.4.5.1 Culture :

La germination des plants de curcuma est achevée en deux à quatre semaines après quoi intervient une période de croissance végétative active. Les rhizomes continuent de se développer activement pendant à peu près sept à dix mois, en fonction du cultivar et des conditions climatiques ; puis les feuilles inférieures jaunissent et la récolte est prête à être arrachée [28].

Le curcuma demande un climat humide et chaud. Il peut être cultivé dans la plupart des régions tropicales et subtropicales pourvu que les précipitations soient suffisantes (1000-2000mm) ou que l'on puisse irriguer. Des précipitations de 1200 à 1400 mm bien réparties sur cent à cent-vingt jours sont idéales. La culture a été étendue à des régions où les précipitations dépassent 2000 mm. Le curcuma est cultivé jusqu'à 1200 m d'altitude sur les contreforts de l'Himalaya mais il pousse mieux à des altitudes comprises entre 450 et 900 m [28].

Les températures optimales sont de 30 à 35°C pendant le démarrage.

Généralités sur les plantes médicinales

Le curcuma pousse sur divers types de sol, mais préfère des limons fertiles ou argileux, bien drainés, meubles et friables, riches en matières organiques, et de pH 5 à 7,5. Il ne supporte pas l'asphyxie racinaire ou les sols alcalins. Des sols graveleux, pierreux et lourds ne conviennent pas au développement des rhizomes [28]. Affectionnant l'ombre, il vient bien à mi-ombre et peut être cultivé sous des arbres fruitiers [28].

Au cours de la croissance de la plante, un apport d'engrais, composé d'Azote, de Phosphore et de Potasse est bénéfique pour un bon rendement. Très souvent, les cultivateurs coupent l'inflorescence pour favoriser la production du rhizome [29].

I.4.5.2 Récolte

Le Curcuma est prêt à être récolté sept à dix mois voire douze mois après la plantation lorsque les feuilles inférieures jaunissent. La récolte se fait en retournant la terre. Il faut faire attention à ne pas abîmer les rhizomes et s'assurer que l'on arrache toute la touffe en même temps que la plante sèche. On coupe alors les sommités feuillées, on retire les racines et la terre qui y est attachée, puis on lave soigneusement les rhizomes. Les doigts sont séparés du rhizome mère. Quelques rhizomes peuvent être utilisés frais et, à l'exception de ceux qui sont nécessaires à la replantation, le reste est séché [28].

I.4.6 composition chimique:

Le rhizome de curcuma contient :

❖ Constituants banaux :

- De l'eau : 8 à 10 % en moyenne
- Le taux d'humidité peut atteindre 13 % suivant la méthode de séchage employée [30]
- De l'amidon : 40 à 50 %
- Des matières minérales : 6 à 8 %
- Des protéines : 6 à 10 %
- Des dérivés polysaccharidique
- De la cellulose : 4,4 à 5,8 %
- Des lipides : acide caproïque

❖ Huiles essentielles :

Les rhizomes sèche du *curcuma longa* produisent 2 à 7% d'huile essentielle de nature terpénique, qui est rouge orangé et légèrement fluorescente. Une odeur poivrée et aromatique avec un goût piquant et brûlant [31].

Par distillation à la vapeur d'eau révèle la présence de 43 composés avec la prédominance de l'arturmérone, α -turmérone et α -phellandrène. L'HE du curcuma contient majoritairement des sesquiterpènes oxygénés (60 % de l'HE) dont les turmérone, ainsi que de petites quantités d'hydrocarbures sesquiterpéniques (zingibérène, 3-sesqui-phellandrène) et de monoterpènes (1 %) (1,8-cinéole, u et 3-phellandrène, terpinènes) [31].

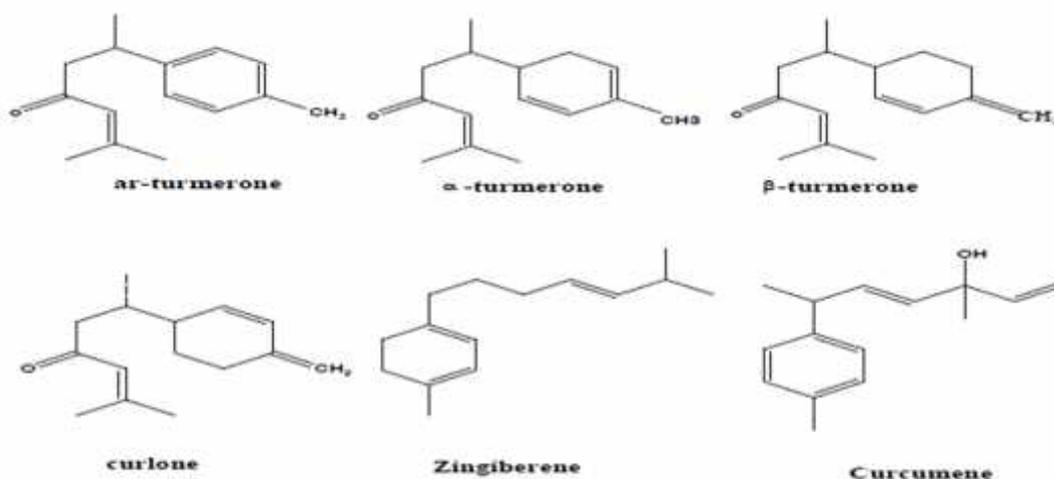


Figure .3 : Structure chimique des principaux constituants de l'huile essentielle de curcuma [47].

❖ Composés phénoliques (les curcuminoides) :

L'extraction du rhizome à l'alcool éthylique, à l'acétone ou au chlorure de méthylène donne 6 à 10% d'oléorésine, qui contient 35 à 45% de curcumine et de ses dérivés, la déméthoxycurcumine et la bisdéméthoxycurcumine, connues sous le nom collectif de curcuminoides, Ce sont des composés actifs non-volatils donnent au curcuma sa couleur jaune orangé si caractéristique, alors que l'huile essentielle lui confère son arôme et sa saveur typiques [28].

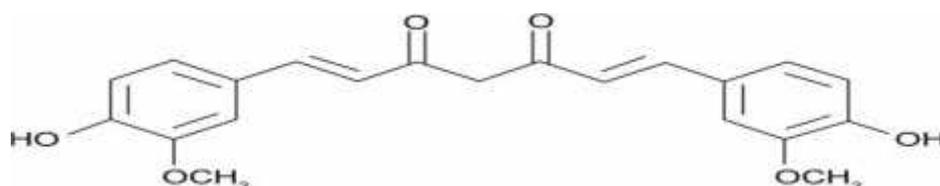


Figure .4: Structure chimique de la curcumine [31].

I.4.7 propriétés chimiques :

La curcumine a été isolé pour la première fois en 1815 et obtenue dans la forme cristalline en 1870, En 1910, le squelette féruloylméthane de la curcumine a été confirmé et synthétisé par Lampe [32].

La curcumine est une poudre jaune-orange qui est insoluble dans l'eau et l'éther mais soluble dans l'éthanol, le diméthylsulfoxyde et l'acétone. La curcumine possède un point de fusion de 183°C, une formule moléculaire $C_{21}H_{20}O_6$, et un poids moléculaire de 368,37 g/mol. Le maximum d'absorption dans le méthanol en spectrophotométrie se situe à 430 nm et dans l'acétone à 415-420 nm [33], Une solution de curcumine à 1% contient 1650 unités d'absorbance, La couleur de la curcumine est jaune brillante à pH acide et rouge à pH alcalin La curcumine existe sous forme énolique et -dicétonique Le fait que la forme énolique prédomine en solution a un important rapport avec la capacité de la curcumine à capter les radicaux libres [34].

I.5. Propriété pharmacologique de curcuma :

Le curcuma est décrit dans les traités de médecine arabes où on préconise son emploi pour le soin de bien des maux.

Le rhizome riche en huile essentielle est anti-inflammatoire (Le pouvoir anti-inflammatoire du curcuma est clairement relié a son effet antioxydant .de nombreux mécanismes ont été invoqués pour expliquer cet effet : l'inhibition du métabolisme de l'acide arachidonique et donc de la synthèse des prostaglandines ,l'inhibition de l'accroissement de l'activité des enzymes lysosomiales , l'interférence avec la réponse des granulocytes aux stimulus liés au processus inflammatoire , l'inhibition de la formation d'oxyde nitrique , l'inhibition phospholipases spécifiques) , anti radicalaire (sont particulièrement efficaces comme piègeurs de radicaux libres [40], elles accroissent les activités des enzymes qui détruisent les ions superoxyde O_2^- et qui protègent les érythrocytes contre les peroxydes (superoxydedismutase, glutathion peroxydase, glutathion réductase, glucose-6-phosphate déhydrogénase, catalase) La peroxydation lipidique, induite par le nitrilotriacétate ferrique (Fe-NTA) ou l'eau oxygénée, est également fortement inhibée par la curcumine) [43], Et aussi un antiseptique, analgique, le curcuma possède également des propriétés antibactériennes. C'est en effet une bactéricide efficace vis-à-vis de staphylococcus aureus, d'Enterococcusfaecalis, d'Escherichiacoli, ainsi que vis-à-vis de pseudomonasaerusigosa. anticoagulant et fluidifiant sanguin et pour le soin des ulcères et de l'acidité gastrique, des

affections du foie, de l'hypertension, des rhumatismes et des douleurs articulaires Il augmente les sécrétions biliaires et a une action protectrice sur l'estomac et le foie [53].

I .6 utilisation:

I .6.1 Colorant

Le rhizome de *Curcuma longa* L. a été reconnu comme non toxique pour une utilisation en tant qu'épice, assaisonnement et arôme [35].

L'encapsulation de la curcumine sèche avec des mélanges alimentaires secs dans un revêtement soluble dans l'eau permet d'opérer indépendamment du pH (par exemple, en combinant physiquement la curcumine avec un acide). Ce produit est alors convenable pour colorer des puddings ou des sauces instantanées, Dans l'industrie alimentaire, on la retrouve dans la composition de certaines préparations sous la référence E100. Elle sert notamment de colorant pour des boissons, sauces, moutardes, beurres et même fromages. Utilisée à petite dose, elle colore sans forcément donner de goût [36].

I .6.2 En cosmétique

Le curcuma est également intéressant en cosmétique. Cette épice est excellente pour la peau et peut être intégrée à notre routine beauté en usage externe. Riche en antioxydant, elle va nous aider à chouchouter notre peau, dans un masque régénérateur ou en cataplasme par exemple, à limiter le vieillissement cellulaire tout en agissant comme un soin douceur. Mais loin d'être seulement anti-âge, elle est également utilisée en poudre ou sous forme d'huile pour soulager l'acné, les blessures, soigner le psoriasis, les champignons ou encore la sclérodermie [22].

I.6.3 Anticorrosion

Curcuma a été utilisé avec succès comme inhibiteurs de corrosion verts pour de nombreux métaux [37,38],Curcuma a été utilisé comme inhibiteur de corrosion vert l'aluminium [39]et un inhibiteur de l'Al commercial dans la solution de pores de béton simulée [40],De plus, l'inhibition de la corrosion de l'acier C et de l'acier par un extrait aqueux de Curcuma s'est révélée efficace [41,38],L'efficacité d'inhibition d'un extrait aqueux de la poudre de rhizome de plante (*Curcuma longa* L.) a été utilisée comme inhibiteur de corrosion dans la lutte contre la corrosion de l'acier au carbone dans l'eau de mer par l'étude de perte de poids de Zn^{2+} . La curcumine est le constituant principal de cet extrait de plante. Les résultats montrent que 93% est fourni par un système binaire composé de 10 ml de colorant de curcumine et de 50 ppm de

Généralités sur les plantes médicinales

Zn^{2+} révèle que le colorant de curcumine et le système Zn^{2+} fonctionnent comme des inhibiteurs de type mixte [42].

Chapitre II

Les procédés d'extraction des huiles essentielles

II.1 Historique :

Beaucoup d'indices nous prouvent que l'utilisation d'huiles essentielles remonte au début de l'histoire humaine: des alambics (appareil qui exploite les propriétés des différences de température d'évaporation des matières) datant de 7000 ans, des écrits égyptiens vieux de plus de 3500 ans, etc. Bien que nous ne connaissions pas exactement l'origine de l'emploi des huiles qu'on leur trouvait il y a plusieurs milliers d'années, il est certain que ces peuples anciens avaient trouvé les multiples utilités des huiles essentielles. Il y a plus d'un siècle, les huiles essentielles étaient presque uniquement réservées à la fabrication de parfums et de tout autre produit aromatique. Depuis plusieurs années, nous découvrons les diverses propriétés thérapeutiques des huiles essentielles. La médecine douce et les techniques de relaxation emploient les huiles et leurs arômes pour le traitement de plusieurs conditions comme le stress, l'insomnie, etc. La médecine traditionnelle aussi se penche de plus en plus vers les huiles essentielles en solution ou en inhalateur pour améliorer la qualité de vie des patients par l'aromathérapie (comme mentionné plus haut). Il est certain que l'utilisation des huiles essentielles n'en est qu'à ses débuts et que d'ici quelques années, elle sera omniprésente sur le marché [53] [44] [39].

II.2 Définition des huiles essentielles:

Les huiles essentielles sont définies comme toute huile volatile qu'ont des composants aromatiques solides et qui donnent une odeur distinctive, la saveur ou l'odeur d'une plante. Ce sont les sous-produits du métabolisme des plantes et sont communément appelés métabolites secondaires. Les huiles essentielles se trouvent dans les poils glandulaires ou des cavités sécrétoires de paroi cellulaire végétale et sont présents sous forme de gouttelettes de liquide dans les feuilles, les tiges, écorces, fleurs, racines et / ou de fruits dans des plantes différentes. Les caractéristiques aromatiques des huiles essentielles fournissent diverses fonctions pour les plantes [37].

Les procédés d'extraction des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des mélanges de nombreux composés qui sont des molécules peu complexes comme les terpènes, les phénols, les méthyle-éthers, les oxydes, les esters, les cétones....etc [37].

Les huiles essentielles extraites des plantes par distillation comptent parmi les plus importants principes actifs des plantes. Les huiles essentielles contenues telles quelles dans les plantes sont des composés oxygénés, parfois d'origine terpénoïde et possédant un noyau aromatique[14].

II.3 Composition chimique de HE:

La cellule végétale est le siège de la biosynthèse des composés fondamentaux de la matière vivante. Certaines cellules prennent en charge ces biosynthèses et également le stockage des métabolites formés. Il s'agit là de tout un ensemble de réactions biochimiques participant à la vie des plantes : respiration, photosynthèse.....etc [40].

Il en résulte que les huiles essentielles, constituées des mélanges complexes de composés organiques, possèdent des structures et des fonctions chimiques très diverses [30]. Ces constituants appartiennent, de façon quasi exclusive, à deux groupes caractérisés par des origines biogénétiques distinctes : le groupe des terpénoïdes (isopréniques, mono terpènes, les sesquiterpènes, les di terpènes et les tri terpènes) [10][43], d'une part et le groupe des composés aromatiques dérivés du phénylpropane, beaucoup moins fréquents, d'autre part. Elles peuvent également renfermer divers produits issus de processus dégradatifs mettant en jeu des constituants non volatils [10].

II.4 Intérêts thérapeutiques:

Les huiles essentielles produites par les plantes ont été traditionnellement utilisées pour les infections des voies respiratoires. Dans le domaine de médicaments, la thérapie par inhalation d'huiles essentielles a été utilisée pour traiter la bronchite aiguë et chronique et sinusite aiguë. L'inhalation de vapeurs d'huiles essentielles a augmenté la production de fluide des voies respiratoires, maintenu la ventilation et le drainage des sinus, avait un effet anti-inflammatoire effet sur la trachée et la réduction de l'asthme.

Sont connues huiles essentielles possèdent une activité antimicrobienne, qui a été évalué principalement en milieu liquide [40].

II.5 Les procédés d'extraction :

Il existe plusieurs méthodes pour extraire les huiles essentielles. Les principales sont basées sur l'entraînement à la vapeur, l'expression, la solubilité et la volatilité. Le choix de la méthode la mieux adaptée se fait en fonction de la nature de la matière végétale à traiter, des caractéristiques physico-chimiques de l'essence à extraire, de l'usage de l'extrait et l'arôme du départ au cours de l'extraction. Il existe plusieurs méthodes d'extraction dont voici les principales:

II.5.1Extraction par hydro-distillation:

Il s'agit de la méthode la plus simple et de ce faite-là plus anciennement utilisée. Le matériel végétal est immergé directement dans un alambic rempli d'eau placé sur une source de chaleur. Le tout est ensuite porté à ébullition. Les vapeurs hétérogènes sont condensées dans un réfrigérant et l'huile essentielle se sépare de l'hydrolat par simple différence de densité. L'huile essentielle étant plus légère que l'eau (sauf quelques rares exceptions), elle surnage au-dessus de l'hydrolat [54].

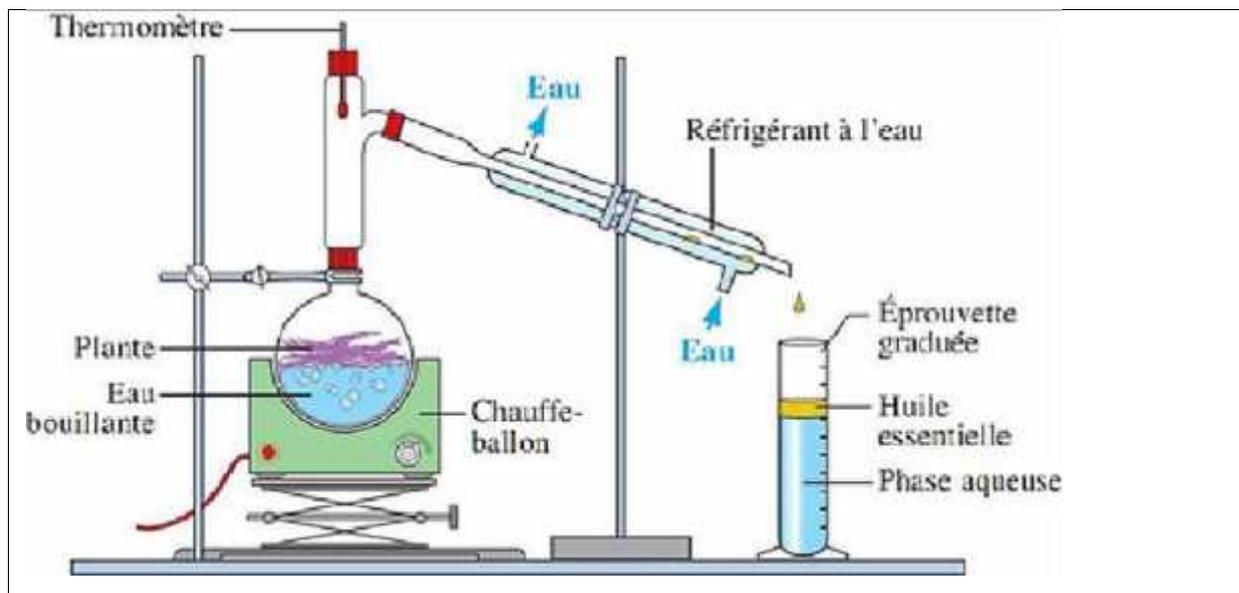


Figure .1 : montage d'extraction par Hydro-distillation

II.5.2 Extraction par entraînement à la vapeur d'eau

A la différence de l'hydro-distillation, cette technique ne met pas en contact direct l'eau et la matière végétale à traiter. De la vapeur d'eau fournie par une chaudière traverse la matière végétale située au-dessus d'une grille. La vapeur endommage la structure des cellules végétales et libère ainsi les molécules volatiles pour former un mélange « eau + huile essentielle ».

Le mélange est ensuite véhiculé vers le condenseur et l'essencier avant d'être séparé en une phase aqueuse et une phase organique " l'huile essentielle". L'absence de contact direct entre l'eau et la matière végétale, puis entre l'eau et les molécules aromatiques évite certains phénomènes d'hydrolyse ou de dégradation pouvant nuire à la qualité de l'huile [54].

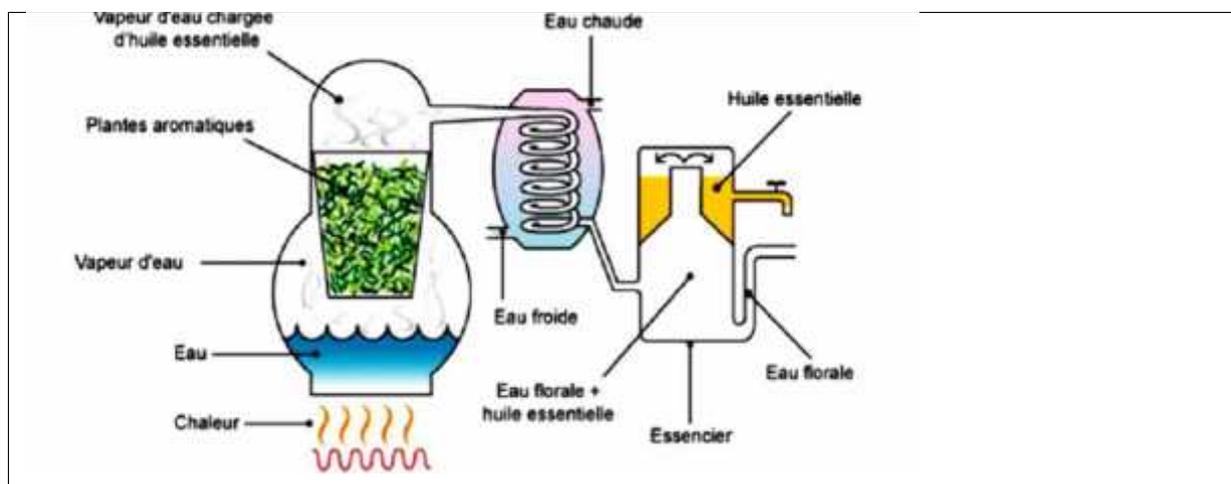


Figure .2: montage d'extraction par entraînement à la vapeur d'eau.

II.5.3 L'extraction par les solvants organique

Les métabolites secondaires des végétaux peuvent également être obtenus par l'extraction liquide-liquide avec des solvants organiques (éthanol, pentane, hexane, acétate d'éthyle, dichlorométhane, oxyde de diéthyle, etc...). Il faut noter que l'emploi de solvants chlorés est en très forte régression au profit souvent de l'acétate d'éthyle qui présente des propriétés d'extraction assez voisines. La mise en œuvre de cette technique est indispensable lorsque les composés ne sont pas extractibles par entraînement à la vapeur en raison de leur faible volatilité ou que le rendement de celui-ci est trop faible. L'extraction permet non-seulement la récupération des composés présents dans l'huile essentielle mais également celle de composés « lourds » qui présentent un intérêt spécifique en fonction de leur structure moléculaire (flavonoïdes, tri-terpènes etc.). L'industrie cosmétique et agro-alimentaire

Les procédés d'extraction des huiles essentielles

différencie les extraits selon le type de solvant utilisée, le type de matière première, etc... [54].

Les solvants utilisés (hexane) ont un très grand pouvoir de solubilisation et seront facilement éliminés grâce à leur volatilité.

Principe :

- ✓ La matière végétale est chargée dans l'extracteur.
- ✓ Elle est ensuite épuisée par lavages successifs par le solvant approprié, pendant une durée déterminée.
- ✓ Après passage dans un décanteur puis un concentrateur, s'effectue une distillation partielle.
- ✓ On obtient : les molécules odorantes, les cires et les pigments.

Ce procédé permet d'obtenir :

- ✓ Le résinoïde : résultat du traitement des baumes, gommes et résines utilisés tels quels par le parfumeur.
- ✓ La concrète : résultat du traitement de tous les organes de la plante.
- ✓ L'absolue : résultat du traitement de la concrète à l'alcool pour éliminer les cires et les pigments[55].

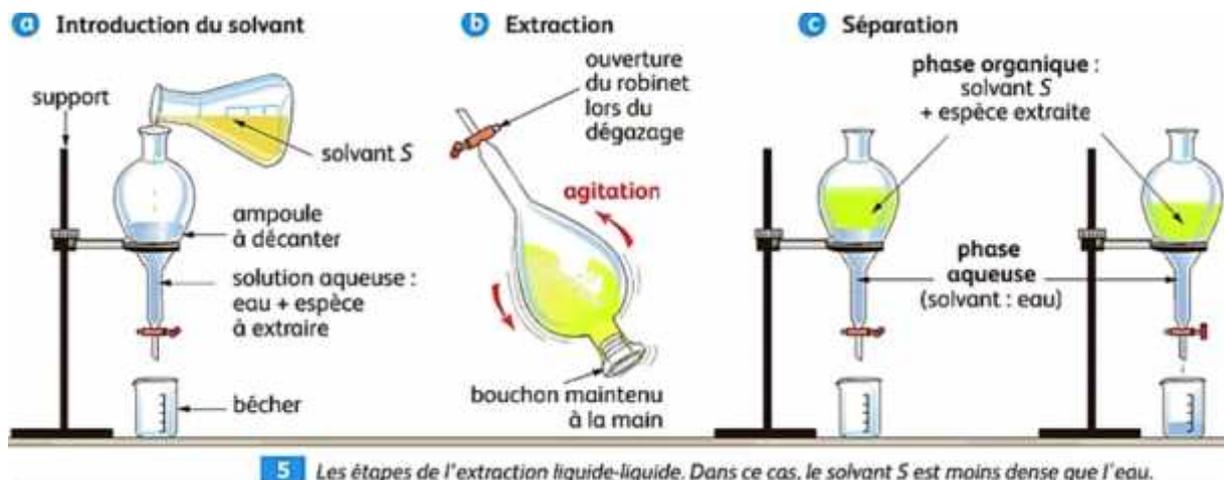


Figure .3: Les étapes d'extraction liquide-liquide (par solvant organique).

L'extraction par les solvants est très coûteuse à cause du prix de l'équipement et de la grande consommation des solvants. Un autre désavantage de cette extraction par les solvants

Les procédés d'extraction des huiles essentielles

est leur manque de sélectivité; de ce fait, de nombreuses substances lipophiles (huiles fixes, phospholipides, caroténoïdes, cires, coumarines, etc.) peuvent se retrouver dans le mélange pâteux et imposer une purification ultérieure [55].

II.5.4 L'expression à froid :

L'extraction par expression à froid, est souvent utilisée pour extraire les huiles essentielles des agrumes comme le citron, l'orange, la mandarine, etc. son principe consiste à rompre mécaniquement les poches à essences. L'huile essentielle est séparée par décantation ou centrifugation. D'autres machines rompent les poches par dépression et recueillent directement l'huile essentielle, ce qui évite les dégradations liées à l'action de l'eau [56].



Figure .4: Montage d'expression à Froid.

II.5.5 Extraction par appareillage soxhlet

L'extraction par Soxhlet (méthode développée par l'Allemand Franz vonsoxhlet à la fin du 19ème siècle) se fait avec des solvants organiques à pression atmosphérique, pour une dissolution sélective des composés ciblés contenus dans la matrice solide [57]. L'extraction par Soxhlet est une extraction par solvant organique d'une espèce contenue dans une poudre solide ou un amas de morceaux de matrice grossiers placés dans une cartouche en papier (filtre épais). Le solvant placé dans un ballon est chauffé jusqu'à ébullition et sa vapeur passe au travers de l'échantillon dans l'extracteur, puis le condenseur où il est condensé et retombe dans l'extracteur contenant la cartouche avec l'échantillon (Figure .5), L'échantillon placé dans le filtre au sein de l'extracteur va progressivement être recouvert par le solvant d'extraction condensé. Quand le solvant atteint le niveau maximal de remplissage au niveau de la cartouche, il se déverse par un siphon vers le ballon de distillation avec les composés

Les procédés d'extraction des huiles essentielles

ciblés issus de la macération de l'échantillon dans le solvant, Ces différentes étapes (ébullition, condensation, macération, vidange par effet siphon) se répètent de manière cyclique tant que l'ébullition du solvant dans le ballon est maintenue [58].

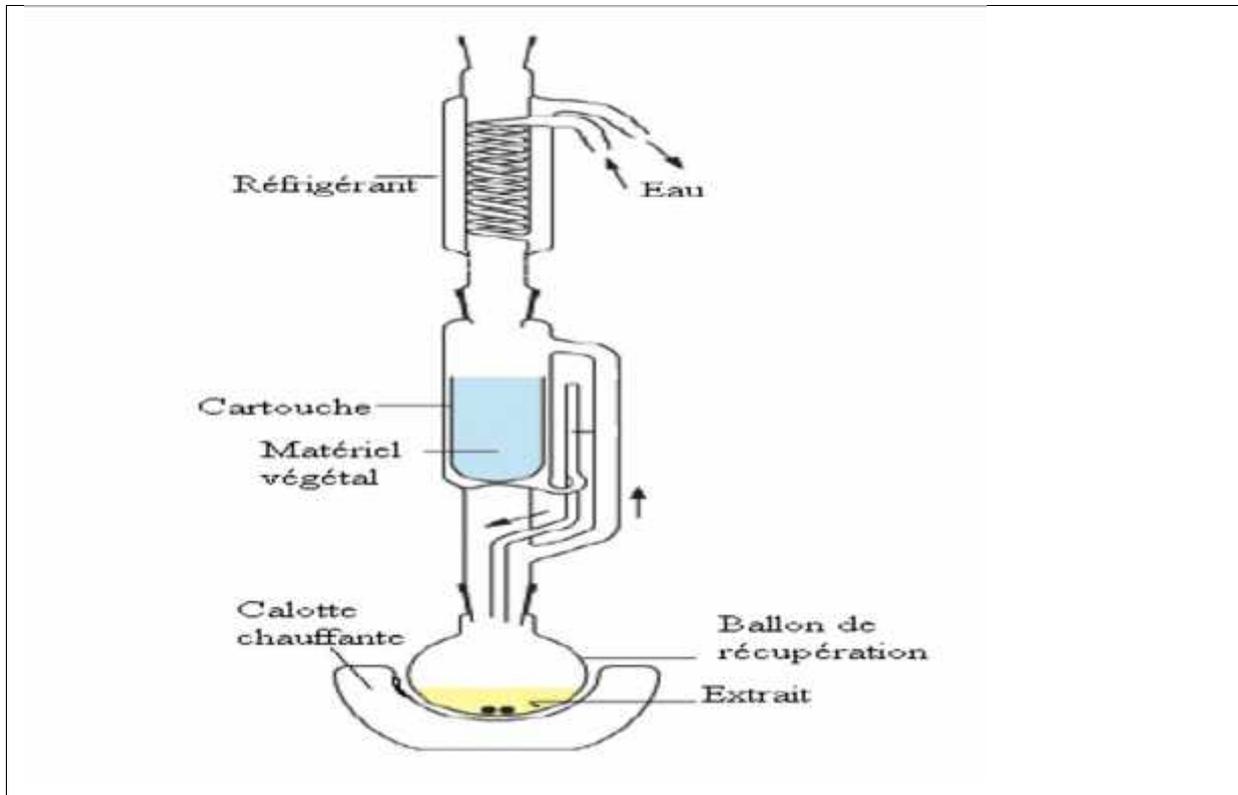


Figure .5: Schéma de système soxhlet[58].

II.5.6 Extraction par micro-ondes

Le procédé d'extraction par micro-ondes appelée Solvant Free Microwaves Extraction ou SFME consiste à extraire l'huile essentielle à l'aide d'un rayonnement micro-ondes d'énergie constante et d'une séquence de mise sous vide.

L'extraction sans solvant assistée par micro-ondes a été conçue pour des applications en laboratoire pour l'extraction d'huiles essentielles de plantes aromatiques. Cette technologie est une combinaison de chauffage micro-ondes et d'une distillation à la pression atmosphérique, Basée sur un principe relativement simple, cette méthode consiste à placer le matériel végétal dans un réacteur micro-ondes, sans ajout de solvant organique ou d'eau.

Les procédés d'extraction des huiles essentielles

Le chauffage de l'eau contenue dans la plante, permet la rupture des glandes renfermant l'huile essentielle. Cette étape libère l'huile essentielle qui est ensuite entraînée par la vapeur d'eau produite par le végétal.

Un système de refroidissement à l'extérieur du four micro-ondes permet la condensation du distillat, composé d'eau et d'huile essentielle, par la suite facilement séparable par simple Décantation. D'un point de vue qualitatif et quantitatif, le procédé SFME semble être plus Compétitif et économique que les méthodes classiques telles que l'hydro-distillation ou L'entraînement à la vapeur [54].

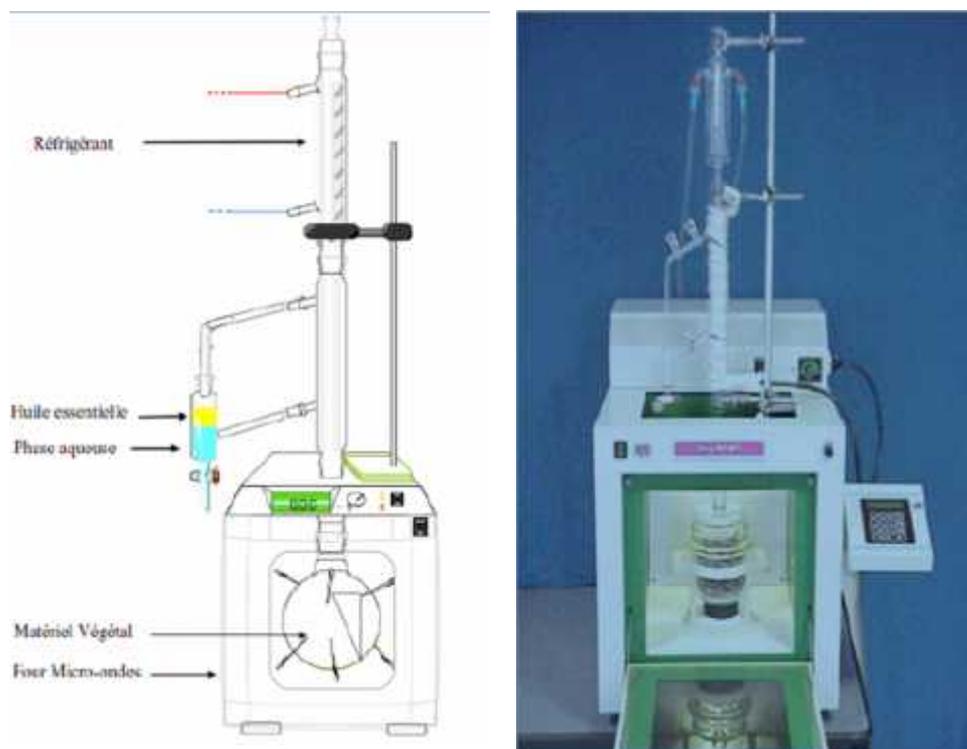


Figure .6 : Extraction assisté par micro-ondes.

II.5.7 la macération

C'est une méthode traditionnelle, a été couramment employée. Elle consiste en la mise en contact du matériel végétal avec le solvant avec ou sans agitation, à température ambiante Ou à température élevée pour une durée déterminée. Elle est basée sur la solubilité des Composés bioactifs dans un solvant d'extraction et elle est influencée par une série de facteur Incluant la nature du matériel végétal, la concentration en solutés de l'échantillon, la nature du solvant, la durée d'extraction...etc[59], La macération est relativement peu coûteuse et aussi la plus

Les procédés d'extraction des huiles essentielles

simple, elle est utilisable dans le cas de l'extraction d'un ensemble de molécules fragiles et se déroule à température ambiante ce qui est très positif pour conserver l'intégrité des molécules bioactifs qui sont sensibles aux changements de température. En outre, une matrice peut subir plusieurs extractions successives en utilisant des solvants de plus en plus polaires afin d'obtenir des mélanges enrichis en molécules d'intérêt [60]. Cette technique a été optimisée, notamment, pour l'analyse des composés non volatils (poly phénols, sucres) avec l'utilisation d'une quantité considérable de solvant. Pour être efficace, une macération a des temps d'extraction très longs (environ 4 à 10 jours), ceci peut présenter quelques inconvénients, en termes de fermentation, ou de contamination bactérienne notamment si le solvant utilisé est l'eau [60,61].

II.5.8 L'extraction par CO₂ supercritique

Le produit à traiter est placé dans un extracteur traversé par le flux de CO₂ supercritique. A l'état supercritique (plus de 74 bars et de 31 °C), le CO₂ est caractérisé par une grande diffusivité (de l'ordre de celle des gaz), ce qui lui confère une bonne aptitude à la diffusion, et une densité élevée qui le dote d'une capacité de transport et d'extraction importante. Le fluide se charge en composé extrait, puis il est détendu, passe en phase gazeuse et se sépare du composé extrait. Ce dernier est recueilli dans un séparateur [53].

a) Avantages

- ✓ CO₂ abondant, peu coûteux, non toxique, diffusion élevée.
- ✓ Extraction sélective et douce sans dénaturer les molécules sensibles.

b) Inconvénients

- ✓ Investissement pour matériel coûteux.
- ✓ Consommation énergétique importante pour établir les pressions et les températures [62].

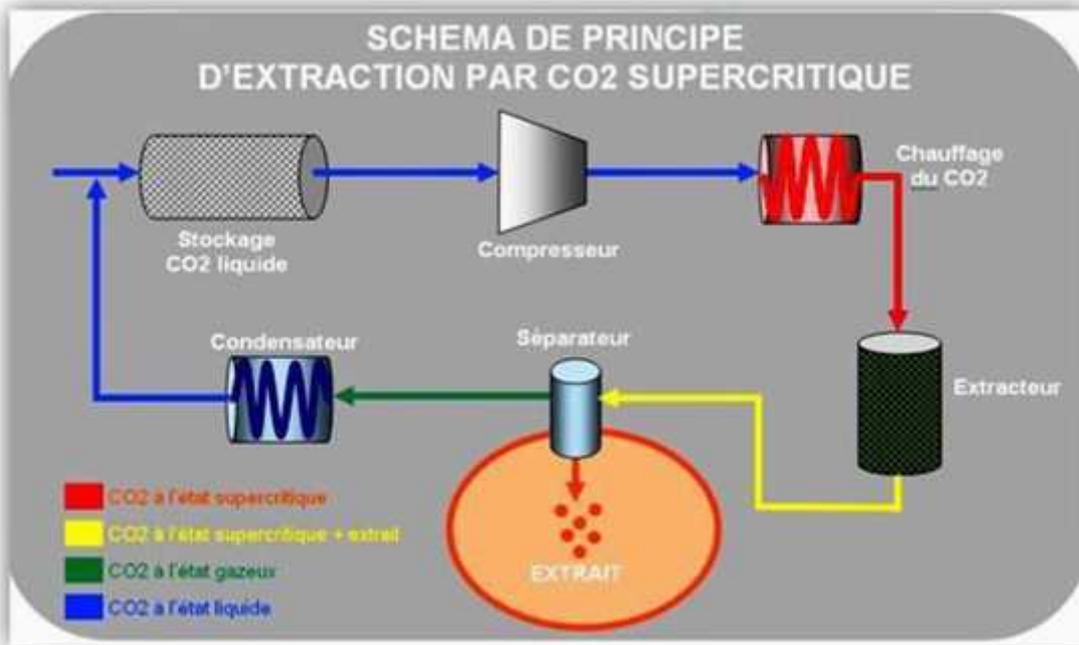


Figure .7:Schéma de principe d'extraction par CO₂ supercritique

Chapitre III. Activités biologiques des huiles essentielles

III.1. L'activité antibactérienne

III.1.1.Introduction :

Bien que de nombreux micro-organismes soient bénéfiques et nécessaires à l'être humain (à la production du pain, du fromage, des antibiotiques, des vaccins, des vitamines, des enzymes et de beaucoup d'autres produits importants). Ils provoquent aussi des problèmes aux hommes et à la société telle que la détérioration des nourritures et la maladie [63].

L'utilisation des antibiotiques pour lutter contre des micro-organismes pathogènes est limitée en raison de leurs effets cancérogènes, leur toxicité aiguë et leur danger potentiel pour l'environnement en plus du problème de résistance bactérienne à cette classe thérapeutique. Plus récemment, la prévalence de la résistance aux antimicrobiens a incité les chercheurs à rechercher des nouvelles molécules antimicrobiennes pour inhiber les diverses bactéries pathogènes humaines [64]. Les bactéries sont responsables de plusieurs maladies. Leur résistance aux antibiotiques est de plus en plus prononcée. Pour arrêter ce processus de synthèse-résistance, il est nécessaire de chercher une autre approche afin de diminuer ou d'éliminer les affections sans l'utilisation des produits synthétiques, donc il est évident de trouver des solutions par l'utilisation des molécules bioactives qui sont à base de plantes [65].

Récemment, l'antibiorésistance des bactéries est devenu un gros problème, et la seule alternative fiable à l'usage des antibiotiques semble être celle des huiles essentielles, connue depuis des siècles et a prouvé son efficacité anti-infectieuse a été scientifiquement démontrée in vitro et in vivo [66].

III.1.2. Les huiles essentielles

Il est bien connu que les huiles essentielles ont de nombreuses propriétés antiseptiques et antimicrobiennes. Un grand nombre d'entre eux ont des propriétés antitoxiques, antivenimeuses, antivirales, anti-oxydantes, et antiparasitaires [67].ont un spectre d'action très large puisqu'elles inhibent aussi bien la croissance des bactéries que celle des moisissures et des levures [68].

L'activité antimicrobienne des huiles essentielles est due principalement à leur composition chimique et en particulier à la nature de leur composé majoritaire. En effet, il est admis que l'activité antimicrobienne des huiles essentielles se classe dans l'ordre décroissant suivant la nature de leurs composés majoritaires :

Phenol> alcool >aldehyde>cetone> oxyde> hydrocarbures > esters [19]

Les polyphénols sont en effet doués de multiples vertus thérapeutiques, ils jouent un rôle très important, principalement, dans la lutte contre les cancers, les maladies cardiovasculaires et la peroxydation lipidique. Expliquant de ce fait leur grande utilisation dans la fabrication des médicaments. Ils interviennent aussi dans la protection des plantes contre les différentes attaques microbiennes (surtout fongiques) risquant de causer la perte d'une grande quantité de végétation [69].

III.1.3. Activité antibactérienne

Les huiles essentielles ont une forte activité antibactérienne, avec un champ d'action très large. Plusieurs travaux montrent que les huiles essentielles et leurs composés majoritaires ont un effet antimicrobien vis-à-vis des bactéries à Gram négatif et à Gram positif.

L'action des huiles essentielles s'exerce sur un large spectre de bactéries, incluant les bactéries à Gram positives et les bactéries à Gram négatives. La structure de la paroi cellulaire des bactéries à Gram positives les rend toutefois plus sensibles à l'action des huiles essentielles [70]. La structure de la paroi cellulaire des bactéries Gram négatives les rend moins sensibles à l'action des huiles essentielles. La présence d'une membrane plasmique hydrophile externe chez les Gram négatives empêche la pénétration intracellulaire des molécules hydrophobes composant la majorité des huiles essentielles. Cette caractéristique confère aux bactéries négatives une résistance à l'huile et même aux antibiotiques [71].

Chez les bactéries, la perméabilisation des membranes par les huiles essentielles, est associée à une perte d'ions et une dégradation du potentiel ATP [72].

III.1.4. Mode d'action des huiles essentielles

Le mode d'action des HE dépend en premier lieu du type et des caractéristiques des composants actifs, en particulier leur propriété hydrophobe qui leur permet de pénétrer dans la double couche phospholipidique de la membrane de la cellule bactérienne. Cela peut induire un changement de conformation de la membrane [73].

il existe actuellement six mécanismes principaux d'action des huiles essentielles sur les bactéries ont été décrits :

III.1.4.1. Lyse de la paroi bactérienne

Les huiles essentielles peuvent avoir un effet létal sur les bactéries par destruction de leur paroi cellulaire [74].

Le mécanisme d'action des huiles essentielles est lié essentiellement à la structure de la paroi et à la perméabilité membranaire des bactéries. L'huile essentielle exerce son pouvoir antimicrobien par son interférence avec la bicouche lipidique de la bactérie grâce à sa propriété hydrophobe, ce qui entraîne: l'augmentation de la perméabilité puis la perte des constituants cellulaire; l'acidification de l'intérieure de la bactérie, bloquant la production de l'énergie cellulaire et la synthèse des composants de structure; la destruction du matériel génétique, conduisant à la mort de la bactérie [75].

III.1.4.2. Inhibition de l'adhésion aux cellules hôte

Le thymol contenu des huiles essentiels de thymol peut également être impliqués dans l'inhibition d'adhésion d'Escherichia Coli est Staphylocoque aux cellules épithéliales vaginale pour bloquer cette l'infection [76].

III.1.4.3. Disfonctionnement de la membrane cytoplasmique

La structure de la membrane cytoplasmique chez les cellules bactériennes permet de donner les doubles fonctions suivante : d'un côté c'est une barrière biologique permettant de transfère une molécule en passant par l'étape de modification d'énergie. Et d'un autre côté c'est un formulaire consiste un ensemble des protéines membranaire classé par des protéines fibreuses et des protéines globulaire permettant l'activité enzymatique [77].

III.1.4.4. Inhibition de la production de toxine

Selon les études [78], Il y a deux propositions concernant le mécanisme d'actions d'Inhibition le carvacrol pour la production de la toxine diarrhéiques de Bacillus cereus. La possibilité que la quantité de la force motrice du proton (ATP) ne soit pas suffisante pour exécuter le processus actif de détoxification (l'oxydation de la toxine) ou l'autre possibilité la cellule bactérienne produite l'énergie pour maintenir sa survie seul.

III.1.4.5. Mode d'action contre l'ATP

La production d'ATP dans les cellules procaryotes se produit à la fois dans la paroi cellulaire au niveau de la membrane, par la chaîne respiratoire, et dans le cytosol par la glycolyse. La modification dans la membrane cellulaire affecte légèrement le processus du couplage énergétique conduisant à une perturbation entre l'équilibre du pool d'ATP intra- et extracellulaire [79]. Par exemple, l'utilisation de l'HE d'origan contre *Listeria monocytogenes* et *Staphylococcus aureus* a réduit significativement le taux d'ATP intracellulaire via la perturbation de la chaîne respiratoire au niveau membranaire [80].

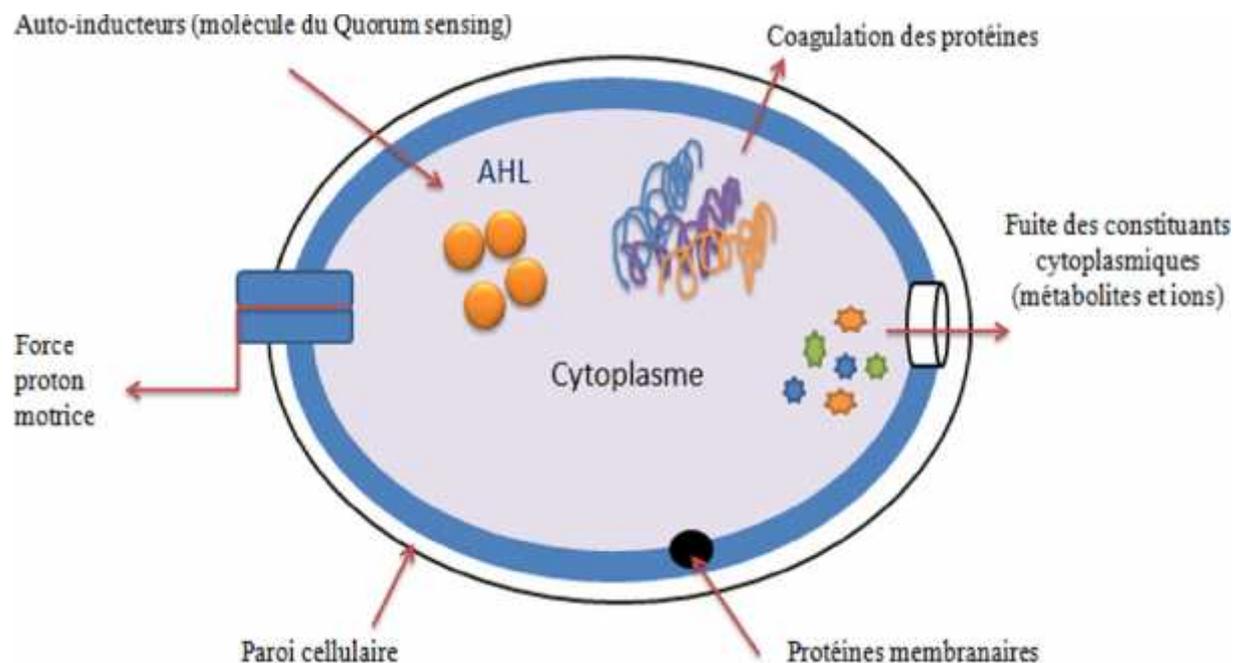


Figure III.1 : Mécanismes d'action des huiles essentielles sur la cellule bactérienne [80].

III.1.5. Notion du bactériostatique et du bactéricide

Quand l'ATB inhibe seulement la croissance des bactéries, on parle ici de l'effet bactériostatique, mais lorsque l'ATB provoque la mort des bactéries on parle de l'effet bactéricide [81]. Lorsque l'on parle d'activité antimicrobienne, on distingue deux sortes d'effets: une activité létale ou bactéricide et une inhibition de la croissance ou activité bactériostatique [82].

III.1.5.1.L'effet bactéricide

C'est un effet qui se manifeste par une accélération de la mort des bactéries aux concentrations d'ATB utilisées *in vivo* ou *in vitro*; s'il persiste moins de 0,01% de survivants après 18 h de culture [83].

III.1.5.2.L'effet bactériostatique

C'est une activité bactérienne au cours de laquelle il ne se manifeste aucune destruction bactérienne, on remarque une inhibition de la croissance bactérienne, croissance qui reprend dès que la substance disparaît. En limitant la croissance bactérienne, la molécule permet aux défenses naturelles de l'organisme d'entrer en jeu sans être dépassées. L'effet bactériostatique d'une molécule est évalué par la concentration minimale inhibitrice. Pour une souche donnée, la CMI est la plus faible concentration inhibitrice d'antibiotique pour laquelle il n'y a plus des germes microbiens visibles [83].

III.1.5.3.Méthode de la micro-dilution en milieu liquide

C'est une méthode de dilutions sur milieu liquide permettent de déterminer la CMI (Concentration minimal inhibitrice) et CMB (Concentration minimal bactéricide) Ces concentrations nous permettent de connaître la nature de l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle : bactériostatique ou bactéricide [78].

III.1.5.4.Caractère bactéricide et bactériostatique

Pour définir le caractère bactériostatique ou bactéricide il est possible de calculer le rapport CMB/ CMI. Si le rapport est inférieur à 4 l'huile est considérée bactéricide [84].

Pour d'autres auteurs si les valeurs de CMB sont équivalentes aux valeurs de CMI cela implique que l'effet est **bactéricide**, et si les valeurs de CMB sont plus élevées aux valeurs de CMI cela signifie que l'effet est **bactériostatique** [85].

III.1.6.Souches bactériennes :

Les souches de référence obtenues de l'American Type Culture Collection (ATCC), il s'agit de : *Escherichia coli* (ATCC25922), *Pseudomonas aeruginosa*(ATCC27853) et *Staphylococcus aureus* (ATCC25923)

Tableau III.1: caractéristiques des souches bactériennes [86].

Aspect microscopique de la souche	Taxonomie	Description
<i>Escherichia coli</i> (ATCC25922)	<p>Règne <i>Bacteria</i></p> <p>Classe <i>Gammaproteobacteria</i></p> <p>Ordre <i>Enterobacteriales</i></p> <p>Famille <i>Enterobacteriaceae</i></p> <p>Genre <i>Escherichia</i></p> <p>Espèce <i>Escherichia coli</i></p>	<p>C'est l'espèce type des entérobactéries. Cette espèce qui fait l'objet d'un très grand nombre d'étude constitue le modèle des bacilles à Gram négatif aérobies. Les colonies ont en moyenne 2 mm de diamètre, allongées et à bords réguliers, C'est l'espèce dominante de la flore aérobie du tube digestif. Elle est habituellement une bactérie commensable. Elle peut devenir pathogène si les défenses de l'hôte se trouvent affaiblies ou si elle acquiert des facteurs de virulence particuliers.</p>
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (ATCC 27853)	<p>Règne <i>Bacteria</i></p> <p>Classe <i>Gammaproteobacteria</i></p> <p>Ordre <i>Pseudomonadales</i></p> <p>Famille <i>Pseudomonadaceae</i></p> <p>Genre <i>Pseudomonas</i></p> <p>Espèce <i>Pseudomonas aeruginosa</i></p>	<p><i>Pseudomonas aeruginosa</i>, autrement connu sous le nom de bacille pyocyanique, est une bactérie Gram négative de genre <i>Pseudomonas</i>. Les bacilles sont fins, droits et très mobiles grâce à un flagelle polaire : ciliature monotriche, dépourvus de spores et de capsules. Ils apparaissent la plupart du temps isolés ou en diplobacilles. Elle peut dans certaines conditions, être pathogène. très résistante, elle est avec d'autres bactéries de Gram négatif de plus</p>

		en plus souvent responsables d'infection nosocomiales. C'est l'une des bactéries les plus difficiles à traiter cliniquement.
<i>Staphylococcus aureus</i> (ATCC 25923)	Règne <i>Bacteria</i> Classe Bacilli Ordre <i>Bacillales</i> Famille <i>staphylococcaceae</i> Genre <i>staphylococcus</i> Espèce <i>staphylococcus aureus</i>	Les espèces <i>S.aureus</i> sont des cocci à Gram positif, de forme sphérique, avec un diamètre de 0.8 à 1 µm. Elles sont regroupées en diplocoques ou en petits amas (grappe de raisin). Ce type de bactéries est immobile, asporulé, habituellement sans capsule. De nombreuses souches de <i>S.aureus</i> produisent un pigment jaune doré, elle est la cause de méningite, ostéomyélite et diarrhée.

III.1.7. Méthode d'évaluation de l'activité antibactérienne

III.1.7.1. Aromatogramme

C'est une méthode de mesure in vitro du pouvoir antibactérien des huiles essentielles [87]. Le principe de la méthode repose sur la diffusion du composé antibactérien en milieu solide dans un boîtier de pétri, avec création d'un gradient de concentration après un certain temps de contact entre le produit et le microorganisme cible. L'effet du produit antibactérien sur la cible est apprécié par la mesure d'une zone d'inhibition, et en fonction du diamètre d'inhibition [88].

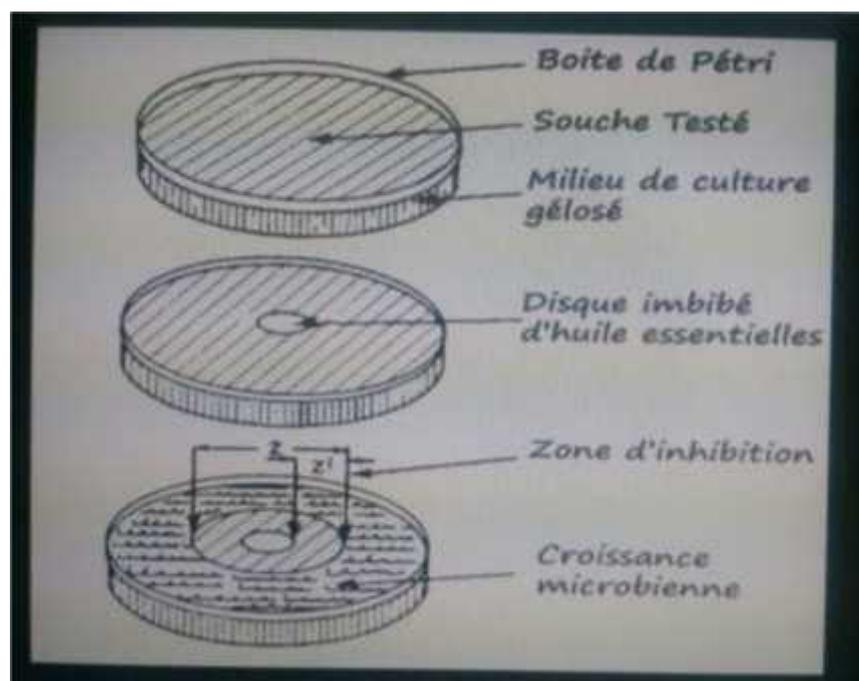


Figure III.2 : illustration de la méthode de aromatogrammes sur boîte de pétri [88].

III.1.7.2.Méthode de diffusion en puits

Méthode proposée par Cooper Et Woodman, reprise par Shroeder et Messing. Elle assure une diffusion radiale de l'échantillon à partir d'un puits en donnant une zone d'inhibition claire facilement mesurable. La méthode consiste à découper un trou circulaire dans la gélose et y verser une solution de l'échantillon de concentration connue. L'échantillon diffuse radialement en donnant une zone d'inhibition circulaire à la surface de la gélose préalablementensemencée avec la suspension bactérienne.

Les méthodes de diffusion ne permettent pas de chiffrer directement les valeurs des CMI [89].

III.1.7.3.Méthode de dilution

Ces méthodes peuvent être appliquées en gélose ou en bouillon, à partir des quelles nous pouvons déterminer les CMI.il existe une relation simple entre les diamètres des zones d'inhibition et les CMI mesurées par les techniques de dilution. Cette relation, appelée droite de concordance ou droite de régression [89], la zone d'inhibition correspond inversement à la CMI de l'essai [90].

III.1.8. Les principales substances antimicrobiennes

III.1.8.1. Les polyphénols

Notamment les flavonoïdes et les tannins sont reconnus par leur toxicité vis-à-vis des microorganismes. Le mécanisme de toxicité peut être lié à l'inhibition des enzymes hydrolytiques (les protéases et les carbohydrolases) ou d'autres interactions pour inactiver les adhésines microbiennes, les protéines de transport et d'enveloppe cellulaire [91]. Ces composés jouent un rôle inhibiteur, ils n'agissent pas sur la paroi bactérienne mais plutôt sur un mécanisme interne. Ces composés sont supposés agir sur l'ADN, l'ARN et la synthèse protéique [92]. Ils possèdent une capacité de supprimer un nombre de facteurs de virulence microbienne telle que l'inhibition de la formation de biofilms, la réduction de l'adhésion aux ligands de l'hôte et la neutralisation des toxines bactériennes ainsi qu'à leur capacité d'établir une synergie avec certains antibiotiques [93].

III.1.8.2. Les antibiotiques

Les antibiotiques, au sens strict, sont des produits élaborés par des micro-organismes, mais on inclut généralement parmi eux les dérivés semi-synthétiques et les produits entièrement synthétiques. La thérapeutique des infections bactériennes se base principalement sur l'usage des antibiotiques qui inhibent sélectivement certaines voies métaboliques des bactéries, sans exercer habituellement d'effets toxiques pour les organismes supérieurs. Cette propriété les distingue des antiseptiques [94]. Les cibles des antibiotiques sont impliquées dans les fonctions physiologiques ou métaboliques de la bactérie. Les antibiotiques peuvent inhiber la biosynthèse des acides nucléiques (ADN et ARN), mais leurs cibles principales sont la paroi cellulaire et les ribosomes bactériens [95].

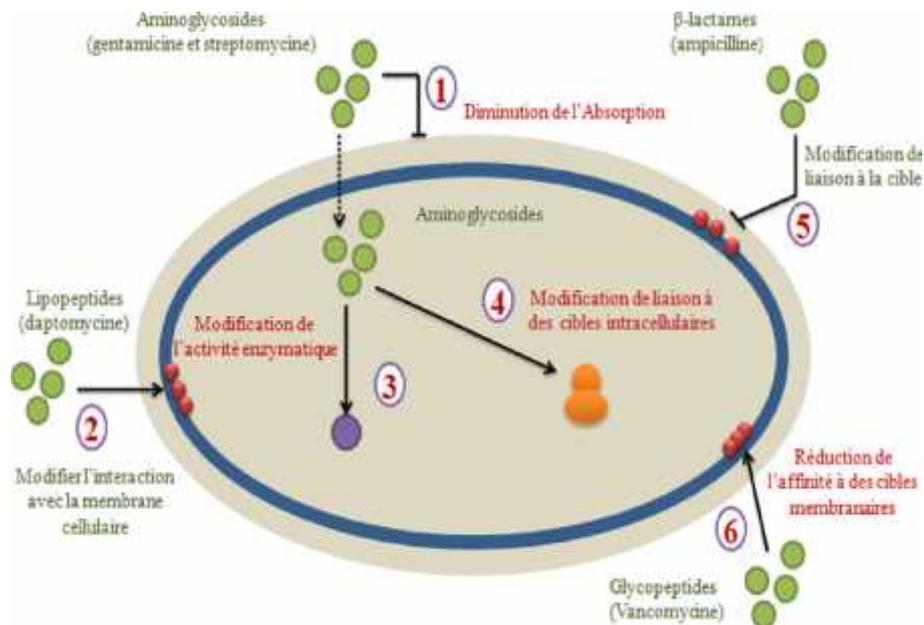


Figure III.3 : Schéma général des mécanismes de résistance aux antibiotiques. Les bactéries possèdent différents modes de résistance aux antibiotiques. 1) Diminution de l'adsorption des aminoglycosides. 2) Modification de l'interaction des lipopeptides avec la membrane Cellulaire. 3) Modification de l'activité enzymatique des aminoglycosides. 4) Modification de liaison des β -lactamines à des cibles intracellulaires. 5) Modification de liaison à des cibles membranaires. 6) Réduction de l'affinité des glycopeptides à des cibles membranaires [96].

III.2. Activité antioxydante :

III.2.1. Introduction :

Le mécanisme de défense de l'organisme en général diminue avec l'âge et peut être compromis par les diverses formes de stress oxydatif résultant de facteurs environnementaux causant des troubles de santé : le cancer, le diabète, l'athérosclérose. Toutes ces conditions, ainsi que le processus de vieillissement, sont associés à un stress oxydatif en raison de l'élévation des ROS ou une désintoxication insuffisante de ces espèces, favorisant ainsi le processus de vieillissement précoce ou prématurée de la peau [97].

De nos jours, Il existe un intérêt croissant vis-à-vis de la biologie des radicaux libres. Ce n'est pas seulement dû à leur rôle dans des phénomènes aigus tels que le traumatisme ou l'ischémie, mais aussi à leur implication dans de nombreuses pathologies chroniques associées au vieillissement tels que le cancer, les maladies cardiovasculaires et inflammatoires et la dégénérescence du système immunitaire [98].

Les antioxydants naturels ou synthétiques sont utilisés pour prévenir de nombreuses maladies (cardiovasculaires et neurodégénératives, inflammation, diabète...) et le vieillissement, dus à la formation exagérée des radicaux libres. Les antioxydants sont également utilisés dans les aliments pour retarder la détérioration, le rancissement ou la décoloration qui est souvent due à l'oxydation causée par la lumière, la chaleur et certains métaux [99].

L'activité antioxydante des phénols dépend de la disposition des groupes fonctionnels autour de la structure nucléaire, la configuration, la substitution et le nombre total des groupes hydroxyles qui influencent considérablement les différents effets antioxydants des radicaux et la chélation des métaux [100].

Cependant, les végétaux présentent un potentiel anti radicalaire qui leur permettrait de jouer un rôle bénéfique en termes d'action préventive très importante pour la santé humaine et animale [101].

III.2.2.Définition :

Les antioxydants sont des molécules naturelles ou synthétisées présents dans les aliments en vue, notamment: les espèces, le climat et les pratiques agricoles. Ils sont naturellement présents à très variable concentrations dans les fruits et les légumes [102], Les antioxydants jouent un rôle majeur dans la protection contre les dommages oxydatifs moléculaires [103].

Un antioxydant est défini comme étant toute substance qui peut retarder ou empêcher l'oxydation des substrats biologiques [104].

III.2.3.Mécanismes d'action des antioxydants

Les mécanismes d'action des antioxydants sont divers, incluant le captage de l'oxygène singulier, la désactivation des radicaux par réaction d'addition covalente, la réduction de radicaux ou de peroxydes, la chélation des métaux de transition [105].

Le processus d'oxydation est de type radicalaire : les antioxydants vont intervenir comme "capteurs" de radicaux libres. Les antioxydants de type phénolique réagissent selon un mécanisme proposé dès 1976 par Sherwin : l'antioxydant cède formellement un radical hydrogène, qui peut être un transfert d'électrons suivi, plus ou moins rapidement, par un transfert de proton, pour donner un intermédiaire radical stabilisé de par ses structures mésomères conjuguées [106].

En tant qu'agents de terminaison (piégeage de radicaux), les antioxydants transforment les radicaux en composés plus stables par résonance mésomérique et bloquent la phase de propagation. Un tel effet résulte d'une structure de donneurs d'hydrogène (H•) souvent aromatique comme les composés phénoliques. Des travaux récents ont montré aussi que les huiles essentielles possèdent des propriétés antioxydantes dues à la présence de certains monoterpènes hydrocarbonés agissant en synergie et des composés phénoliques volatils [107] [108].

Selon leur mode d'action, les antioxydants sont classés en deux catégories :

- Système de défense primaire : comme la catalase, le glutathion (GSH). Ces antioxydants préviennent la production de ROS en limitant la phase d'initiation des réactions d'oxydation. Ils agissent donc en prévention.
- Système de défense secondaire : à titre exemple les tocophérols, sont capables de piéger directement les radicaux oxydants et sont ainsi des antioxydants «briseurs» de la chaîne radicalaire bloquant ainsi les réactions de propagation [109].

III.2.4. Principaux antioxydants et leurs caractéristiques :

Les défenses antioxydantes de notre organisme peuvent se diviser en systèmes enzymatiques et systèmes non enzymatiques.

III.2.4.1. Les antioxydants endogènes (enzymatiques)

Ce sont des enzymes ou protéines antioxydantes (Superoxyde dismutase, Catalase et Glutathion peroxydase) élaborées par notre organisme avec l'aide de certains minéraux. Elles sont présentes en permanence dans l'organisme mais leur quantité diminue avec l'âge [110]. Ces enzymes ont une action complémentaire sur la cascade radicalaire au niveau du O₂ - et du H₂O₂, conduisant finalement à la formation de l'eau et de l'oxygène moléculaire [111].

Les enzymes qui se trouvent dans le cytoplasme mitochondrie protègent les cellules contre les radicaux libres [112] on distingue :

III.2.4.1.1. La Superoxyde dismutase (SOD): A été découverte en 1969, c'est une métalloprotéine qui se trouve dans le cytoplasme, mitochondrie, lysosome, peroxydosome des cellules eucaryotes [113].

La Superoxyde dismutase (SOD) réagit contre les produits toxiques de métabolisme cellulaire, et catalyse la dismutation d'O₂•- en H₂O₂ (**Equation III.1**)[114], Cette enzyme associée à des cofacteurs métallique : ions de cuivre et zinc (Cu/Zn-SOD) c'est une forme cytosolique et nucléaire, manganèse (Mn-SOD) c'est une forme mitochondriale et une forme extracellulaire (EC-SOD) [115].



III.2.4.1.2. La catalase: présente en particulier dans les hématies et les peroxysomes hépatiques. Elle agit en synergie avec la SOD puisque son rôle est d'accélérer la dismutation du peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène moléculaire [116].

La Catalase (CAT) est une enzyme qui catalyse la transformation d' H_2O_2 en H_2O et oxygène moléculaire (**Equation III.2**) [117], et se trouve dans les hématies et dans les peroxysomes de nombreux tissus et cellules [118].



III.2.4.1.3. La Glutathion peroxydase (GPx) et la Glutathion réductase (GR)

Ces deux enzymes sont localisées dans le cytosol et dans les mitochondries. La glutathion peroxydase (GPx) agit en synergie avec la SOD puisque son rôle est d'accélérer la dismutation du H_2O_2 en H_2O et O_2 et la réduction de divers hydroperoxydes lipidiques. Lors de cette réaction deux molécules de glutathion réduit (GSH) sont oxydées en glutathion disulfure (GSSG) [119][120].

La glutathion peroxydase (GPx) agit en synergie avec la SOD puisque son rôle est d'accélérer la dismutation du H_2O_2 en H_2O et O_2 . Lors de cette réaction deux molécules de glutathion réduit (GSH) sont oxydées en glutathion-disulfure (GSSG)[120].

Ces deux enzymes sont localisées dans le cytosol et dans les mitochondries. La glutathion peroxydase est une sélénoenzyme (Se-GPx) qui joue un rôle très important dans la détoxification du peroxyde d'hydrogène, mais aussi d'autres hydroperoxydes résultants de l'oxydation du cholestérol ou des acides gras en couplant la réduction de ces dérivés réactifs avec l'oxydation de substrats réducteurs comme le glutathion (GSH). La glutathion réductase (GR), quant à elle, a pour rôle de régénérer le GSH à partir du GSSG tout en utilisant le NADPH comme un cofacteur [121].

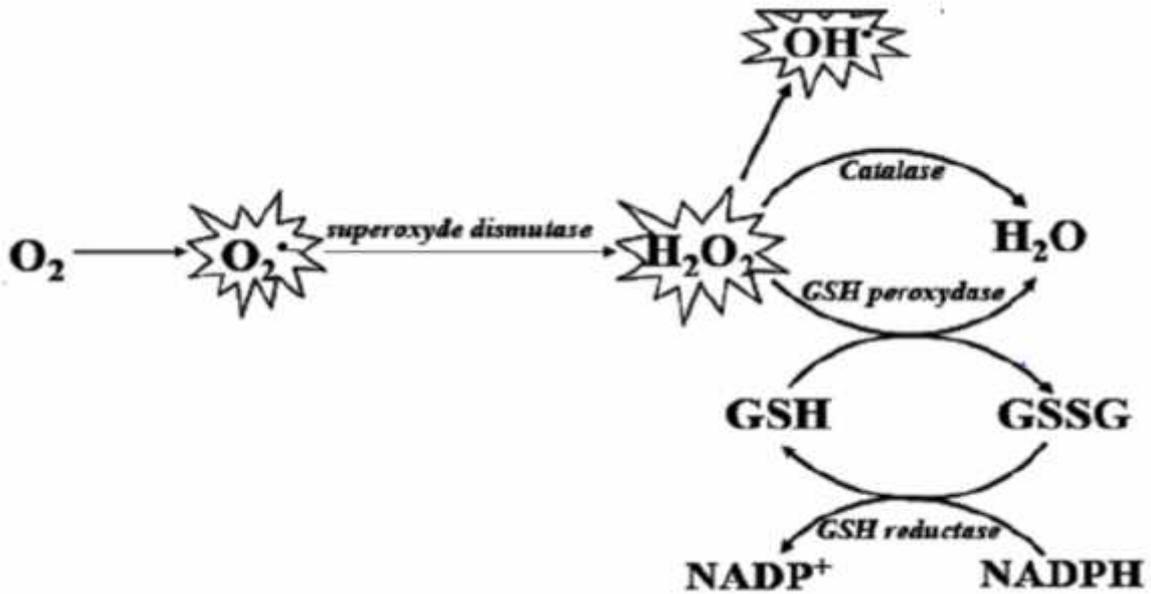


Figure III.4 : Schéma des défenses antioxydantes enzymatiques [122].

III.2.4.2. Les antioxydants exogènes (non enzymatiques)

Plusieurs molécules issues de notre alimentation sont considérées comme des antioxydants : la vitamine A, la vitamine C, β -carotène [123], les composés phénoliques (flavonoïdes, coumarines, dérivés d'acide phénolique, tanins, anthocyanines) [124].

III.2.4.2.1. La Vitamine C

La vitamine C appelé aussi l'acide ascorbique, c'est un antioxydant hydrosoluble, Qui se trouve dans le cytosol et dans le fluide extracellulaire. Elle peut piéger directement l'anion superoxyde $O_2^{\bullet-}$, le radical hydroxyle HO^{\bullet} , l'oxygène singulet et réduit le peroxyde d'hydrogène en eau via l'ascorbate peroxydase [125].

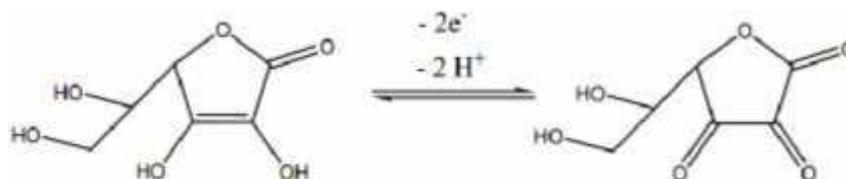


Figure III.5 : Oxydation de l'acide ascorbique.

III.2.4.2.2. La vitamine E :

Est constituée de quatre isomères de tocophérol, α , β , γ et δ , avec une activité antioxydante variable. La forme α est la plus active, elle est liposoluble et se fixe à la membrane cellulaire et inhibe la chaîne de réactions de peroxydation des lipides en capturant un radical lipidique peroxyde (LOO°). Elle devient à son tour un radical moins actif que le LOO° et pourra alors être pris en charge par une autre molécule antioxydante[125] [126].

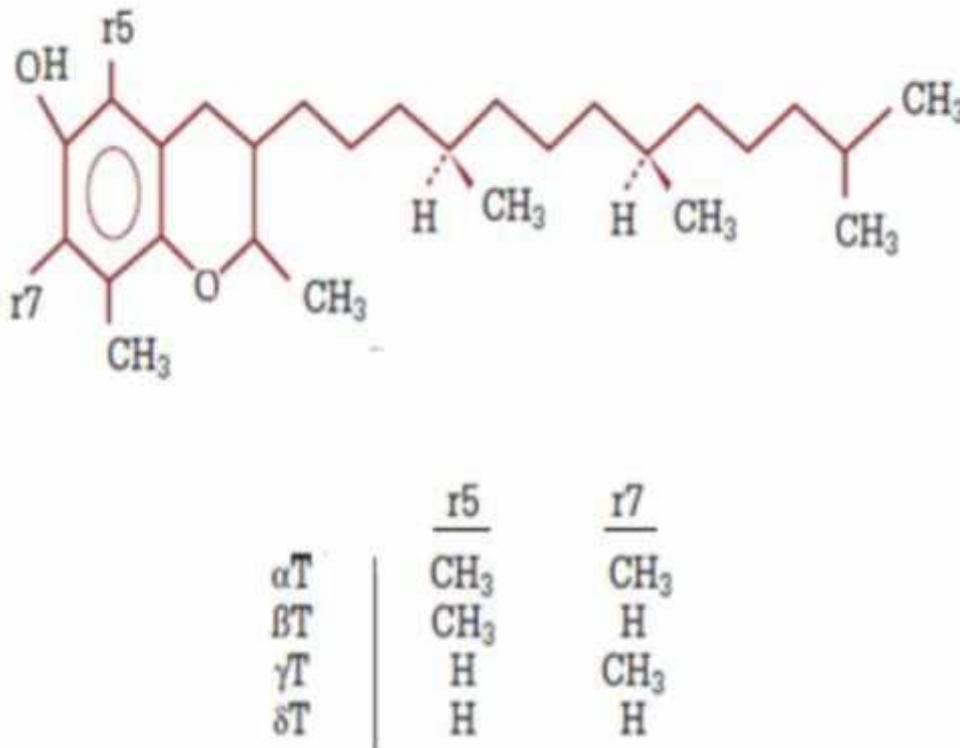


Figure III.6 : structure chimique des différents tocols[102].

Il existe d'autre antioxydant non enzymatique

-Protéines : (Albumine, ceruloplasmine...).

-Liposoluble : -toco phénol, -tocophérol, poly phénols, coenzyme Q 10

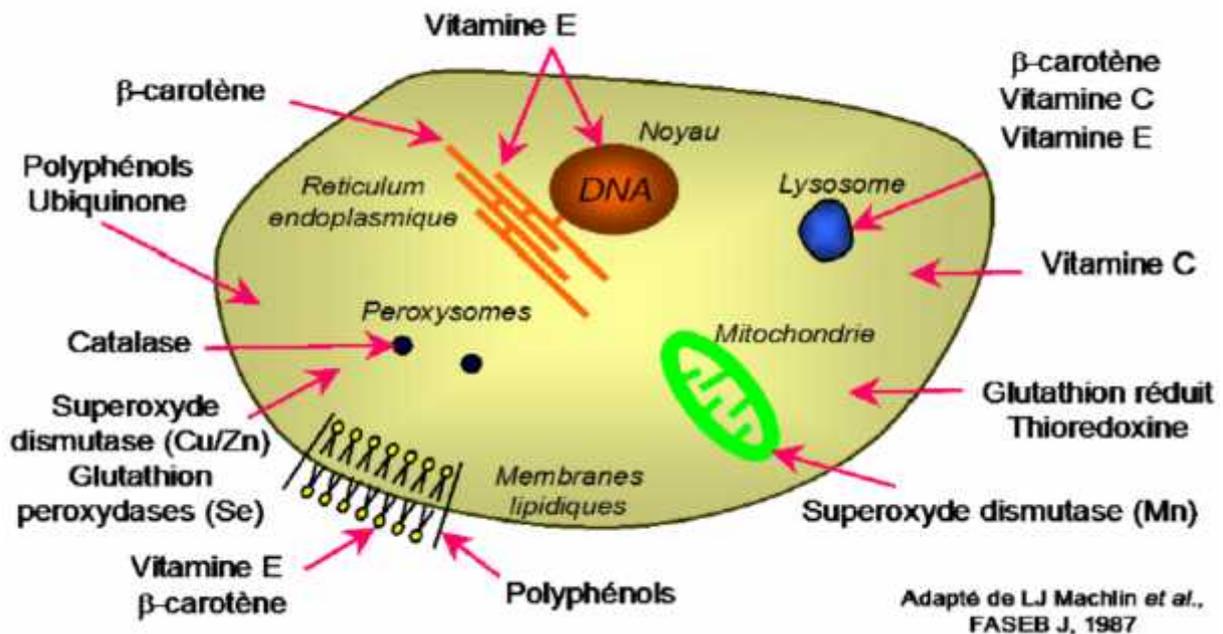


Figure III.7 : Schématisation des molécules intervenant dans les protections cellulaires [127].

III.2.5.antioxydants de référence

Deux composés antioxydants de référence à l'hydroxytoluène butylé ou BHT et la - carotène seront utilisés dans différents travaux pour l'évaluation de la capacité antioxydative des extraits et des huiles essentielles.

III.2.5.1.L'hydroxytoluène butylé ou BHT

L'hydroxytoluène butylé ou BHT est un additif alimentaire. Il s'agit du : 2,6-di-tert-butyl-4-méthylphénol ou 2,6-Bis (1,1-diméthyléthyl)-4-méthylphénol.

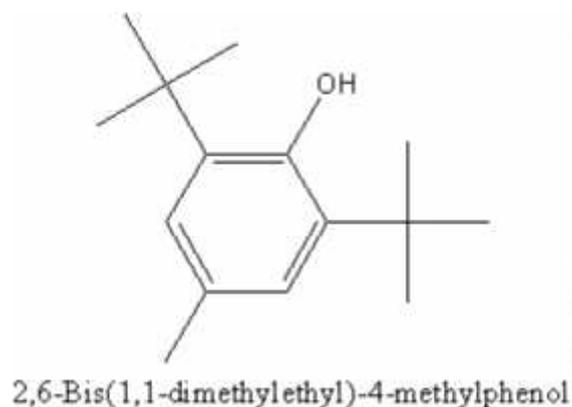


Figure III.8 : Structure de l'hydroxytoluène butylé ou BHT

Le BHT est un puissant antioxydant synthétique et controversé. Il semble que trop peu d'études ait été faite à son sujet [128].

III.2.5.2. Le β -carotène

1,1'-(3,7,12,16-tétraméthyl-1,3,5,7,9,11,13,15,17-octadécanonaène-1,18-diyl)bis[2,6,6-triméthylcyclohexène]. Le β -carotène est un pigment de la famille des caroténoïdes, pigment jaune orangé qui donne leur couleur vive à des fruits et des légumes (carottes, melons, abricots, mangues, poivrons rouges, épinards). Il possède de précieuses propriétés antioxydantes et peut notamment neutraliser les radicaux libres. Le β -carotène est aussi connu sous le nom de provitamine A, car il a la particularité de pouvoir se transformer en vitamine A dans le corps [129].

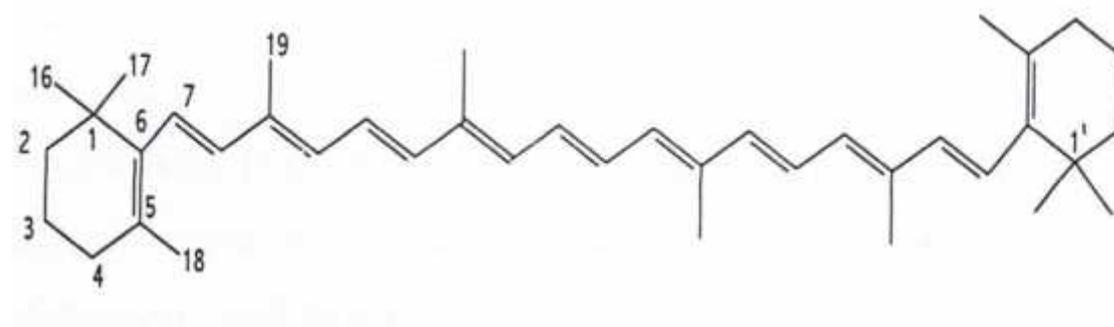


Figure III.9 : Structure de la β -carotène

III.2.6. Stress et Radicaux libres

III.2.6.1. Définition du stress oxydant

Le stress est défini comme un déséquilibre de la balance entre la formation des radicaux libres (caractère pro-oxydant) et la capacité du corps à les neutraliser, à réparer les dommages oxydatifs (système antioxydant) et à réguler leur production [130].

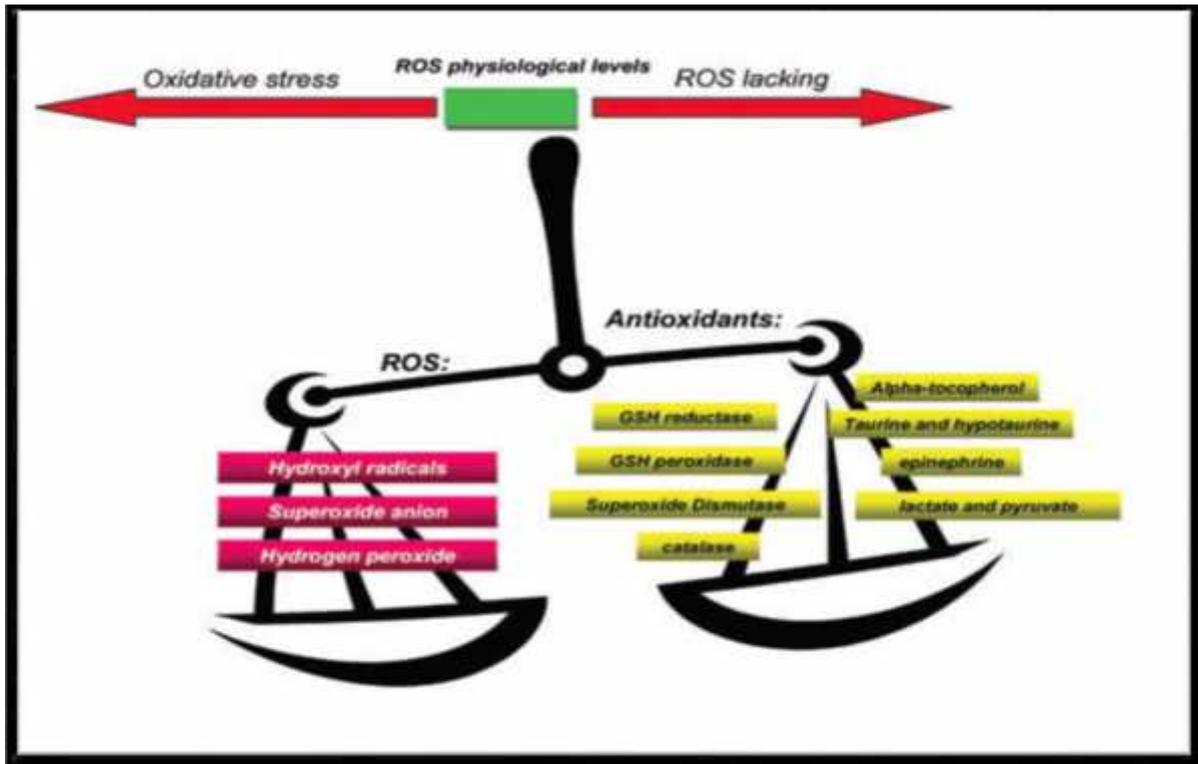


Figure III.10 : Déséquilibre de la balance entre anti-oxydants et pro-oxydants [131].

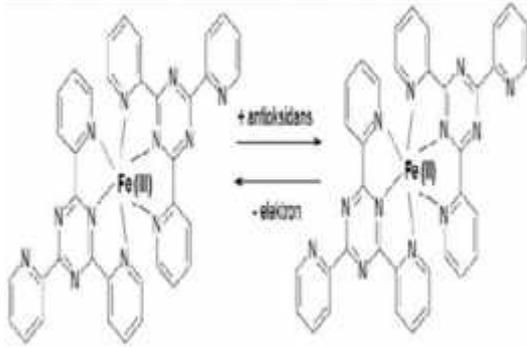
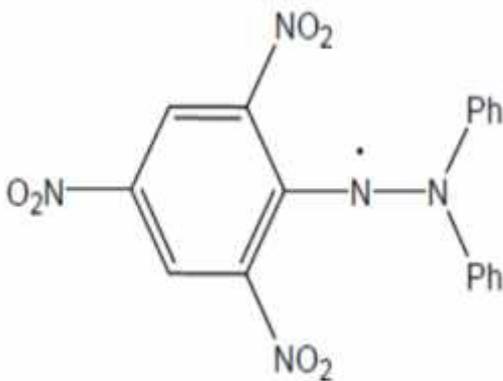
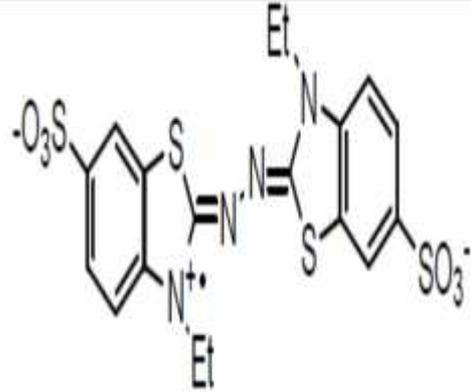
III.2.6.2.Radicaux libres

Un radical libre (RL) est une espèce chimique possédant, sur sa couche externe, un ou plusieurs électrons célibataires, cet électron lui confère une certaine instabilité et haute réactivité [132].avec une courte durée de vie [133]. Les radicaux libres sont des espèces chimiques (atomes ou molécules) capables d'une existence indépendante (d'où le terme libres), portant un ou plusieurs électron(s) libre(s) non apparié(s) sur leurs couches externes[134], Cette propriété rend ces éléments très réactifs du fait de la tendance de leurs électrons célibataires à se réappairer, leurs constantes de vitesse réactionnelle sont très élevées pouvant aller de 10^5 à 10^{10} mol⁻¹. L. s⁻¹ [135].

III.2.7.Méthodes d'évaluation de l'activité antioxydante et anti radicalaire

Plusieurs méthodes sont utilisées pour évaluer, *in vitro* et *in vivo*, l'activité antioxydante par piégeage de radicaux libres différents.

Tableau III.2:Méthodes les plus couramment utilisées pour estimer le pouvoir antioxydant [106].

Méthodes	Réactions	Structure
Method FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma)	Réduction le fer ferrique (Fe ³⁺) en fer ferreux (Fe ²⁺).évalue le pouvoir réducteur des composés. La lecture se fait à 700 nm.	
Méthode DPPH	Le composé chimique 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyle (DPPH) fut l'un des premiers radicaux libres utilisés pour étudier la relation structure activité antioxydant des composés phénoliques. La lecture se fait à 517 nm.	
Méthode ABTS	Le sel de ABTS (l'acide 2,2'-azinobis-(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique) Perd un électron pour former un radical cation ABTS ^{•+} , de couleur sombre en solution en présence de l'agent antioxydant, le radical ainsi formé est réduit pour donner le cation ABTS ^{•+} , Ce qui entraine la décoloration de la solution. La lecture se fait à 734 nm.	

III.2.7.1. Test de pouvoir réducteur (FRAP)

Le test FRAP ou ferric reducing antioxidant power est basé sur la réduction d'un complexe ferrique tripyridyletriazine ferrique (TPTZ-Fe³⁺) en sa forme ferreux (TPTZ-Fe²⁺) par un antioxydant à faible pH. La solution de TPTZ a une couleur bleu intense dont le maximum d'absorbance est de 593 nm [136].

Le test FRAP est évalué selon le protocole décrit par [137], 100 µl d'extrait du pollen (dilué 1/5: 100 µl d'extrait plus 400 µl d'éthanol), ajoutée 1ml de réactif de FRAP (rapport (100.10.10), 100 ml tampon acétate de sodium 300 Mm et 10 ml de TPTZ 10 Mm, 10 ml de FeCl₃ 20 Mm), Après 5min l'absorbance lue à 593 nm. Les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique par 100g d'échantillon (mg EAG/100g).

III.2.7.2. Test d'activité anti-radicalaire (DPPH)

le DPPH (2,2 diphenyl-1-picryl hydrazyl) est un radical instable qui possède un électron célibataire sur l'atome d'azote [138].

L'activité antioxydante exprime la capacité à réduire les radicaux libres. Elle est étudiée par la méthode du DPPH°, ce radical libre présente une coloration violet foncé, lorsqu'il est piégé par les antioxydants, il apparaît sous sa forme réduite de couleur jaune pâle (**Figure 22**) [139], Du point de vue méthodologique, le test au radical libre DPPH est recommandé pour des composés contenant les groupes SH, NH et OH[140].

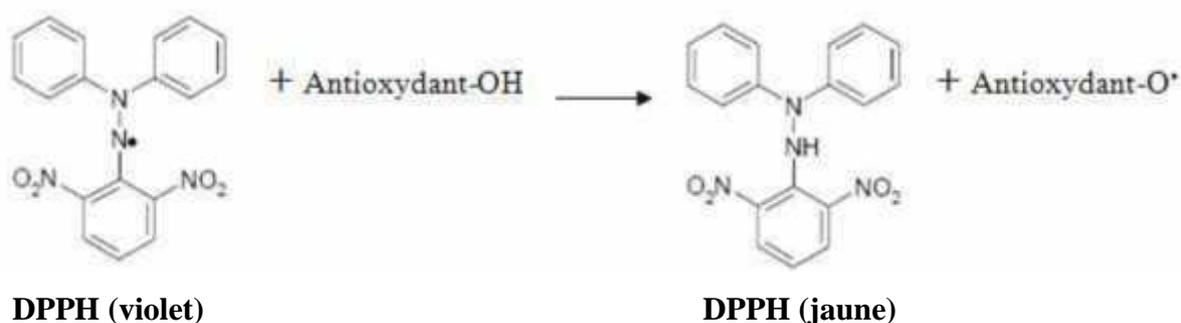


Figure III.11: Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH [139].

La réduction du radical libre (DPPH) par un antioxydant peut être suivie par spectrophotométrie, en mesurant la diminution de l'absorbance à 517 nm provoquée par la présence d'un donneur d'hydrogène [141].

Selon [142] l'activité antiradicalaire (pourcentage d'inhibition) est estimée selon la formule suivante :

$$\text{Activité antiradicalaire (\%)} = [(A0 - A1) / A0] \times 100$$

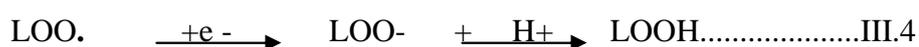
A0 : absorbance du contrôle.

A1 : absorbance de l'échantillon test.

Le pourcentage d'inhibition permet de calculer le paramètre EC50 « Efficient Concentration ». Il définit la concentration efficace du substrat qui cause la perte de 50% de l'activité du DPPH [139], Ces EC50 sont déterminées graphiquement par la droite de régression dont l'abscisse représente la concentration des échantillons et l'ordonnée l'activité antioxydante en pourcentage. Le pouvoir anti radicalaire relatif (APR) est inversement proportionnel à l'EC50 ou $APR = 1/EC50$ [143].

III.2.7.3. Test de blanchissement de β -carotène / acide linoléique

L'oxydation de l'acide linoléique génère des radicaux peroxydes, ces radicaux libres vont par la suite oxyder le β -carotène entraînant ainsi la disparition de sa couleur rouge, qui est suivie par spectrométrie à 470 nm. Cependant la présence d'un antioxydant pourrait neutraliser les radicaux libres dérivés de l'acide linoléique et donc prévenir l'oxydation et le blanchissement du β -carotène. Dans ce test la capacité antioxydante est déterminée en mesurant l'inhibition de la dégradation oxydative de β -carotène (décoloration) par les produits d'oxydation de l'acide linoléique [144].



L'activité anti-oxydante relative après 48 heures est calculée selon la relation suivante :

$$AAR = (\text{Abs Échantillon} / \text{Abs BHT}) \times 100$$

Où :

- AAR : activité anti-oxydante relative.
- Abs Échantillon : absorbance de l'échantillon après 48 heures.
- Abs BHT : absorbance du BHT après 48 heures.

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1. Introduction

Plusieurs travaux ont été réalisés pour l'évaluation des secrets des plantes médicinales, dont la présente étude comparative de l'activités biologique à savoir, l'activité antioxydante et antimicrobienne des différents extraits de la poudre végétale de curcuma obtenue à partir des rhizomes séchés et broyés de la plante *Curcuma longa*, qui ont été caractérisés. selon les résultats obtenus des travaux antérieurs.

IV.2. Détermination du taux d'humidité

Les résultats de la détermination de la teneur en eau sont présentés dans le tableau IV.3:

Tableau IV.3 : Teneur en eau de l'extrait végétal de *Curcuma longa*.

Produit	Poids initial en (g)	Poids final en (g)	Teneur en eau	Référence
extrait de curcuma	5	0,757	15,14 %	[145]
	5	0,041	0,82 %	[146]

La teneur en eau obtenue par [145]15,14 %est plus élevée que celle obtenue par [146] 0,82%, le taux d'humidité peut être influencé par les conditions de stockage, la composition chimique et le climat.

IV.3. Rendement de l'extraction

IV.3.1. Extraction d'oléorésine

Tableau IV.4 : Résultat de l'extraction d'oléorésine.

Extrait	Rendement %	Référence
oléorésine	14	[145]
	13,53	[147]
	9,56	[148]
	8,13	[148]
	5,85	[148]
	23-35	[149]

Le taux de l'oléorésine obtenue par [145] est de (14%), légèrement supérieur à celui obtenu par [147] qui est 13,53 %, [148], [148]et[148] ont obtenu des rendements de 9,56% et 8,13% 5,85% respectivement. Cependant ce rendement est inférieur à celui décrit par [149] qui avance un rendement compris entre 23-35%.

IV.3.2.Extraction de l'huile essentielle

Tableau IV.5 : Résultat de l'extraction de l'huile essentielle.

Extrait	Rendement %	Référence
l'huile essentielle	7,11	[150]
	5	[151]
	4,82	[148]
	4,32	[148]
	4,20	[145]
	3,58	[148]

Le rendement en huiles essentielles obtenu par [150]est de 7.11%, supérieur aux rendements obtenus par[151],[148],[148],[145]et [148]qui sont 5%, 4.82%, 4.32%,4.20% et 3.58% respectivement.

Résultats et discussion

Ces observations nous permettent de supposer que les différences de teneurs en huile essentielle de *Curcuma longa* sont dues à plusieurs facteurs tels que l'origine géographique, les facteurs écologiques notamment climatiques (la température et l'humidité), l'espèce végétale elle-même, l'organe végétal, le stade de la croissance, la période de cueillette, la conservation du matériel végétal et la méthode d'extraction [152] [153].

IV.3.3.Extraction de curcuminoïde

Tableau IV.6 : Résultat de l'extraction de curcuminoïde.

Extrait	Rendement %	Référence
curcuminoïde	6	[151]
	5	[29]
	1,2	[145]
	0.6-5	[154]

Le rendement de curcuminoïdes obtenu par [145] est très faible par rapport à celui rapporté par d'autres travaux [29] et [151], mais, il reste comparable à celui décrit par l'European Medicines Agency [154] qui avance un rendement compris entre 0.6 et 5%.

IV.3.4.Extraction de curcumine

Tableau IV.7 : Résultat de l'extraction de curcumine.

Extrait	Rendement %	Référence
curcumine	2,96	[148]
	5,18	[148]
	6,29	[147]

Le rendement en curcumine obtenue par [147], est 6,29%, supérieur à celui obtenue par [148] et [148] avec un rendement respective 2.96%, et 5.18%.

Les variations de rendements des extractions peuvent se justifier par :

- ✓ L'effet de solvant et la nature des composés.
- ✓ Espèce et origine de la plante.
- ✓ Rapport poids de la plante /Volume du solvant.

Résultats et discussion

✓ La méthode et des conditions dans lesquelles l'extraction a été effectuée.

Selon [155], ajoutent que la composition chimique et le rendement en huiles essentielles varient suivant diverses conditions à savoir, l'environnement climatique, la localisation, le génotype, l'origine géographique, la période, lieu et durée et température de séchage, les parasites, les virus et mauvaises herbes. La lumière stimule aussi la production des huiles essentielles.

Par ailleurs [156], affirme que le mode d'extraction des huiles essentielles ne s'effectue pas toujours avec de très bons rendements. De plus, la qualité des essences obtenues dépend dans une large mesure de l'état de fraîcheur du végétal et du temps écoulé entre la récolte et la transformation industrielle.

IV.4. Caractères organoleptique de l'huile essentielle

Les caractères organoleptiques de L'HE de curcuma obtenus, sont présentés dans le **Tableau IV. 8**.

Tableau IV.8 : caractères organoleptiques des huiles essentielles de *Curcuma longa*.

Extrait	couleur	Aspect	odeur	référence
Huile essentielle de curcuma	Jaune pâle	Liquide, mobile et limpide	Epicée, boisée, fraîche, typique de l'espèce.	[145]
	Jaune vif	liquide	Aromatique acre	[157]

Les résultats présents dans tableau IV.8, sont conformes ceux rapportés par [86], signale que la plupart des huiles essentielles sont de couleur jaune pâle et parfois incolore, sauf pour les essences à azulène (camomille, matricaire) qui ont une couleur bleue, la couleur du curcuma est due aux pigments, à la curcumine, déméthoxycurcumine et bis-déméthoxycurcumine présent en elle.

IV.5. Les caractéristiques physico-chimiques

IV.5.1. Point de fusion

Tableau IV.9: valeur théorique du point de fusion d'extrait de *Curcuma longa*.

Produit	Point de fusion	Référence
curcumine	183 °C	[29]
	182-184 °C	[55]
	183 °C	[158]

Selon [29],[158]et [55],le point de fusion de curcumine varie entre 182-184 °C.

IV.5.2. Solubilité de la Curcumine

Tableau IV.10:Solubilité de curcumine dans différent solvants [55].

Solvant	Oléorésine Ethanol
Ethanol	Très soluble à 22°C
Acétone	Très soluble à 22°C
Acétate d'éthyle	Soluble à 22°C
Hexane	Insoluble à 22°C Peu soluble à 79°C
L'eau distillée	Insoluble à 22°C et 92°C
DMSO	Très soluble
Tween 80	Très soluble

Les résultats du tableau IV.10 indiquent, que la curcumine est soluble dans les solvants organiques polaire et insoluble dans les solvants apolaires et aussi dans l'eau.

En outre, [159] affirme que La solubilité est une grandeur Correspondant à la masse maximale de soluté pouvant être dissout dans un litre de solution. La curcumine est un composé pratiquement insoluble dans l'eau. Elle possède néanmoins une très bonne solubilité dans les solvants polaires aprotiques et portiques, par ordre de solubilité décroissant : n-butanone> acétate d'éthyle > méthanol > 1,2-dichloréthane > hexane.

IV.5.3. Caractérisation quantitative et qualitative des extraits

IV.5.3.1. Teneur en polyphénols totaux de *Curcuma longa*

La détermination de la teneur en polyphénols totaux des différents extraits, a été effectuée par la méthode spectrophotométrique adaptée avec le réactif de Folin-Ciocalteu qui utilise dans les différentes thèses. Les résultats obtenus sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait de plante (mg EAG/g), ils sont utilisés, l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage tracée de l'acide gallique comme composé de référence.

Les résultats obtenus par la littérature, pour les teneurs en polyphénols totaux de *Curcuma longa* sont résumés dans le tableau IV .11.

Tableau IV .11 : La teneur en composés phénoliques dans la poudre du *Curcuma longa*.

Echantillons	Polyphénols	référence
Extrait éthanolique de <i>Curcuma longa</i>	174±0,5 mg EAG/100g	[160]
Extrait de <i>Curcuma longa</i>	92 à 260 mg EAG/100g	[161]
Extrait de <i>Curcuma longa</i>	38,4 mg EAG/100g	[145]
Extrait de <i>Curcuma longa</i>	18.125 mg EAQ/g ES±0.01.	[162]
Extrait de <i>Curcuma longa</i>	4.14 mg EAQ/g	[163]

Les résultats du tableau 11 des différents auteurs, montrent que la teneur en polyphénols des échantillons, est plus élevée chez les extraits éthanoliques que les extraits aqueux, avec une teneur de 174mg EAG/100g obtenu par [160], la valeur la plus faible est obtenue pour l'extrait aqueux 4.14 mg/g obtenu par [163].

Cette différence peut être due à La distribution des métabolites secondaires qui peuvent changer pendant le développement de la plante, ceci peut être lié aux conditions climatiques dures (température, sécheresse...) qui stimulent la biosynthèse des métabolites secondaires tels que les poly-phénols [164].

IV.5.3.2. Teneur en flavonoïdes de *curcuma longa*

Le dosage des flavonoïdes décrits par la littérature, a été réalisé selon la méthode au trichlorure d'aluminium (AlCl₃) et l'étalon est la quercitrine. La teneur en flavonoïdes est exprimée en microgramme d'équivalent de quercitrine par milligramme d'extrait sec ($\mu\text{g EQ/mg de ES}$).

Tableau IV .12 : La teneur en composés flavonoïdes dans la poudre du *Curcuma longa*.

Echantillons	Flavonoïdes	référence
Extrait aqueux de <i>Curcuma longa</i>	6±0,065 $\mu\text{gEQ/mg}$	[165]
Extrait éthanolique de <i>Curcuma longa</i>	10±0,335 $\mu\text{gEQ/mg}$	
Extrait éthanolique de <i>Curcuma longa</i>	125 mg EQ/100g	[160]
Extrait de curcuma longa	5.718mgEQ/g ES±0.04	[162]

Selon le tableau12, L'ensemble des résultats obtenus par les différents auteurs, montrent que la concentration en flavonoïdes enregistré dans l'échantillon, varient considérablement. Elle est plus élevée chez les extraits éthanoliques que les extraits aqueux, avec une teneur de 125 mg EQ/100g obtenu par [160].

IV.5.3.3. Analyse de l'huile essentielle du curcuma par GC-MS

L'analyse de la composition chimique de l'HE du curcuma a été réalisée par GC-MS les résultats obtenus ont montrés l'identification de 84 composés représentés 97,60% de la totalité, listés selon leur temps de rétention.

Tableau IV.13 : les composés majoritaires présents dans l'HE de *Curcuma longa*.

Constituant	Teneur en pourcentage %		
	[145]	[166]	[167]
Ar-turmérone	21,46 %	24,4 %	35,96 %
-turmérone	13,40 %	11,1 %	16,75 %
-turmérone	19,29 %	20,5 %	13,97 %

Résultats et discussion

Les résultats présentés dans tableau 13 révèlent que, Ar-turmérone est plus élevée par rapport aux autres composés, la teneur la plus élevée est obtenue par [167] qui est de **35.96%**, les autres constituants sont -turmérone et -turmérone obtenus par [167], avec une teneur de 16,75 % et 13,97 % respectivement.

IV.5.3.4. spectroscopie infrarouge IR

Tableau IV.14 : les résultats d'infrarouges

Bande d'Abs (cm ⁻¹)	Groupement	référence
3404	OH	[168]
3336	OH	[55]
2962	C-H (méthylène)	[168]
2949	CH ₃	[168]
2932	CH ₃	[168]
2894	CH ₂	[168]
2873	CH ₂	[168]
1462	C-H du groupement CH ₂	[168]
1114	C-H du groupement CH ₂	[145]
846	C-H	[168]
672	C-H du système aromatique	[168]
3341	hydroxyle libre	[55]
719, 815 et 962	C-H des groupes alcènes	[55]
1745	C=O	[168]
1712	céto-énolique	[55]
1463 et 1378	C-O	[55]

Le spectre IR de la curcumine indique une large bande comprise entre 3200 et 3500 cm⁻¹. Celle-ci est due à (OH) phénolique, la bande d'Abs 1600 et 1745 correspondant au mélange de vibration (C=O) et de (O-H) de groupe Alcène.

IV.5.4. Etude des activités biologiques

IV.5.4.1. l'activité antioxydante

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la valorisation des extraits de curcuma en tant qu'antioxydants. La méthode appliquée pour mesurer une activité antioxydante est celle du piégeage des radicaux libres à l'aide du DPPH•. Les facteurs qui influencent la réactivité au radical libre DPPH• et les protocoles publiés ont été discutés. À des fins comparatives sont

Résultats et discussion

testées des solutions modèles de composés appartenant à des familles phénoliques distinctes (solutions d'acide gallique, l'acide ascorbique et BHT). Les propriétés antioxydantes ont été mesurées et mises en évidence par la concentration efficace CE50 et par la cinétique de réduction.

Tableau IV.15 : Les valeurs de pourcentage d'inhibition de l'extrait de *Curcuma longa*.

Solution	Pourcentage d'inhibition	Référence
Contrôle positif (Acide ascorbique)	96% \pm 0.007	[162]
Solution méthanolique de DPPH-curcuma)	99% \pm 0.03	
Solution méthanolique de DPPH-curcuma)	75,4%	[145]
Solution méthanolique de DPPH-curcuma)	62,2%	[169]
Solution méthanolique de DPPH-curcuma)	76,44 %	[170]

Un fort pourcentage d'inhibition est obtenu avec l'extrait méthanolique de curcuma (99 % \pm 0.03), par rapport un pourcentage d'inhibition de vitamine C (96 %).

Tableau IV.16 : Les résultats d'activité anti radicalaire et pourcentage d'inhibition.

solution	Pourcentage d'inhibition	APR	Référence
Contrôle positif (Acide gallique)	92,6%	50%	[55]
curcumine	99.1%	50%	

La curcumine a montré un pouvoir de piégeage du radical DPPH très important avec un pourcentage d'inhibition élevé (IC= 99.1%), par contre l'acide gallique produit un pourcentage d'inhibition de (IC acide gallique=92,6%).

Selon [171], il a été démontré que la curcumine est dix fois plus antioxydant que la vitamine E.

Résultats et discussion

Tableau IV.17 : Les valeurs des concentrations efficaces, activité anti radicalaire et pourcentage d'inhibition.

solution	Pourcentage d'inhibition	IC50 ($\mu\text{g/ml}$)	EC50	Référence
Contrôle positif BHT	95%		$22 \pm 1 \mu\text{g/ml}$	[165]
Solution éthanolique	90%	$40 \mu\text{g/ml} \pm 0,57$	$71 \pm 1,52 \mu\text{g/ml}$	
Solution aqueux	80%	$52 \mu\text{g/ml} \pm 1$	$126 \pm 1,52 \mu\text{g/ml}$	

Selon le tableau 17, le pourcentage d'inhibition de l'extrait éthanolique est largement supérieur par rapport à l'extrait aqueux par contre BHT produit un pourcentage d'inhibition de (95 %).

Les EC50 pour l'extrait aqueux de *C.longa* $126 \pm 1,52 \mu\text{g/ml}$. Et pour l'extrait éthanolique de *C.longa* est $71 \pm 1,52 \mu\text{g/ml}$, Ce pouvoir réducteur est supérieur à celui du BHT qui est $22 \pm 1 \mu\text{g/ml}$.

Le IC50 de l'extrait éthanolique $40 \mu\text{g/ml} \pm 0,57$ est faible par rapport à l'extrait aqueux $52 \mu\text{g/ml} \pm 1$. Plus la valeur de IC50 est petite plus l'extrait est considéré comme un antioxydant puissant.

❖ Discussion de l'activité antioxydante

Le pourcentage d'inhibition du radical varie selon le produit examiné. La curcumine a montré un excellent pouvoir inhibiteur du radical DPPH, elle est mieux que l'acide gallique et l'acide ascorbique peut exercer un effet antioxydant à travers ses groupes phénoliques et dicétoniques et peut donc agir comme piègeur des radicaux libres. Cependant, il a été récemment démontré que les groupes hydroxyles phénolique sont responsables du pouvoir antioxydant de la curcumine.

Selon [172], ont montré que les rhizomes de *C.longa* contiennent un mélange de composés en particulier sesquiterpènes et curcuminoïdes (en particulier curcumine) en tant que composés bioactif majeur, il exerce un potentiels anti radicalaire très important ; cela contribuée à la preuve scientifique de l'utilisation traditionnelle. Plus la valeur de IC50 est petite plus l'extrait est considéré comme un antioxydant puissant.

IV.5.4.2. L'étude de l'activité antibactérienne

L'activité antibactérienne des extraits de *Curcuma longa L* a été testée vis-à-vis 11 souches bactériennes (*Bacillus subtilis*, *E.coli*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus aureus* subsp, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, *Serratia*, *Candida albicans*, *Risopusoryzae*) via la méthode de diffusion sur disques. L'activité de curcuma étudiée a été évaluée par la présence ou l'absence d'inhibition de la croissance bactérienne. La présence de l'activité antibactérienne est traduite par l'apparition des zones claires autour de disque imbibés de 10 μ l d'extraits de la plante et de chaque dilution de l'extrait brut, l'absence de l'inhibition se traduit par l'absence des zones claires autour des disques. Le diamètre de zone claire ou zone d'inhibition varient en fonction de la souche testée, la nature et la dose de la substance active présente dans les extraits.

L'échelle de l'estimation de l'activité antimicrobienne est donnée par [173],

Ils ont classé les diamètres de zones d'inhibition (D) de la croissance bactérienne en 5 Classes ;

- Très fortement inhibitrice : D \geq 30mm
- Fortement inhibitrice : 21mm \leq D \leq 29mm
- Modérément inhibitrice ; 16mm \leq D \leq 20mm
- Légèrement inhibitrice : 11mm \leq D \leq 16 mm
- Non inhibitrice : D < 10

Les diamètres des zones d'inhibition de la croissance bactérienne estimée par tous les extraits sont rassemblés dans les tableaux 18, 19, 20 et 21.

Résultats et discussion

Tableau IV.18 : Activité antibactérienne des extraits de *Curcuma longa* dilués par Eau physiologique stérile 0,9%.

Germ	Souche bactérienne	Extrait	Zone d'inhibition (mm)	Interprétation	Référence
positif	Bacillus subtilis ATCC 6633	Extrait aqueuse	12	Légèrement inhibitrice	[145]
		Extrait de curcuminoïdes	Absence	Non inhibitrice	
		l'huile essentielle	20	Modérément inhibitrice	
		Les composait phénolique	20	Modérément inhibitrice	[162]
	Staphylococcus aureus ATCC 6538	Extrait aqueuse	Absence	Non inhibitrice	[145]
		Extrait de curcuminoïdes	Absence	Non inhibitrice	
		l'huile essentielle	16	Modérément inhibitrice	
		Les composait phénolique	16	Modérément inhibitrice	[162]
levure	Candida albicans	Extrait aqueuse	Absence	Non inhibitrice	[145]
		Extrait de curcuminoïdes	Absence	Non inhibitrice	
		l'huile essentielle	13	Légèrement inhibitrice	
Champignon	Risopusoryzae M491890.1	Les composait phénolique	Absence	Non inhibitrice	[162]

Résultats et discussion

➤ la souche *Bacillus subtilis* ATCC 6633

Selon tableau 18, et d'après les résultats microbiologiques obtenus par les différents auteurs. Nous remarquons que la zone d'inhibition (mm) varie selon l'extrait étudié, on observe une activité modérée pour *Bacillus subtilis* ATCC 6633 avec un diamètre d'inhibition variant de 12 à 20 ± 0.3 et absence totalement de l'inhibition dans l'extrait curcumnoïdes.

➤ la souche *Staphylococcus aureus* ATCC 6538

Une activité modérée pour *Staphylococcus aureus* avec un diamètre d'inhibition 16mm ± 0.7 . Dans l'HE et les composés phénoliques. Ce qui démontre la sensibilité de ces souches à l'extrait de curcuma, par contre est nulle pour les autres extraits.

➤ la souche *Candida albicans*

Légèrement inhibitrice pour l'huile essentielle avec un diamètre d'inhibition 13 mm, avec une absence totale de l'effet inhibitrice pour l'extrait aqueux et curcuminoïdes.

Par contre *Risopusoryzae*M491890.1 est une souche très résistante. et ne présente aucune sensibilité vis-à-vis du composé phénolique.

Tableau IV.19 : Activité antibactérienne des extraits de *Curcuma longa* dilués par DMSO.

Garm	Souche bactérienne	Extrait	Zone d'inhibition (mm)	Interprétation	Référence
positif	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 6538	Extrait de curcuminoïdes	20	Modérément inhibitrice	[55]
		curcuma	10	Légèrement inhibitrice	[170]
	<i>Bacillus subtilis</i> ATCC 6633	Extrait de curcuminoïdes	16	Modérément inhibitrice	[55]
Négatif	<i>Escherichia coli</i> ATCC8739	Extrait de curcuminoïdes	00	Non inhibitrice	[55]
		curcuma	9	Légèrement inhibitrice	[170]
	<i>Serratia</i>	Extrait de curcuminoïdes	15	Modérément inhibitrice	[55]
	<i>Salmonella Typhimurium</i> ATCC 14028	curcuma	11	Légèrement inhibitrice	[170]

D'après les résultats microbiologiques obtenues par les différents auteurs (tableau 19), nous constatons que:

➤ ***Staphylococcus aureus* ATCC 6538**

La souche *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 est sensible aux extraits de curcuma dilué dans le DMSO dont des zones d'inhibition comprises entre 10-20mm.

➤ ***Bacillus subtilis* ATCC 6633**

Bacillus subtilis est très sensible à l'extrait de curcuminoïdes, présente une sensibilité modérément inhibitrice.

➤ ***Escherichia coli* ATCC8739**

Les zones d'inhibition mesurées, pour la souche *Escherichia coli* ATCC8739 est 9 mm avec le curcuma, mais par contre n'a présentée aucune activité inhibitrice pour l'extrait de curcuminoïdes. Pour *Serratia*, la zone d'inhibition est de diamètre 15 mm, elle est Modérément inhibitrice.

Résultats et discussion

➤ *Salmonella Typhymurium* ATCC 14028

La zone d'inhibition mesurées, pour la souche *Salmonella Typhymurium* ATCC 14028 de 11 mm avec le curcuma, elle est Légèrement inhibitrice.

Tableau IV.20 : Activité antibactérienne des extraits curcuminoïdes dilués par Tween 80.

Garm	Souche bactérienne	Zone d'inhibition (mm)	Interprétation	Référence
positif	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 6538	00	Non inhibitrice	[55]
	<i>Bacillus subtilis</i> ATCC 6633	16	Modérément inhibitrice	
Négatif	<i>Serratia</i>	21	Fortement inhibitrice	
	<i>Escherichia coli</i> ATCC8739	00	Non inhibitrice	

D'après ces résultats microbiologiques obtenus par [55], on constate que l'extrait de curcuma dans le tween 80, présente une activité inhibitrice pour la bactérie *Serratia*, dont les diamètres d'inhibition est de 21 mm. et une zone d'inhibition de diamètre 16 mm pour la souche *Bacillus subtilis*. On remarque aussi que l'extrait de curcuma n'a présenté aucune activité inhibitrice sur *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*.

Résultats et discussion

Tableau IV.21 : Activité antibactérienne des extraits méthanolique de *Curcuma longa* diluées par Méthanol [170].

Garm	Souche bactérienne	Zone d'inhibition (mm)	Interprétation
Négatif	<i>Escherichia coli</i> ATCC8739	17	Modérément inhibitrice
	<i>Salmonella Typhymurium</i> ATCC 14028	18	Modérément inhibitrice
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853	17	Modérément inhibitrice
positif	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 6538	Absence	Non inhibitrice
	<i>Staphylococcus aureus</i> subsp ATCC 25923	10	Légèrement inhibitrice

Les résultats microbiologiques relatifs à la sensibilité du méthanol, obtenu par [170] sont résumés dans le tableau 21 :

➤ **la souche *Escherichia coli* ATCC8739**

La zone d'inhibition mesurée, pour la souche *Escherichia coli* est 17mm avec le curcuma. *Escherichia coli* est une bactérie très sensible à l'extrait de curcuma.

➤ **la souche *Salmonella Typhymurium* ATCC 14028**

La zone d'inhibition mesurée, pour la souche *Salmonella Typhymurium* est de 18mm avec le curcuma donc *Salmonella Typhymurium* est une bactérie modérément sensible à l'extrait de curcuma.

➤ **la souche *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853**

L'intervalle d'inhibition mesurée pour la souche *Pseudomonas aeruginosa* 17mm avec le curcuma et donc la bactérie est modérément sensible aux extraits de curcuma.

➤ **la souche *Staphylococcus aureus* ATCC 6538**

Aucune zone d'inhibition n'a été observée dans les boîtes de pétriensemencées par la souche *Staphylococcus aureus* ATCC 6538.

➤ **la souche *Staphylococcus sp* ATCC 25923**

La zone d'inhibition mesurée, pour la souche *Staphylococcus sp* 10mm avec le curcuma donc la bactérie présente une activité légèrement inhibitrice à l'extrait de curcuma.

❖ **Discussion de l'activité antibactérienne**

A partir échelle de [173], on constate que l'activité antibactérienne de l'extrait *Curcuma longa* est modérément inhibitrice (16mm D 20mm).

L'effet inhibiteur des composés phénolique sur la croissance des bactéries peut être expliqué par plusieurs raisons. Parmi les l'hypothèse avancés, on peut citer la chélation des métaux tel que le fer qui est nécessaire à la croissance microbienne, l'action sur les membranes des micro-organismes conduisant à la perte de son intégrité structurale [174].

Conclusion générale

Les plantes médicinales restent toujours la source fiable des principes actifs connus par leurs propriétés thérapeutiques. Dans la présente étude, nous nous sommes intéressés à l'évaluation des activités biologiques de l'extrait *Curcuma longa* L. De la famille des Zingibéracées,

L'objectif des travaux présentés dans ce mémoire, est l'étude comparative consacrée à la recherche d'éventuels activités biologique à savoir antioxydante et antimicrobienne. sur les différent extraits de la poudre végétal de curcuma obtenue à partir des rhizomes séchés et broyés de la plante *Curcuma longa* L.

Les résultats de notre étude nous ont permis de tirer les observations suivantes:

L'étude bibliographique a montré que *Curcuma longa* L été reconnue depuis longtemps en médecine populaire dans le traitement de physiopathologiques de nombreuses conditions, telles que les inflammations et les rhumatismes. Il serait donc très intéressant de l'exploiter pour la recherche de ses principes actifs, responsables de ces propriétés pharmacologiques. La détermination de rendement de différentes extractions laisse constater que l'extrait de [145] a donné le meilleur taux 14%, cette valeur est satisfaisante en terme de quantité par rapport à d'autres rendements obtenus chez la même espèce.

La curcumine est caractérisée par qui varie son point de fusion, qui varie entre 182-184 °C donné par la littérature.

Les extraits de curcuma, sont solubles dans des solvants organiques polaires et insolubles dans les solvants apolaires, et aussi dans l'eau. L'étude structurale par IR en comparant les spectres des complexes à ceux des ligands correspondants que le métal est coordonné à la curcumine par le groupement (OH) de la fonction énol.

L'analyse quantitative de la teneur en polyphénols totaux par la méthode de Folin-Ciocalteu, et des flavonoïdes par la méthode au trichlorure d'aluminium, montre la présence de quantités importantes de substances phénoliques surtout pour [160], Selon les résultats obtenus dans la littérature, nous pouvons dire que *Curcuma longa* est riche en phénols totaux et flavonoïdes.

La GC-MS des composantes chimiques des huiles essentielles, la présence de trois composantes majoritaires, à savoir : Ar-turmérone (20% à 40%), -turmérone (11 % à 17%), -turmérone (13% à 20%) .

Conclusion générale

L'huile essentielle de *Curcuma longa* a montrée une activité anti-oxydante très importante avec des EC50 $126 \pm 1,52 \mu\text{g/ml}$ très intéressantes par la technique DPPH, et plus forte que celle du BHT avec une (EC50 $22 \pm 1 \mu\text{g/ml}$). Les résultats obtenus par le test du pouvoir réducteur de Fer montrent que l'huile *d'curcuma longa L* exerce un pouvoir réducteur important. Alors que, le potentiel antiradicalaire de l'extrait méthanolique est déterminé par la méthode de DPPH, présente un pouvoir antioxydant supérieur avec un pourcentage de (99 %) à celui de la vitamine C (96 %). par ailleurs Les résultats de l'activité antioxydante montrent que la curcumine est un excellent inhibiteur du radical DPPH, elle est mieux que l'acide gallique.

L'activité anti-radicalaire des extraits est relativement dépendantes de la teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes, donc ces molécules sont considérées comme des agents antioxydants de première classe et peuvent être employées pour des applications thérapeutiques, sachant que les antioxydants contribuent de manière très efficace à la prévention des maladies telles que le cancer, et les maladies cardiovasculaires.

L'activité antibactérienne de *Curcuma longa L* sur différentes souches bactériennes de gram positif et négatif est significatif. Cette efficacité est due à la présence des flavonoïdes et les constituants des huiles essentielles qui sont des métabolites secondaires réputés pour leurs effets antibactériens.

Le *Curcuma longa L* est un agent antioxydant naturel prometteur et non toxique, ayant un large spectre de fonctions biologiques et devrait trouver une application en tant que nouveau médicament, indiqué notamment pour les désordres inflammatoires, la carcinogenèse, et les pathologies causées par le stress oxydatif.

Références bibliographiques

- [1] Larousse des plantes médicinales.édition Hong Kong, (2002).
- [2] Philippe Sionneau, la phytothérapie chinoise moderne, (2006), p 500.
- [3] Zbalah Halima, « Effet de séchage des plantes médicinales de la famille des Lamiacées (Romarin) sur l'activité antibactérienne »PFE- UNIVERSITE Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem,(02/07/2018).
- [4] Andrianne P, *La gemmothérapie, médecine des bourgeons*, nouvelle édition, Editions Amyris, Octobre, (1998).
- [5] Ma W. G., Tan R. X., Fuzzati N., Li Q. S., Wolfender J. L., HostettmannK, Natural Occurring and synthetic polyne glycosides. *Phytochemistry*, 45(2): 411- 415, (1997).
- [6] Iserin P, *Encyclopedies des plantes médicinales*. Ed: Larousse Bourdesse. Paris, (2001), p 335.
- [7] HOMBOURGER Christelle, *Le Curcuma de l'épice au médicament*. [en ligne] Thèse de doctorat en pharmacie. Lorraine : Université de Nancy, (2010) ,222 P.
- [8] Huet M., Fleurentin J. Curcuma, thé vert et chardon-marie: quelle stratégie adopter En prévention du cancer ou en complément des traitements? *Hegel*; 3 (4): 268- 281, (2013).
- [9] Ishita C., Kaushik B., Uday B., Banerjee R.K.,"Turmeric and curcumin: Biological actions and medicinal applications". *Current science*; 87(1): 10, (2004).
- [10] *Encyclopedia of Medicinal Plants (2nd Edition)* Copyright ©,Dorling Kindersiey Limited, Londres Text copyright © 1996, 2001 Andrew Chevallier © 2001 Larousse / VUEF pour la présente édition © 1997 Larousse-Bordas pour l'édition originale en langue française (1996, 2001).
- [11] Fouché J. G., Marquet A. Et Hambuckers A. Les plantes médicinales, de la plantes aux médicaments. *Observatoire du monde des plantes Sart-Tilman*,(2000).
- [12] Farnsworth N. R., Akerele O., Bingel A. S., Soejarto D. D. et Guo Z. Places des Plantes médicinales dans la thérapeutique. *Bulletin de l'organisation mondiale de la santé*, 64 (2) : 159-164,(1986).
- [13] livre «les plantes médicinales»,Institut Européenne des substances végétale, (2016).
- [14] Bahorun T. Substance naturelles actives : la flore mauricienne, une source d'approvisionnement potentielle. *AMAS,Food and agricultural research council. Réduit Mauritius*, (1997).
- [15] Broad.Scientific correspondence. spectrum antimycotic drug for the treatment of

Références bibliographiques

- Ringworm infection in human beings.85 (1), 30-34,(2003).
- [16] Svoboda K.P.et Hampson J.B. Bioactivity of essential oils of selected temperate Aromatic plants: antibacterial, antioxidant, anti-inflammatory and other related pharmacological activities .plant biology department, SAC Auchincruive,(1999).
- [17] Narayana K.R. Reddy M.S. , chaluvadi M.R. et Krishna D.R. Bioflavonoids Classification, pharmacological, Biochemical Effects and therapeutic Potential. Indian journal of pharmacology 33-16,(2001).
- [18] Amjad Hossain M. Neem seed oil: Bangladesh. Exemples of the development of Pharmaceutical products from Medicinal plants, Bangladesh council of scientific and Industrial Research (BCSIR),10,59-63,(2005).
- [19] Lee K.W. ,Kim Y.J. Lee H .J. , Lee C.Y., Cocoa Has More Phenolic phytochemicals and a Higher antioxidant Capacity than Teas and Red Wine .J.Agric, Food Chem ,51,7292-7295,(2003).
- [20] Dastidar S.G.,Manna A,Kumar K.A., Mazumdar K. ,Dutta N.K., Chakrabatary A.N,Motohashi N .et Shirataki Y. Studies on the antibacterial potentiality of isoflavones .International Journal of Antimicrobial Agents .23,99-102,(2004).
- [21] Porter N , Essential oils and their production .Crop and Food Research .Number 39, (2001).
- [22] Delaveau P. les épices .Histoire, description et usage des différents épices aromates et condiments. Albin Michel Editeur .372 p, (1987).
- [23] Frantisek, S., Vaclav T. Plantes médicinales atlas illustré : Ed Grund Paris (5p), 1992. A.N,Motohashi N .et Shirataki Y. Studies on the antibacterial potentiality of isoflavones .International Journal of Antimicrobial Agents .23,99-102,(2004).
- [24] Delaveau P. Les épices. Histoire, description et usage des différents épices, aromates et condiments.Paris : Albin Michel, p.130-136,(1987).
- [25] Anil K., Jyotsna D., Anup S. A review on spice of life curcuma longa (turmeric). International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology. Volume: 2. ISSN 0976-4550:373,(2011).
- [26] PENSO G. Les plantes médicinales dans l'art et l'histoire.Paris: Roger Da Costa ed., (1986).

Références bibliographiques

- [27] Consumer Knowledge Network: Turmeric: History, Culinary Uses and Nutrition.
- [28] Perry M.-C. Evaluation de la curcumine comme agent anticancéreux dans le Traitement des tumeurs cérébrales. Mémoire : Chimie : Montréal : (2008).
- [29] HOMBOURGER Christelle. Le Curcuma de l'épice au médicament. [en ligne] Thèse de doctorat en pharmacie. Lorraine : Université de Nancy, (2010),333 P.
- [30] Plantes aromatiques. Epices, aromates, condiments et huiles essentielles.- Allemagne. : Tee & Doc Lavoisier,(2005), 522p.
- [31] Santéscience.fr /science des thérapies naturelles
- [32] Dymock .W. Pharmacographia indica, a history of the principal drugs of vegetable Origin.Vol.1. Londres : Kegan Paul, Trench, Trüber & Co,-624 p1890
- [33] Girre L. La médecine par les plantes à travers les âges. Rennes : Ouest France, 187, p, 1981.
- [34] CHEIKH ALI, Zakaria. Études chimiques et biologiques d'Aframomum sceptrum (Zingiberaceae) et de la curcumine. [en ligne] Thèse de doctorant de l'université Paris-Sud. Orsay : Université parisi-sud, (2012). 199P. Format PDF
- [35] Herbal Medicine: Biomolecular and Clinical Aspects, 2ème edition. USA :CRC press, (2011),499 p
- [36] KRIEKEN, BETSYVAN, Curcuma longa (1881) [dessin]. In KRIEKEN, BETSYVAN, The art of knowledge: educational botanical wall charts 1870-1960, Stichting Academisch Erfgoed, (1881).
- [37] JANSEN P.C.M., GRUBBEN G.J.H., CARDON D.Ressources végétales de l'Afrique tropicale 3. Colorants et tanins.Wageningen, Pays-Bas : PROTA, (2005).-238p.
- [38] Emeline LONCHAMPT *CURCUMA DOMESTICA* V. (Zingibéracées) thèse DE DOCTORA EN PHARMACIE le 15 juillet (2002).
- [39] GONDA R., TOMOBA M., SHIMIZU N., KANARI M. . Characterization of -polysaccharides having activity on the reticuloendothelial system from the rhizome of turcuma longa. Chemical & pharmaceutical bulletin (Tokyo), (1990), 38, 2, 482 - 486 p.
- [40] RAVINDRAN P., NIRMAL BABU K., SIVARAMAN K.. Turmeric: the genus curcuma. London: Taylor & Francis group, (2007).

Références bibliographiques

- [41] LAMPE V., MILOBEDZKA. J. Studien fiber Curcumin. Ber Deutsch ChemGes 1913; 46:2235.
- [42] AGGARVAL BB, KUMAR A, BHARTI AC Anticancer potential of curcumin : preclinical and clinical studies. Anticancer Res (2003); 23:363-98.
- [43] SHEN L, JI HF. Theoretical study on physicochemical properties of curcumin. Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc (2007); 67:619–23.
- [44] Badmaev, V. et Majeed, M. J. Un bioprotecteur issu du curcuma. Parfums Cosmétiques Actualités, 154, 48-49 (2000).
- [45] D'Mello, J. P. F. et MacDonald, A. M. C. Mycotoxins. Animal Feed Science Technology, 69,155-166 (1997).
- [46] Fouda, A.S. and Elattar, K.M. Curcumin Derivatives as Green Corrosion Inhibitors for -Brass in Nitric Acid Solution. Journal of Materials Engineering and Performance, 21, 2354-2362,(2012).
- [47] Elmsellema, H., Youssouf M.H., Aounitia A., Ben Haddab T., Chetouania, A. and Hammouti B. Adsorption and Inhibition Effect of Curcumin on Mild Steel Corrosion Hydrochloric Acid. Russian Journal of Applied Chemistry, 87, 744-753,(2014).
- [48] Abdul Halim A., Abu Bakar F., Abidin N.Z., Awang M., Wahab I. and IthninA. Effect of the Acidic Food Flavors and Turmeric towards Aluminium Leachability. Australian Journal Basic Applied Science, 5, 597-601,(2011).
- [49] Rajendran S., Duraiselvi K., Prabhakar P., Pandiarajan M., Tamilmalar M. and Joseph Rathish R. Corrosion Resistance of Commercial Aluminum in SimulatedConcrete Pore Solution in Presence of Curcumin Extract. European Chemical Bulletin, 2, 850-854,(2013).
- [50] Johnsirani V., Sathiyabama J., Rajendran S. and Nagalakshmi R. Curcumin Dye as Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in Sea Water. European Chemical Bulletin, 2, 401-406, (2013).
- [51] Elmsellem H., H.Youssouf M., Aouniti A., Ben Hadda T., Chetouani A., and Hammouti B. Received April 16, Adsorption and Inhibition Effect of Curcumin on Mild Steel Corrosion in Hydrochloric Acid. Russian Journal of Applied Chemistry,6, (2014),pp. 744–753.
- [52] Yiesvliip-rv, Document réservé à usage des professionnelles de la santé, Imprimé sur des papier issue de forêts gérées durablement, 04.mars (2015).
- [53] GUERROUF Asma., « Application des huiles essentielles dans la lutte

Références bibliographiques

- microbiologique cas d'un cabinet dentaire » PFE- UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA, (1/06/2017).
- [54] mekri amina.,« Extraction, caractérisation, activité antibactérienne et anti-oxydante des huiles essentielles des graines de fenouil (Foeniculumvulgare)». PFE. Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana,(2019).
- [55] Beghdad Nesrine et Loubna « Extraction de la curcumine du Curcuma, étude de ses propriétés par DFT et évaluation de ses activités antibactérienne, antioxydant et anti inflammatoire » PFE. Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana (2017 / 2018).
- [56] Cardenas-Toro F.P., Alcazar-Alay S.C., Coutinho J.P., Godoy H.T., Forster- Carneiro T.F., A.Meireles M.A. Pressurized liquid extraction and low-pressure solvent extraction of carotenoids from pressed palm fiber: Experimental and economical Evaluation. Food and Bioproducts Processing. 94. 90-100, (2015).
- [57] Luque de Castro M.D., Priego-Capote F. Soxhlet extraction: Past and present Panacea. Journal of chromatography A.. 1217. 2383-2389, (2010).
- [58] AL-Bandak G., Oreopoulou V. Antioxidant properties and composition of Majorana syriaca extracts. European Journal of Lipid science and technology, 109 (3): 247 255,(2007).
- [59] Ecribano B., Santos B. Polyphenols extraction from foods. In Methods in polyphenol analysis. Royal Society of Chemistry. Thomas Graham House, Science, (2003).
- [60] Macleod J.L., Troconis N.G. Volatile flavour components of mango fruit. Phytochemistry, 21: 2523-2526, (1982).
- [61] Xavier Fernandez & Farid Chemat .la chimie des huiles essentielles, tradition et innovation, Edition vuibert p122.
- [62] Alupului A., Calinescu I., Lavric V. Ultrasonic vs. microwave extraction intensification of activite principes from medicinal plants. Conference Series. 9p, (2009).
- [63] Prescott. L. M, Harley. J. P, Klein. D. A.,Microbiologie. De Boeck : Bruxelles, 2eme édition (2003).

Références bibliographiques

- [64] Rudramurthy G.R., Swamy M.K., Sinniah U.R., Ghasemzadeh A., Nanoparticles: alternatives against drug-resistant pathogenic microbes. *Molecules*.21:7-8,(2016).
- [65] Lamia BOUTABIA*^{1,2}, Salah TELAILIA^{1,2}, Ismail BOUGUETOFF¹, Faouzi GUENADIL¹ et Azzedine CHEFROUR^{3,4}, Composition chimique et activité antibactérienne des huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis* L. de la région de Hammamet (Tébessa-Algérie), le (29 août 2016).
- [66] Mazouz B, Hahdaoui A, « Caractérisation et l'étude de l'effet antibactérien de l'huile essentielle des graines de *Petroselinum Sativum*», Thèse d'ingénieur d'état en biologie, Faculté des sciences agronomiques et des sciences biologiques, Université Hassiba Ben Bouali-chlef, (2010).
- [67] Valnet M., Antibacterial activity of 11 essential oils against *Bacillus cereus* in tyndallized carrot broth International. *Journal of Food Microbiology*.85, (2005), p: 73-81.
- [68] Sipailiene A., Venskutonis P.R., Baranauskiene R. & Sarkinas A.- Antimicrobial Activity of commercial samples of thyme and marjoram oils. *Journal of Essential Oil Research*, (2006).
- [69] Bruneton J. Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. Ed. mdicales internationales Editions Technique & Documentation, Cachan, [S.l.], (1999), p. 647-673.
- [70] Raut J. S. and Karuppayil S. M. A status review on the medicinal properties of essential oils. *Industrial Crops and Products*. 62:250-264,(2014).
- [71] Lewis K., Ausubel F.M., Prospects for plant derived antibacterials. *National Biotechnology*. 24:1504-1507, (2006).
- [72] F. Bakkali a,b, S. Averbeck a, D. Averbeck a, M. Idaomar., «Biological effects of essential oils – A review », (2007).
- [73] Carson CF., Rillea TV., Bosque F., Antimicrobial activity of the major components of essential oil of *Malaleuca alternifolia*. *J.Appl. Bacteriol.*(2002);78: 264-269.
- [74] Burt S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *Int J Food Microbiol.*(2004); 94(3): 223-253.
- [75] Cailleta S. & Lacroix M., Les huiles essentielles: leurs propriétés antimicrobiennes et leurs applications potentielles en alimentaire. INRS-Institut Armand-Frappier, RESALA, (2007); 1-8.

Références bibliographiques

- [76] Dale Sasso M., Culici M., Braga C., Guffanti E.E. and Mucci M., Thymol: Tnhibitory Activity on Echerichia coli and Staphylococcus aureus Adhesion to hurnan Vaginal Ceils. *Journal of Essential Oil Research.* (2006);18: 455-461.
- [77] Leclerc H., Izard D., Husson M.O., Watre P. et Jakubczak E., *Microbiologie générale.* 2 ème édition. Ed. Dom, Paris, (1983),190p.
- [78] BELBACHIR., S, TCHENAR.,N.,« Etude de l'activité antibactérienne des huiles essentielles des plantes médicinales Ruta chalepensis et Lavande angustifolia de la région d'Ain Temouchent » Universitaire Belhadj Bouchaib d'Aïn-Témouchent. (2019).
- [79] Turgis M, Han J, Caillet S, et al. Antimicrobial activity of mustard essential oil against Escherichia coli O157:H7 and Salmonella typhi. *Food Control* 20:1073–79, (2009).
- [80] A. Bouyahya · Y. Bakri · A. Et-Touys · A. Talbaoui · A. Khouchlaa · S. Charfi · J. Abrini · N. Dakka.« Résistance aux antibiotiques et mécanismes d'action des huiles essentielles contre les bactéries. » ,(2017).
- [81] Haddouchi F., Lazouni H., Ahammer KA., Carson CF., Riley TV., Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *J.Appl. Microbiol.* 86:985-990, (1999).
- [82] Leila lakhdar,« évaluation de l'activité antibactérienne d'huiles essentielles marocaines sur *aggregatibacter actinomycetemcomitans* : étude in vitro » le (24 février 2015).
- [83] Muanda FN., « Identification de Polyphenols, Evaluation de leur Activité Antioxydante et Etude de leurs Propriétés Biologiques ». Thèse de Doctorat. Université Paul Verlaine-Metz,(2010),P 239.
- [84] Guinoiseau E., Molécules antibactériennes issues d'huiles essentielles : séparation, identification et mode d'action. Thèse de doctorat. Université de corse, France, (2010),P 114.
- [85] Cosentino S., Tuberoso CIG., In-vitro antimicrobial activity and chemical composition of Sardinian. Thymus essential oils. *Letters in Applied Microbiology.* (1999);29(2): 130- 135.
- [86] ARAR, O, GHOUMA T.,« Extraction et Caractérisation physico_chimique et biologique des huiles essentielles extraits à partir d'une plante médicinale (*Cotula cineria*) de la région d'El oued », (2018).

Références bibliographiques

- [87] Girault M., Bougeon J. L'aromatogramme. Cahier de biothérapie, (1971); n°29.
- [88] Hellal Z., « Des Propriétés Antibactériennes Et Antioxydants De Certaines Huiles Essentielles Extraites Des Citrus Application Sur La Sardine (*Sardina Pilchardus*) ». Magistère, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou,(2011); Pp1-8-45-78.
- [89] Guérin-Faubleé V., Carret., L'antibiogramme : principes, méthodologie, intérêt et limites. *Journées nationales GTV-INRA, 5-12, (1999)*.
- [90] El kalamouni C., Marzouk B., Menut C., « Caractérisations chimiques et biologiques d'extraits des plantes aromatiques oubliées de Midi-Pyrénées ». Thèse de Doctorat, Université de Toulouse,(2010).
- [91] Cowan M. M. Plant Products as Antimicrobial Agents. *Clin. Microbiol. Rev.* (1999); 12: 564-582.
- [92] Ulanowska, K., Traczyk, A., Konopa, G & Wegrzyn, G.,*Differential Antibacterial Technological, Toxicological, and Health Perspectives*, Marcel Dekker, Inc. New York, (2008), p.65.
- [93] Daglia,M.,*Polyphenols As Antimicrobial Agents. Current Opinion In Biotechnology, ,1 – 8.*Decock, P ; 1, Isbn-8041-1592-5.), (2011).
- [94] Bergogne-Berezin E., Dellamonica P.,*Antibiothérapie en pratique clinique*. Ed Masson, Paris, (1995); 486 p.
- [95] Singh SB., Barrett JF., Empirical antibacterial drug discovery- foundation in natural products. *Biochem. Pharmacol*,(2006), 71: 1006-1015.
- [96] A. Bouyahya · Y. Bakri · A. Et-Touys · A. Talbaoui · A. Khouchlaa · S. Charfi J. Abrini · N. Dakka., « Résistance aux antibiotiques et mécanismes d'action des huiles essentielles contre les bactéries » (2017).
- [97] BOUZID DJIHANE., « Evaluation de l'activité biologique de l'huile essentielle d'une plante endémique *Hélichrysum italicum* (Roth) G. DON », Thèse de doctorat Université Ferhat Abbas Sétif 1, (2018).
- [98] Guinebert E., Durand P., Prost M., Grinand R. and Bernigault R. Mesure de la résistance aux radicaux libres. *Sixièmes Journées de la Recherche Avicole* (2005);

Références bibliographiques

554-558.

- [99] Meda et al., Tropical Medicine & International Health, Blackwell Synergy. Volume 11 Issue 2, (2005); pp 136- 143.
- [100] Kumar S. and Pandey A.K., Chemistry and biological activities of Flavonoids: An overview. The Scientific World Journal, (2013); 1-16.
- [101] Sabu M., Kattan R., Antidiabetic activity of medicinal plants and its relationship with their antioxidant property. *Journal of Ethnopharmacology*, (2002); 81:155–60.
- [102] BELBACHIR Khadidja-Abir ., « Etude phytochimique et l'activité antioxydante de la plante *Eucalyptus camaldulensis* », (25 / 06/ 2019).
- [103] EVANS J.L., Antioxidants: do they have a role in the treatment of insulin resistance. *Indian Journal Medical Research*, (2007), vol. 125(12) : 355-372.
- [104] Boyd B., Ford C., Kopeke Michael C., Gary K., Horn E., Mc Analley B. « Etude de pilote ouverte de l'effet antioxydant de l'amubrotose AOTM sur des personnes en bonne santé ». *GlycoScience& Nutrition* 4(6), 7p. (2003).
- [105] Favier A., Stress oxydant et pathologies humaines. *Ann. Pharm. Fr.* (2006), 64: 390-396.
- [106] Elise PORTES., « Synthèse et Etudes de Tétrahydrocurcuminoïdes : Propriétés Photochimiques et Antioxydantes, Applications à la Préservation de Matériaux d'Origine Naturelle », (le 12 décembre 2008).
- [107] Özer B. C., Özyörük H., Çelebi S. S., Yıldız A., Amperometric enzyme electrode for free cholesterol determination prepared with cholesterol oxidase immobilized in poly (vinylferrocenium) film *Enzyme and Microbial Technology*, (2007), 40(2):262-265.
- [108] Kordali S., Cakir A., Mavi A., Kilic H., Yildirim A., Screening of chemical composition and antifungal and antioxidant activities of the essential oils from three Turkish *Artemisia* species *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. (2005), 53: 1408-1416.
- [109] Buettner, GR., The pecking order of free radicals and antioxidants: lipid peroxidation, alpha-tocopherol, and ascorbate. *Arch. Biochem. Biophys.* (1993), 300:535-543.
- [110] Mika A, Minibayeva F., Beckett R., Lüthje S., Possible functions of extracellular peroxidases in stress-induced generation and detoxification of active oxygen species.

Références bibliographiques

- Phytochem,(2004), Rev. 3 :173-193.
- [111] Lehucher Michel MP., Lesgards JF., Delubac O., Stocker P., Durand P., Prost M., Stress oxydant et pathologies humaines.La Presse médicale 30:10761081,(2001).
- [112] Akila., « effet des extraits aqueux liophilisés de *Portulacaolérancea* et *zygophyllumgaetulum* sur le profil lipidique et le statut redox chez les rats rendus diabétique par injection streptozotocine ». these de doctorat. université oran,(2012).
- [113] Buádak L, Labuzek K, Buádak RJ, Kozáowski M, Machnik G, Liber S, Suchy D, Duáawa-Buádak A, Okopie B., Metformin affects macrophages' phenotype and improves the activity of glutathione peroxidase, superoxide dismutase,catalase and decreases malondialdehyde concentration in a partially AMPK independent manner in LPS-stimulated human monocytes / macrophage .Pharmacol Rep. 66(3):418-429,(2014).
- [114] Papa L., Manfredi G. and Germain D., SOD1, an unexpected novel target for cancer therapy. *Genes and Cancer*, (2014), 5 (1-2); 15-21.
- [115] Peng C., Wang X., Chen J., Jiao R., Wang L., Li Y.M., Zuo Y., Liu Y., Lei L., Ma K.Y., Huang Y. and Chen Z.Y.,Antioxidants biology of ageing and role of dietary. *BioMed Research International*, ID 831841, (2014);1-13.
- [116] Piquet MA., et Hébuterne X., *Nutrition en pathologie digestive* ; Ed : DOIN ; (2007),p:16,20.
- [117] BONNEFONT-Rousselot D.and Collin F.,Melatonin :action as antioxidant and potential applications in human disease and ageing *Toxicology*, (2010);278;55-67.
- [118] Tokarz P., Kaarniranta K. and Blasiak J.,«Role of antioxidant enzymes and small molecular weight antioxidants in the pathogenesis of age-related macular degeneration (AMD) ». *Biogerontology*, (2013), 14; 461-482.
- [119] Sastre J., Federico V., Pallardo JV.. Glutathione. Partie: O, Vol. 2. Dans: *The Handbook of Environmental Chemistry*. SpringerVerlag Berlin Heidelberg, (2005), pp. 91108.
- [120] Jacquot JP., Dietz KJ., Rouhier N., Meux E., Lallement PA., Selles B., Hecker A.,Chapitre 8, Redox Regulation in Plants: Glutathione and "Redoxin"

Références bibliographiques

- Related Families. Dans: Oxidative Stress and Redox Regulation, Springer ScienceCBusiness Media Dordrecht,(2013), pp. 213-291.
- [121] Martínez-Cayueta, M. (Oxygen free radicals and human disease. *Biochimie*. 77: 147-161.Mashhadian, N.V., Rakhshandeh, H.,Antibacterial and antifungal effects of Nigella sativa extracts against S.aureus, P. aeruginosa and C.albicans. *Pakistan Journal of Medical Sciences*. 21: 47-52.Masson, Paris, (2005), 486 P.
- [122] Halliwell B., Gutteridge J.M.C., *Free Radicals in Biology and Medicine*, 4 th ed. Oxford University Press. 20-31. (2007).
- [123] GAUCHE ELODIE ; HAUSSXIRTH CHRISTOPHE,Stress oxydant, complémentation nutritionnelle en antioxydants et exercice. *Movement & Sport Sciences*.(2006); 58:43-66.
- [124] MESSOUD HIRECHE, « Etude de l'activité antioxydante de la tomate séchée ».. Mémoire de master 2: nutrition humaine. Chlef : Université de Hassiba Ben Bouali. Algérie. (2013); page: 26-27.
- [125] Evans, W. J,Vitamin E, vitamin C, and exercise. *Am J Clin Nutr*,72, (2000) ,647S–652S.
- [126] Zelek L ., LatinoMartel P., Pecollo N., Barrandon E., Czernichow S., Galan P., Hercberg S.. Vitamines et micronutriments. dans: *Aider á vivre après un cancer Oncologie pratique*. Paris: SpringerVerlag,(2010) ; pp. 277282.
- [127] Atti I., Mémoire de master academique en biochimie. Univ. Kasdi Merbah Ouargla,(2014).
- [128] OBAME ENGONGA Louis Clément, « Etude Phytochimique, Activités Antimicrobiennes et Antioxydantes de Quelques Plantes Aromatiques et Médicinales Africaines », le (26/02/2009).
- [129] Vansant G., Radicaux libres et antioxydants : Principes de base. Symposium « Antioxydant et alimentation» Institut Danone,(2004).
- [130] Zweier J.L., Hassan, Talukder M.A. « The role of oxidants and free radicals in reperfusion injury. *Cardiovascular Research* » 70(2): 181190,(2006).
- [131] GUEYE, P. M, « Phénotypes majeurs de l’haptoglobine humaine et stress oxydant induit par l’hémoglobine extra-érythrocytaire sur le globule rouge ». Thèses de

Références bibliographiques

- doctorat, Université Louis Pasteur, (2007).
- [132] Ortiz G.G., Pacheco-Moisés F.P., Bitzer-Quintero O.K., Ramírez-Anguiano A.C., Flores-Alvarado L.J., Ramírez-Ramírez V., Macias-Islas M.A. and Torres-Sánchez E.D. (2013) « Immunology and oxidative stress in multiple sclerosis: clinical and basic approach. *Clinical and Developmental Immunology* », (2013); 1-14.
- [133] Carange, J. (2010). « Rôle antioxydant et anti-apoptotique des brassinostéroïdes, une nouvelle stratégie de neuroprotection » Thèse de doctorat. Université du Québec Trois-Rivières,(2010).
- [134] Lehucher-Michel, M. P., Lesgards, J. F., Delubac, O., Stocker, P., Durand, P., & Prost, M. « Oxidative stress and human disease,Current knowledge and perspectives for prevention.*Presse Medicale* », (2001),30, 1076 – 1081.
- [135] Bonnefont-Rousselot, D., Thérond, P., Delattre, J. Radicaux libres et anti-oxydants. IN : *Biochimie pathologique: aspects moléculaires et cellulaires*. Delattre, J, Durand, G ., Jardillier, J.C. Eds: Médecine-sciences. Flammarion (Paris), (2003), Pp: 59-81
- [136] A.,Galoul , M ., touahria, « dosage des antioxydants et l'évaluation de l'activité antioxydante du pollen », le : (25 juin 2018).
- [137] Maksimovic Z, Malencic D et Kovacevic N. « Polyphenol contents and antioxidant activity of *Maydis stigma* extracts. *Bioresource Technol* ». 96, (2005), p 873- 877.
- [138] Maisuthisakul P.; Pasuk S. and Ritthiruangdej P., Relationship between antioxidant properties and chemical composition of some Thai plants. *Journal of Food Composition and Analysis* ,21, (2008), pp:229-240.
- [139] Molyneux P., The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH°) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin; Journal of Sciences and Technologies*, (2004), 26 (2): 211-219.
- [140] Salah N ., Miller N.J ., Paganga G ., Tijburg L ., Bolwell G.P. et RiceEvans C.A., Polyphenolic flavanols as scavengers of aqueous phase radicals and as chainbreaking antioxidants. *Archive of Biochemistry and Biophysics*,339346,(1995).
- [141] Burits M., Bucar F., Antioxydant activity of *Nigella sativa* essential oil. *Phytotherapy Research*,(2000), 14: 323-328.
- [142] Dung N.T., Kim J.M, Kang S.C.,Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil and the ethanol extract of *Cleistocalyx*

Références bibliographiques

- operculatus (Roxb.) Merr and Perry buds. Food and Chemical Toxicology, (2008), 46:3632-3639.
- [143] Prakash D., Upadhyay G, Brahma N., Singh H.B., antioxidant and free radical scavenging activities of seeds and agriwastes of some varieties of soybean (*Glycine max*), Food Chemistry, (2007), 104:783-790.
- [144] Tepe B., Sokmen M., Akpulat H. A. and Sokmen A. Screening of the antioxidant potentials of six *Salvia* species from Turkey. Food Chem. (2006); 95: 200-204.
- [145] ATTOU ET BOUKHARI, « Enquête ethnobotanique et étude phytochimique et évaluation de quelques activités biologiques de *Curcuma longa* Linne » » Thèse de Master 2 , Option : Génie Biologique , universite saad dehleb-blida 1, (2013).
- [146] BOUFEKER et AGOUNE, « Isolement et Caractérisation Structurale de Curcuminoïdes d'Origine Naturelle » Thèse de Master 2 Domaine : Biochimie de la nutrition Université des Frères Mentouri Constantine (2018).
- [147] T. Angami¹, H. Kalita¹, L. Touthang¹, A. Chandra¹, H. L. Devi², S. Baruah¹, B. Bam¹ and A. Khatoon¹,. assessing the suitability of turmeric seed rhizome sizes on biometric and qualitative traits under mid hill condition, journal of experimental biology and Agricultural Sciences, (October 21, 2017), ISSN NO. 2320 – 8694
- [148] Lokhande, S. M., 2Kale, R. V., 1Sahoo, A. K., and 3*Ranveer, R. C. le 2 June 2012, « Effect of curing and drying methods on recovery, curcumin and essential oil content of different cultivars of turmeric (*Curcuma longa* L) » , International Food Research Journal 20(2): 745-749, (2013).
- [149] FAO, Curcumin and Technical Assessment (CTA) First draft prepared by Ivan Stankovic, 61 st JECFA, (2004).
- [150] Tsai S.H., Asian Journal of Arts and Sciences, (2011); 2(1) :57-66.
- [151] Bambilra, M.L.A., Junqueira, R.G. and Gloria, M.B.A. « Influence of post harvest processing conditions on yield and quality of ground Turmeric (*Curcuma longa* L.) ». Brazilian Archives of Biology and Technology 45, (2002), (4): 423 – 429.
- [152] Viljoen A.M., Denirci B., Baser K.H.C., Potgieter C.J., Edwards T.J. Micro distillation and essential oil chemistry- a useful tool for detecting hybridisation in *Plectranthus(lamiaceae)*. South African Journal of Botany, (2006), 72: P 99-104.
- [153] Sefidkon F., Abbasi K., Jamzad Z., Ahmadi S., The effect of distillation methods and

Références bibliographiques

- stage of plant growth n the essential oil content and composition of *SaturejaRechingerzj* amzad. Food chemistry, (2007), 100: P 1054-1058.
- [154] European Medicines Agency, Evaluation of Medicines for Human Use.London, (2009).
- [155] Yezza Samiha et Djediai Rania,(2016). « Analyse Physicochimique Et Activités Biologiques Des Huiles Essentielles De Quelques Epices, Mémoire Master, Contrôle De Qualité Des Produits Alimentaires », Université Kasdi Merbah Ouargla, (2016), P 35
- [156] Bruneton, J.,. Pharmacognosie: Phytochimie, Plantes Médicinales.4ème Edition. Edition *Lavoisier Tec & Doc. Médicales Internationales, Paris*, (2009), P 261 , 308 , 571.
- [157] Larbi Souhila, Rabah souhila, « Etude de l'efficacité des huiles essentielles de *Curcuma Longa* comme un Biopesticide cas Antifongique ». Thèse de mester 2 Option Amélioration de la Production Végétale Université Abou Bekr Belkaïd-Tlemcen, (2014).
- [158] O'neil,M.J.(ed). The merck index-An Encyclopa of Chemicals,drugs,and Biologicals .Cambridge ,UK:Royal Society of Chemistry,(2013),p.474.
- [159] Rihane K et Benlaharche.,« activité antibactérienne des polyphénols et Flavonoïdes d'extraits à partir deux plantes médicinales : *artémisia herba alba* Et *ocimum basilicum* sur *escherichia coli* et *staphylococcus aureus* ». Mémoire De master université mentour constantine, (2013).
- [160] Trinidad P., sagum S .,Deleon M., mallillin S ., borlagdin M.,Zingiber Officinale and *curcuma longa* as potential fonctionional foods /Ingredient .Food and puplic Health, (2012);2(2),14.
- [161] Rajeshwari S.,Jyoti S., Screening of Total phenolic and Flavonid content in Conventional and Non-Conventional Species of *Curcuma*.Jornal of Pharmacognosy and phytochemistry (2013);2(1).
- [162] SEGGANI S et BOUKEHIL.,« Corrélation entre le contenu polyphénolique et l'activité antioxydante et antimicrobienne *in vitro* de *Curcuma longa* L » ,(2017).
- [163] Turki G., Marfak A., Radiolyse gamma des flavonoïdes. Etude de Leur reactivite

Références bibliographiques

- avec les radicaux issus des Alcools: formation de depsides. Thèse de doctorat. Limoges,(2012).
- [164] Falleh H., Ksouri R., Chaieb K., Karray-Bouraoui N., Trabelsi, N., Boulaaba, M., Abdelly, C., Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. Organs, and their biological activities. *C. R. Biologies*,(2008), 331; 372-379.
- [165] AMEUR Imane et DECHOUCHA, « Evaluation de l'activité antioxydante in vitro des plantes *Lavandula stoechas* et *Curcuma longa* », (2017 /2018).
- [166] G Singh, IPS Kapoor, Pratibha Singh,Carola S De Heluan, Marina P De Lampasona,Cesar AN Catalan, « Comparative Study of chemical composition and antioxidant activity of fresh and dry rhizomes of turmeric (*Curcuma longa* linn) » ,*Food and chemical toxicology* , (2010),48(4),1026-1031.
- [167] RATSARAEFATRARIVO Zo Nomenjanahary, caractérisation de la composition chimique et potentielités antioxydantes de l'huile essentielle de *curcuma longa* (zingiberaceae), le (30 avril 2015).
- [168] BELAZIZIA Souhir et BETTICHE Habiba, Extraction et caractérisation de la substance active de curcumine, le (11 /07/2019).
- [169] Maizura M.,Aminah A., Aida bléme W.M., « Total phenolic content and antioxidant activity of kesum (*Polygonum minus*), ginger (*Zingiber officinale*) and turmeric (*Curcuma longa*) exact ».International de journal de recherche alimentaire,(2011).
- [170] AISSANI Nesrine, Etude de l'activité antioxydante et antibactérienne des extraits méthanoliques de *Curcuma longa* L. et *Zingiber officinale* (Rosc.) commercialisés dans la région de M'sila,(2018 /2019).
- [171] Aggarwal, B.B., Bhatt, ID., Ichikawa, H., Ahn, K.S., Sethi, G., Sandur, S.K. (2006).Curcumin–biological and medicinal properties. *Turmeric: the genus Curcuma*. Taylor and Francis group. p. 297–368.
- [172] Lezzat A ., mahmoud F ., hammamO., El-ahwanyE., Elwakil E ., Kandil S ., Abu taleb H ., Elsayed M ., hassanein H.,2016.Bioactive chemical constituents of *curcuma longa* L.Rhizomes extract inhibit the growth of humanhepatoma cell ligne (HepG2),*acta pharm*,66(2016), 387-398 DOI:10.10515/acph-2016-0028.

Références bibliographiques

- [173] Mutai, C., Bii C., Rukunga G., Ondicho, J., Mwitari P., Abatis D., Vagias C., Roussis V., Kirui J. Antimicrobial activity of pentacyclic triterpenes isolated from *Acacia mellifera*. *Afr. J. Tradit. Complement. Altern. Med.* 6, 42–48, (2009).
- [174] Akiyama, H., Fujii, K., Yamasaki, O., Oono, O and Iwatsuki, K., Antibacterial action of several tannins against *Staphylococcus aureus*. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 48,(2001), (4): Pp487-491.

Liste des tableaux

Tableau III .1: caractéristiques des souches bactériennes.	30
Tableau III. 2: Méthodes les plus couramment utilisées pour estimer le pouvoir antioxydant.	43
Tableau IV .3 : Teneur en eau de l'extrait végétal de curcuma.	46
Tableau IV.4 : Résultat de l'extraction d'oléorésine.	47
Tableau IV.5 : Résultat de l'extraction de l'huile essentielle.	47
Tableau IV.6 : Résultat de l'extraction de curcuminoïde.	48
Tableau IV.7 : Résultat de l'extraction de curcumine.	48
Tableau IV.8 : caractères organoleptiques des huiles essentielles de Curcuma longa.	49
Tableau IV.9 : valeur théorique de point de fusion d'extrait de curcuma.	50
Tableau IV.10 : Solubilité de curcumine dans différent solvants.	50
Tableau IV.11 : La teneur en composés phénoliques dans la poudre du curcuma longa.	51
Tableau IV.12: La teneur en composés flavonoïdes dans la poudre du curcuma longa.	52
Tableau IV.13 : les composés majoritaires présents dans l'HE de curcuma longa.	52
Tableau IV.14 : les résultats d'infrarouges.	53
Tableau IV.15 : Les valeurs de pourcentage d'inhibition de l'extrait de curcuma.	54
Tableau IV.16 : Les résultats d'activité anti radicalaire et pourcentage d'inhibition.	54
Tableau IV.17 : Les valeurs des concentrations efficaces, activité anti radicalaire et pourcentage d'inhibition.	55
Tableau IV.18: Activité antibactérienne des extraits de curcuma longa diluées par Eau physiologique stérile 0,9%.	57
Tableau IV .19: Activité antibactérienne des extraits de curcuma longa diluées par DMSO.	59
Tableau IV .20: Activité antibactérienne des extraits curcuminoïdes diluées par Tween 80.	60
Tableau IV.21: Activité antibactérienne des extraits méthanolique de curcuma longa diluées par Méthanol.	61

Liste des figures

Figure .1: Origine du mot « curcuma »	06
Figure .2 : (A) Rhizome frais de <i>Curcuma longa</i> , (B) aspect de la partie aérienne	09
Figure .3 : Structure chimique des principaux constituants de l'huile essentielle de curcuma.	11
Figure .4: Structure chimique de la curcumine	11
Figure .1: montage d'extraction par Hydro-distillation	17
Figure .2: montage d'extraction par entraînement à la vapeur d'eau	18
Figure .3: Les étapes d'extraction liquide-liquide (par solvant organique)	19
Figure .4: Montage d'expression à Froid	20
Figure .5: Schéma de système soxhlet.	21
Figure .6 : Extraction assisté par micro-ondes.	22
Figure .7: Schéma de principe d'extraction par CO ₂ supercritique	24
Figure III.1 : Mécanismes d'action des huiles essentielles sur la cellule bactérienne	28
Figure III.2 : illustration de la méthode de aromagrammes sur boite de pétri.	32
Figure III.3 : Schéma général des mécanismes de résistance aux antibiotiques.	34
Figure III.4 : Schéma des défenses antioxydantes enzymatiques.	38
Figure III.5 : Oxydation de l'acide ascorbique.	38
Figure III.6 : structure chimique des différents tocols.	39
Figure III.7 : Schématisation des molécules intervenant dans les protections cellulaires.	40
Figure III.8 : Structure de l'hydroxytoluène butylé ou BHT.	40
Figure III.9 : Structure de la β -carotène.	41
Figure III.10 : Déséquilibre de la balance entre anti-oxydants et pro-oxydants.	42
Figure III.11: Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH	44

Liste des abréviations

ABTS : 2,2-azobis-ethylbenzothiazoline-6-sulphonique.

ADN : Acide Désoxyribonucléique.

AFNOR : Association française de normalisation.

ATCC: American Type Culture Collection.

ATP: Adénosine TriPhosphate.

BHT: Butyl-Hydroxy-Toluène.

°C : Degré Celsius.

CAT : Catalase.

C. longa : *Curcuma longa*.

CMB : Concentration minimale bactéricide.

CMI : Concentration Minimale Inhibitrice.

DMSO : Diméthylsulfoxyde.

DPPH : 2,2-diphényle -1-picrylhydrasyl.

EAG : **Equivalent** en acide gallique.

EC50 : Concentration effective qui chélate 50 % de Fe²⁺.

EC-SOD : Extracellulaire superoxyde dismutase.

EQ : Equivalent en quercitrine.

FRAP: Ferric ion Reducing Antioxidant Parameter.

GC/MS : Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse.

GPx : Glutathion peroxydase.

GR : Glutathion réductase.

GSH : Glutathion réduit.

GSSG : Glutathion disulfure.

HE : Huiles essentielles.

H₂O₂ : Peroxyde d'hydrogène.

IC₅₀: Concentration inhibitrice médiane.

LOO• : Lipidique peroxyde.

NADPH : Nicotinamide adénine dinucléotide phosphate.

RL : Radical libre.

ROS: Reactive Oxygen Species.

SOD: Superoxyde dismutase.

TPTZ : Tripyridyl-triazine.