

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique
Université A. MIRA – Bejaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Biologie physico-chimique
Filière : Sciences Biologiques
Spécialité : Biochimie fondamentale



Réf :

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

Thème

***Encapsulation d'extraits de quatre plantes
médicinales et détermination de leurs
activités antioxydants seuls et en
association***

Réalisé par :

KHIMA Sarah

KICHOU Líticia

Soutenu le : **15/09/2022**

Devant le jury composé de :

M^{me} **BEDJOU F.**

Professeur

Promotrice

M^{me} **MEHENNI C.**

MCB

Présidente

M^{me} **YOUS F.**

MAB

Examinatrice

Année universitaire : 2021/2022

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail tout d'abord à ma très chère maman **fatma** et mon très cher papa **Aomar** qui m'ont toujours soutenu et comblé de leurs amours et de leurs précieux conseils, ainsi que pour leurs encouragements durant toutes ces longues années d'études.*

À la mémoire de mes chers grands parents

À ma très chère grand-mère

*À ma chère sœur **Hafsa***

*À mes chers frères **Mehdi** et **Sadek***

*À toutes mes chères amies spécialement : **Kenza, Messilia, Sara***

À toute ma famille : oncles, tantes, cousins, cousines

*À ma binôme **Liticia** avec qui j'ai partagé de beaux moments au cours de cette année.*

À toute la promotion de biochimie fondamentale 2021/2022

À tous ceux qui sont chers à mes yeux

Sarah

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à toute ma famille aucune dédicace, aucun mot ne pourrait exprimer à leur juste valeur la gratitude et l'amour que je leur porte.

*À **ma mère (Louisa)** et **mon père (Hamanou)**, merci de m'avoir éduqué dans le respect de l'autre et de la nature et de m'avoir inculqué une immense soif de connaissance. Merci de m'avoir toujours laissé toute la liberté dont j'avais besoin et de m'avoir soutenue moralement et matériellement dans mes choix. Chaque ligne de ce mémoire, chaque mot et chaque lettre vous exprime la reconnaissance, le respect, l'estime et le merci d'être mes parents.*

*À **mes frères (Yanis et Yuba)** et **mes sœurs (Siham, Nabila et Wissam)** source inépuisable d'espoir, de motivation et de soutien.*

*À **mon fiancé (Malek)** pour tous l'amour et le réconfort procuré lors des moments de stress et de fatigue vécu.*

*À **ma binôme Sarah** pour m'avoir accompagné dans cette aventure et pour les moments passés ensemble afin de mener à bien notre travail.*

Liticia

Remerciements

*Avant de commencer nous remercions avant tout **Allah**, le tout puissant, de nous avoir donné le courage, la patience et la volonté pour accomplir ce modeste travail.*

Nous tenons à exprimer nos profonds remerciements et notre gratitude à nos parents.

*Nous remercions infiniment notre encadreuse Mme. **BEDJOU Fatiha**, de nous avoir fait confiance ainsi pour sa disponibilité, ses précieux conseils et tous ses efforts consentis tout au long de ce modeste travail.*

*Nous remercions infiniment Mme **MEHENNI** pour avoir accepté d'être présidente de jury. Nous tenons à lui exprimer notre gratitude et notre profond respect.*

*Nous remercions également Mme **YOUS** pour avoir accepté d'examiner notre travail nous lui présentons notre profond respect et notre reconnaissance.*

*Nous remercions infiniment Mlle **HAMID Sarah** pour son aide durant l'élaboration de notre mémoire.*

Nos remerciements vont également à l'ensemble des enseignants de la faculté de sciences de la nature et de la vie, particulièrement les enseignants qui nous ont accompagné durant notre formation.

Au terme de ce modeste travail nous tenons à remercier vivement tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation.

SOMMAIRE

Dédicaces

Remerciements

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction 1

Synthèse bibliographique

CHAPITRE I: Stress oxydant et antioxydants

I. Stress oxydant	3
I.1. Espèces réactives	3
I.2. Radicaux libres	3
I.3. Espèces réactives de l'oxygène	3
II. Antioxydants	5
II.1. Antioxydants enzymatiques	5
II.2. Antioxydants non enzymatiques	6
II.2.1. Vitamines	7
II.2.2. Composés phénoliques	8

CHAPITRE II: Plantes médicinales et notion d'encapsulation

I. Famille des lamiacées	10
I.1. <i>Rosmarinus officinalis</i>	10
I.1.1. Description botanique	10
I.1.2. Classification botanique	11
I.1.3. Composition chimique	12
I.1.4. Effets thérapeutiques	12
I.2. <i>Salvia officinalis</i>	12
I.2.1. Description botanique	12
I.2.2. Classification botanique	13
I.2.3. Composition chimique	13

I.2.4. Effets thérapeutiques	13
I.3. <i>Lavandula stoechas</i>	14
I.3.1. Description botanique	14
I.3.2. Classification botanique	15
I.3.3. Composition chimique	15
I.3.4. Effets thérapeutiques	15
II. Famille des Rutacées	16
II.1. <i>Ruta graveolens</i>	16
II.1.1. Description botanique	16
II.1.2. Classification botanique	17
II.1.3. Composition chimique	17
II.1.4. Effets thérapeutiques	18
III. Encapsulation	18
III.1. Définition	18
III.1.1. Microencapsulation	19
III.1.2. Nanoencapsulation	19
III.2. Objectifs de l'encapsulation	19

Partie expérimentale

Matériel et méthodes

1. Matériel végétal	21
2. Préparation de l'extrait	21
2.1. Séchage.....	21
2.2. Extraction.....	21
2.3. Méthode d'extraction éthanolique	21
2.4. Calcul du rendement.....	21
3. Dosage des phénols totaux	22
3.1. Principe	22
3.2. Mode opératoire	22
3.3. Expression des résultats	23
4. Évaluation de l'activité antioxydants	23
4.1. Effet scavenger du radical DPPH	23

4.1.1 Principe	23
4.1.2. Mode opératoire	24
5. Micro encapsulation par coacervation complexe	24
5.1. Principe.....	24
5.2. Mode opératoire	25

Résultats et discussions

1. Rendement d'extraction	26
2. Dosage des polyphénols totaux	27
3. Activité antioxydants	29
3.1. Effet scavenging du DPPH des extraits seuls	29
3.2. Détermination de l'IC50 (Concentration inhibitrice à 50%).....	30
3.4. Effet scavenging du DPPH des extraits combinés	30
4. Micro encapsulation par coacervation complexe	35

Conclusion et perspectives

Références bibliographiques	40-53
-----------------------------------	-------

Résumé

LISTE DES FIGURES

Figure N°	Titre	Page
1	Espèces réactives de l'oxygène ERO.	5
2	Structure chimique des tocophérols.	7
3	Structure chimique de l'acide ascorbique.	8
4	Acides phénoliques dérivés de l'acide benzoïque (A) et de l'acide cinnamique (B).	9
5	Structure générale des flavonoïdes.	9
6	Variété cultivée de <i>Rosmarinus officinalis</i> .	11
7	Variété cultivée de <i>Salvia officinalis</i> .	12
8	<i>Lavandula stoechas</i> non cultivée.	14
9	Fleurs et feuilles de <i>Ruta graveolens</i> .	17
10	Mécanisme réactionnel de la réduction du réactif de Folin-Ciocalteu causée par l'oxydation des composés phénoliques	22
11	Mécanisme réactionnel intervenant entre le radical DPPH• et un antioxydant (AH).	23
12	Droite d'étalonnage pour le dosage des polyphénols totaux.	27
13	Teneurs en polyphénols totaux.	28
14	Pourcentage d'inhibition du DPPH par les extraits hydroalcooliques.	29
15	Isoblogramme des extraits de <i>Rosmarinus officinalis</i> et <i>Salvia officinalis</i> combinés.	32
16	Isoblogramme des extraits de <i>Rosmarinus officinalis</i> et <i>Ruta graveolens</i> combinés.	32
17	Isoblogramme des extraits de <i>Rosmarinus officinalis</i> et <i>lavandula stoechas</i> combinés.	33
18	Isoblogramme des extraits de <i>Salvia officinalis</i> et <i>lavandula stoechas</i> combinés.	33

19	Isobogramme des extraits de <i>Salvia officinalis</i> et <i>Ruta graveolens</i> combinés.	34
20	Isobogramme des extraits de <i>Lavandula stoechas</i> et <i>Ruta graveolens</i> combinés.	34
21	Illustration de la formation des microcapsules.	36
22	Observations sur microscope optique des microcapsules formées pour chacun des extraits.	37
23	Observations sur microscope optique des microcapsules formées par les six associations des quatre extraits hydro-alcooliques.	38

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N°	Titre	Page
I	Antioxydants enzymatiques.	6
II	Taxonomie de <i>rosmarinus officinalis</i> .	11
III	Taxonomie de <i>Salvia officinalis</i> .	13
IV	Taxonomie de <i>Lavandula stoechas</i> .	15
V	Taxonomie de <i>Ruta graveolens</i> .	17
VI	Rendements d'extractions.	26
VII	Valeurs des IC50 pour chaque extrait.	30
VIII	Combinaisons des extraits hydro-alcooliques.	31

LISTE DES ABRÉVIATIONS

Abréviations	Significations
ADN	L'acide désoxyribonucléique
AH	Antioxydants
CAT	Catalase
C1-C6	Carbone 1- carbone 6
DPPH	2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle
Ec	La commission des enzymes
EC50	concentration effective demi-maximale
EL	Extrait de <i>Lavandula stoechas</i>
ES	Extrait de <i>Salvia officinalis</i>
ER	Extrait de <i>Rosmarinus officinalis</i>
ERU	Extrait de <i>Ruta graveolens</i>
Er	Espèces réactives
Ero	Espèces réactives de l'oxygène
GPx	Glutathion peroxydase
GSH	Glutathion réduit
GST	Glutathion-S-transférase
H3PMO12O40	Acide phosphomolybdique
H3PW12O40	Acide phosphotungstique
IC50	La concentration inhibitrice demi-maximale
Mg EAG/g MS	Milligramme équivalent d'acide gallique par gramme de matière sèche
MO₈O₂₃	Oxyde de molybdène
NADPH	Le nicotinamide adénine dinucléotide phosphate réduit
pH	Potentiel hydrogène, unité de mesure d'acidité

pI_{Pr}	Point isoélectrique des protéines
pI_{Po}	Point isoélectrique des polysaccharides
R.officinalis	<i>Rosmarinus officinalis</i>
S.officinalis	<i>Salvia officinalis</i>
SOD	Superoxyde dismutase
W₈O₂₃	Oxyde de tungstène

INTRODUCTION

Depuis des siècles, l'homme ne cesse de chercher à subvenir à ses besoins en puisant dans la nature, laquelle, lui assure ses nécessités nutritionnelles et thérapeutiques. Les plantes constituent l'une de ses sources qui a procuré à l'homme une variété de propriétés notamment en médecine traditionnelle grâce à leurs importantes activités biologiques telles que les actions antioxydants, anti-inflammatoires, antiseptiques ...etc (**Hrebień-Filisińska et al., 2021**).

De nos jours la population mondiale est de plus en plus confrontée à des affections liées au stress oxydant, celui-ci est impliqué dans l'apparition des maladies telles que le diabète, les maladies cardiovasculaires, le cancer, l'alzheimer ...etc soit comme agent déclenchant ou associé à des complications (**Sohal et al., 2002**). Le traitement de ces maladies nécessite l'élaboration des médicaments synthétiques qui peuvent provoquer des effets indésirables et néfastes sur la santé humaine et l'environnement. Pour y remédier les chercheurs s'intéressent de plus en plus aux plantes médicinales qui sont une source de diverses molécules bioactives dont les composés phénoliques pourvus d'effets antioxydants importants pour la défense contre la surproduction des espèces réactives (**Boizot et Charpentier, 2006**).

En Algérie, grâce à la richesse et la diversité floristique importante du pays, due à sa situation géographique sur le bassin méditerranéen, la population a recours à la médecine traditionnelle depuis des millénaires. En effet notre pays est un réservoir de plantes avec environ 3000 espèces appartenant à plusieurs familles botaniques. Un grand nombre de plantes aromatiques y poussent spontanément dont les Lamiacées et les Rutacées (**Aberkane, 2006**), malgré cette richesse floristique, à ce jour, les connaissances sur l'utilisation de certaines plantes médicinales en Algérie restent méconnues.

Cette étude avait pour objectif la valorisation biologique *in vitro* de quatre plantes médicinales : *Rosmarinus officinalis* ; *Salvia officinalis* ; *Lavandula stoechas* ; *Ruta graveolens* par la caractérisation quantitative des composés phénoliques et l'évaluation de l'effet antioxydants des extraits seuls et en association ainsi que leur encapsulation par coacervation complexe.

Ce travail comporte :

Une partie bibliographique qui synthèse les notions globales et essentielles du stress oxydant et l'encapsulation, ainsi que la présentation des quatre plantes étudiées.

Une partie expérimentale présente le matériel et les méthodes utilisées dans ce travail ainsi que les résultats obtenus et leurs interprétations.

Ce travail est clôturé par une conclusion générale et des perspectives.

Synthèse bibliographique

CHAPITRE I : Stress oxydant et antioxydants

I. Stress oxydant

Bien que La formation des espèces réactives est une résultante naturelle du métabolisme chez l'être humain, une perturbation de l'équilibre entre leur production (pro-oxydants) et les processus de défense antioxydants conduit à un stress oxydatif, qui perturbe la capacité de l'organisme à détoxifier les intermédiaires réactifs, ou à réparer les dommages causés aux organes et aux systèmes cellulaires. Ceci contribue à l'apparition de diverses pathologies liées au vieillissement comme les cancers ou les maladies cardio-vasculaires (**Sies, 1997 ; Finaud et al., 2006**).

I.1. Espèces réactives

Les espèces réactives (ER) sont impliquées dans plusieurs fonctions cellulaires, dont la phagocytose, la signalisation cellulaire et la modulation de l'expression des gènes. Les ER produites en excès, endommagent la structure et la fonction des tissus entraînant la mort cellulaire programmée (apoptose) ou non programmée (nécrose), ceci est la résultante de l'oxydation de différentes biomolécules (ADN, protéines, lipides) conduisant à la perte de leurs fonctions biologiques.

Les molécules oxydantes ou (ERO) sont représentées essentiellement par la famille des espèces réactives de l'oxygène, ce sont à la fois les radicaux libres et à leurs intermédiaires non radicalaires (**Beaudeau et al., 2006**).

I.2. Radicaux libres

Un radical libre est une espèce chimique, molécule ou simple atome, capable d'avoir une existence indépendante (libre) en contenant un ou plusieurs électrons non appariés sur une orbitale externe, cela lui confère une grande réactivité donc une demi-vie très courte (**Aurousseau, 2002**).

I.3. Espèces réactives de l'oxygène

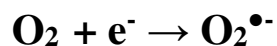
Les espèces réactives de l'oxygène sont majoritairement produites à partir d'une enzyme membranaire appelée NADPH oxydase et par les mitochondries via la respiration cellulaire (**Migdal et Serres, 2011**).

La mitochondrie fournit à la cellule une source d'énergie importante lors de la réduction de l'oxygène. Dans les conditions physiologiques, environ 0,4 à 4 % d'électrons s'échappent,

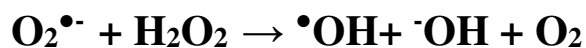
CHAPITRE I : Stress oxydant et antioxydants

réagissent directement avec l'oxygène dissout dans le cytoplasme et donnent naissance à des ERO (**Figure N°1**)

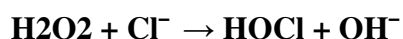
- Celles-ci sont soit des radicaux libres comme :
 - **L'anion superoxyde** : ($O_2^{\bullet-}$) formé par la capture d'un électron par la molécule d'oxygène. Il a une faible réactivité avec les composés biologiques, une demi-vie relativement longue et peut diffuser dans ses cibles (**Harman, 2000**).



- **Radical hydroxyle** : ($\bullet OH$) le plus délétère, il est formé de la réaction de l'anion superoxyde avec le peroxyde d'hydrogène, il présente une extrême réactivité et lors d'un stress oxydant agit en arrachant soit un électron soit un atome d'hydrogène ou encore en s'additionnant sur les doubles liaisons (**Halliwell et al., 1984**).



- **Monoxyde d'azote** : Le monoxyde d'azote possède un électron non apparié, il est formé par l'action de la NO synthétase sur L-arginine (**Fang et al., 2002**).
- Soit des molécules non radicalaires comme :
 - **Peroxyde d'hydrogène** : À faible concentration, il ne présente pas de toxicité pour la cellule. Cependant, à forte concentration, il induit une toxicité en se décomposant en anions hydroxyles et en radicaux hydroxyles (**Halliwell, 1997**).
 - **Oxygène singulet** : C'est la forme excitée de l'oxygène moléculaire qui est très instable et extrêmement réactif, avec une durée de vie très limitée (**Stief, 2003**).
 - **Acide hypochloreux (HOCl)** : C'est un oxydant puissant généré à partir du H_2O_2 et du Chlore (Cl) (**Fontaine, 2007**) par la myéloperoxydase, particulièrement abondante dans les phagocytes immunologiquement actifs selon la réaction :



CHAPITRE I : Stress oxydant et antioxydants

Tableau N°I : Les antioxydants enzymatiques.

<p>Superoxyde dismutase (SOD)</p> <p>Réaction de détoxification (Finaud, 2006) :</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;">$2 \text{O}_2 \cdot + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2$</div>	<p>La Superoxyde dismutase (Ec 1, 15, 1, 1) est l'enzyme antioxydants la plus importante de l'organisme (Anderson <i>et al.</i>, 1997).</p> <p>C'est une métallo-enzyme à manganèse ou à cuivre et zinc présente dans la mitochondrie. Elle dismute l'anion superoxyde en oxygène moléculaire et peroxyde d'hydrogène (Baudin, 2020).</p>
<p>Catalase (CAT)</p> <p>Réaction de détoxification :</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;">$2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$</div>	<p>Cette enzyme est présente dans les cellules de tous les organismes vivants (les bactéries, les champignons, les plantes et les animaux) (Vainshtein <i>et al.</i>, 1986).</p> <p>La catalase est une enzyme intracellulaire qui catalyse la réaction de détoxification du H₂O₂ (Newsholme <i>et al.</i>, 2007).</p>
<p>Glutathion peroxydase (GPx)</p> <p>Réaction de détoxification (Finaud.,2006) :</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;">$\text{H}_2\text{O}_2 + 2 \text{GSH} \rightarrow \text{GSSG}$</div>	<p>Le glutathion peroxydase (GST EC 2.5.1.18) fait partie d'une famille d'enzymes multifactorielles présentes chez tous les organismes (Renuka <i>et al.</i>, 2003).</p> <p>La GPx est une enzyme importante du système antioxydants, elle nécessite la présence de glutathion réduit (GSH) comme donneur d'électron. Elle catalyse la décomposition du peroxyde d'hydrogène en eau et réduit les peroxydes lipidiques. Le glutathion oxydé (disulfure de glutathion) est réduit par la glutathion réductase (Jones <i>et Sies</i>, 2007).</p>

II.2. Antioxydants non enzymatiques

Ces composés ne sont pas synthétisés par l'organisme et doivent être apportés par l'alimentation, ce sont des molécules non enzymatiques telles que les vitamines, les oligo-éléments, les caroténoïdes ou les polyphénols. Ces molécules ont la capacité de piéger et d'inhiber les espèces réactives de l'oxygène (Gardès-Albert *et al.*, 2003).

CHAPITRE I : Stress oxydant et antioxydants

II.2.1. Vitamines :

▪ Vitamine E :

La vitamine E est la molécule antioxydants liposoluble la plus abondante de notre organisme. Elle appartient à la famille des tocophérols (α , β , δ , γ) (**Figure N°2**), joue un rôle protecteur en neutralisant les radicaux libres et empêche la propagation de la peroxydation lipidique, induite par un stress oxydant (**Mène-Saffrané, 2017**).

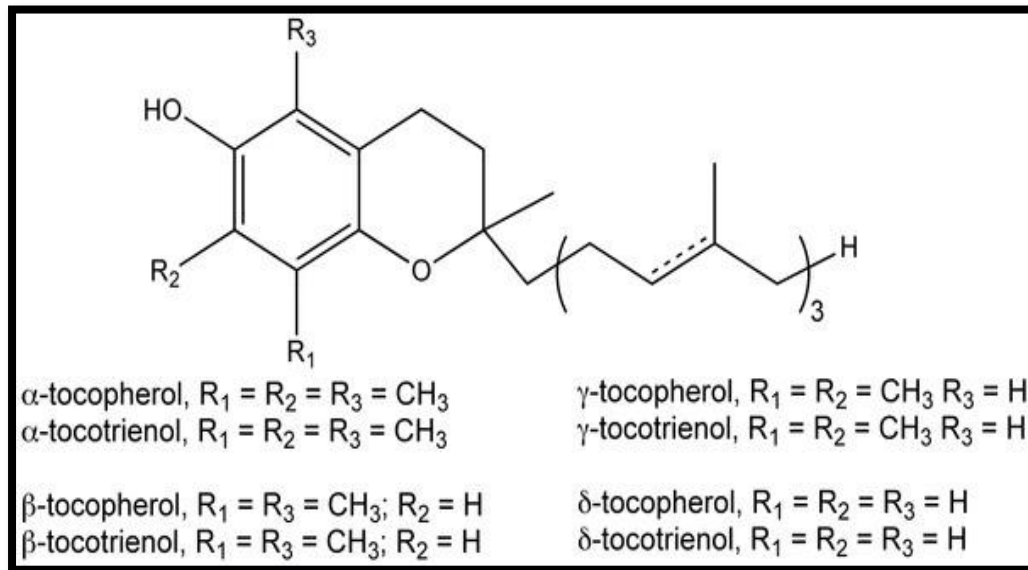


Figure N°2 : Structure chimique des tocophérols (**CUVELIER et al., 2003**).

▪ Vitamine C (acide L-ascorbique) :

La vitamine c possède une fonction lactone, deux fonctions alcool puis une fonction ène-diol. Cette dernière lui confère une activité biologique importante. Elle agit directement avec des espèces réactives de l'oxygène comme $\text{HO}\cdot$ ou $\text{O}_2\cdot$ (**Vertuani et al., 2004**). L'effet antioxydants de l'acide ascorbique pourrait inhiber les radicaux libres, qui jouent un rôle dans l'initiation et la promotion du processus oxydatif, elle est aussi capable de régénérer la vitamine E et agit en synergie avec elle (**Block, 1992 ; Carrac et al., 1999**). (**Figure N°3**)

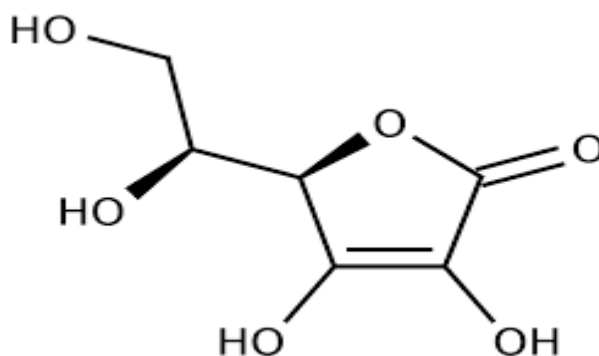


Figure N°3 : Structure chimique de l'acide ascorbique (Fain, 2004).

II.2.2. Composés phénoliques :

Les composés phénoliques sont des dérivés aromatiques hydroxylés non azotés dont les cycles aromatiques sont issus du métabolisme de l'acide shikimique et/ou de celui d'un polyacétate. Ils sont divisés en plusieurs catégories: les acides phénoliques; les flavonoïdes; les tanins hautement polarisés et les lignanes (Marouf, 2000; Hopkins, 2003; Georgé *et al.*, 2005).

Le terme « polyphénols » est fréquemment utilisé pour désigner l'ensemble des composés phénoliques des végétaux. En réalité il désigne les molécules ayant plusieurs fonctions phénols, la nomination « composés phénoliques » reste plus correcte car elle englobe en plus des polyphénols, les monophénols et les diphénols. (Scalbert et Williamson, 2000).

- **Propriétés des acides phénoliques** : ils présentent des propriétés biologiques intéressantes : anti-inflammatoires, antioxydants, antiseptique...etc. (Bruneton, 1999). Ce sont des dérivés hydroxylés de l'acide benzoïque (C6-C1) ou de l'acide cinnamique (C6-C3).
- Acides phénoliques dérivés de l'acide benzoïque (C6-C1) (**Figure N°4 (A)**) : très présents dans le règne végétal soit sous forme libre ou sous forme combinée à l'état d'ester ou d'hétéroside (Barboni, 2006). Acides phénoliques dérivés de l'acide cinnamique (C6-C3) (**Figure N°4 (B)**) : ils présentent une distribution très large dans le règne végétal, le plus souvent estérifiés (Barboni, 2006).

CHAPITRE I : Stress oxydant et antioxydants

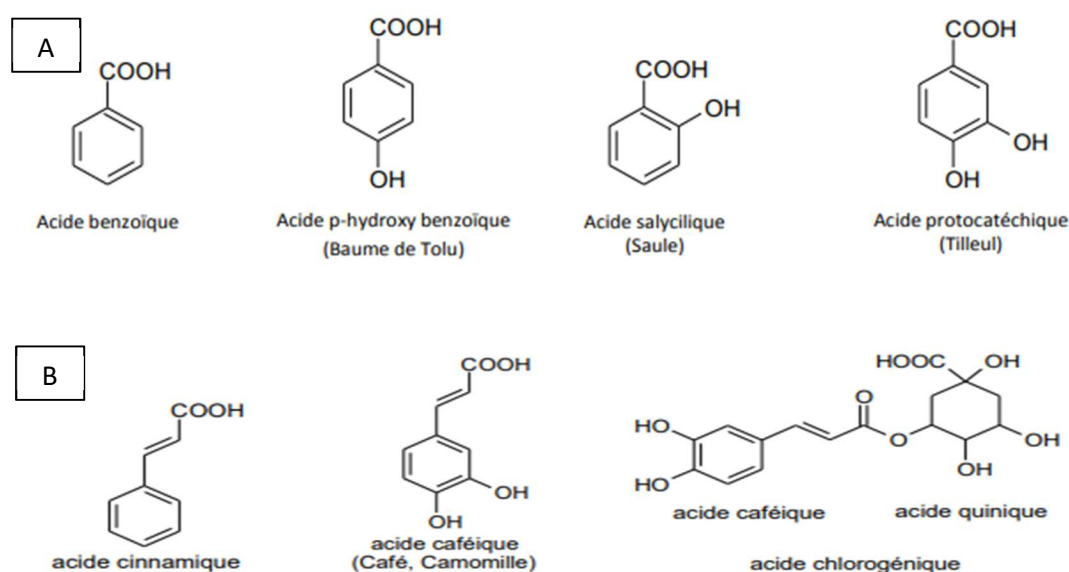


Figure N°4 : Acides phénoliques dérivés de l'acide benzoïque (A) et de l'acide cinnamique (B) (Barboni, 2006).

- **Flavonoïdes :** Le terme flavonoïde regroupe une très large gamme de composés naturels phénoliques très réputés pour leurs vertus antioxydants. Ce sont des pigments naturels qui donnent leurs couleurs aux plantes (les anthocyanes pigments rouge ou bleu, les flavones et les flavonols de couleur crème ou jaune clair), leur structure générale est représentée dans la **Figure N° 6** (Medic et al., 2004 ; Macheix et al., 2005).

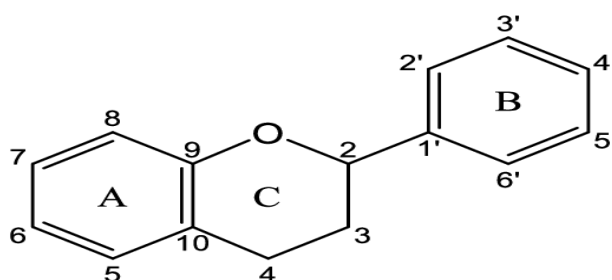


Figure N°5 : Structure générale des flavonoïdes (Ghedira, 2005).

- **Tanins :**
Les tanins sont des molécules fortement hydroxylées pouvant former des complexes avec les glucides, les protéines et les enzymes digestives, réduisant ainsi la digestibilité des aliments, ils ont des vertus thérapeutiques telles que : vasoconstricteurs et protecteurs vasculaire, anti-inflammatoires, antiseptiques, antiviraux et astringents (Haslam, 1989 ; Roux et al., 2007).

CHAPITRE II : Plantes médicinales et notion d'encapsulation

Depuis des siècles, les plantes sont utilisées à travers le monde pour leurs propriétés curatives, par des populations qui ont développé leurs propres méthodes thérapeutiques, dites traditionnelles. L'Afrique est l'un des continents dotés d'une biodiversité très riche, avec beaucoup de plantes utilisées à des fins thérapeutiques. Elles renferment des métabolites actifs capables de prévenir ou de guérir des maladies ou d'atténuer certains symptômes (**Holaly et al., 2018**).

Dans cette étude nous nous sommes intéressées à quatre plantes médicinales connues pour leurs vertus thérapeutiques en Algérie notamment en Kabylie *Rosmarinus officinalis*; *Salvia officinalis*; *Lavandula stoechas* de la famille des Lamiacées et *Ruta graveolens* de la famille des Rutacées. (**Sahi et al., 2016**).

I. Famille des Lamiacées

La famille des Lamiacées englobe des plantes dont les fleurs ont une forme caractéristique à deux lèvres. Ce sont généralement des plantes herbacées odorantes, à tiges quadrangulaires, avec des feuilles en général, opposées sans stipules. Le plus souvent hermaphrodites. Ces plantes sont riches en huiles essentielles et en composés phénoliques, tannins, flavonoïdes, iridoïdes glycolysés, quinones, coumarines etc... ce qui leur confère une importance thérapeutique (**Raja, 2012**).

I.1. *Rosmarinus officinalis*

I.1.1. Description botanique :

Rosmarinus officinalis est un arbuste touffu (**Figure N°6**), pouvant atteindre jusqu'à deux mètres de hauteur avec des branches brunes, dressées, rarement rampantes, pleines de feuilles vert foncé brillant et parfumées, persistantes, en forme d'aiguilles de 2-4 cm de long et 2-5 mm de large, vertes dessus et blanches dessous. Ses fleurs sont petites à corolle blanc, rose, violet ou bleu. Deux étamines latérales nettement exposées forment l'androcée, et ses filaments ont une petite dent latérale (**Kompelly et al., 2019 ; de Oliveira et al., 2019 ; Ahmed et al., 2020 ; Ghasemzadeh et al., 2020**).



Figure N°6 : Variété cultivée de *Rosmarinus*.

I.1.2. Classification botanique :

La classification de cette plante est indiquée dans le **tableau N°II**

Tableau N° II : taxonomie de *rosmarinus officinalis* (Kompelly et al., 2019).

Rang taxonomique	Nomenclature
Règne	Plantae
Sous règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous classe	Asteridae
Ordre	Lamiales
Famille	Lamiaceae
Genre	Rosmarinus
Espèce	<i>Rosmarinus officinalis</i>

I.1.3. Composition chimique :

Des études phytochimiques ont révélé que le romarin contenait des terpénoïdes, des huiles essentielles, des alcaloïdes et des flavonoïdes. L'analyse chimique a démontré que les composants actifs les plus puissants étaient les triterpènes, les diterpènes phénoliques et les acides phénoliques, notamment l'acide rosmarinique, l'acide carnosique, le rosmanol, le carnosol, l'acide ursolique et l'acide bétulinique (**Ghasemzadeh et al., 2020**).

I.1.4. Effets thérapeutiques :

R. officinalis L. comporte des molécules ayant une activité antioxydante, anti-inflammatoire, anti-cancéreuse, antidiabétique, anti-obésité, antidépressive, neuroprotectrice ...etc (**Rafie et al., 2017**).

I.2. *Salvia officinalis*

I.2.1. Description botanique :

S. officinalis est un sous-arbrisseau vivace atteignant 60 cm de haut. Ses feuilles sont opposées et simples avec des poils blancs sur la face inférieure et verdâtres ou gris verdâtre sur la face supérieure. Elles sont allongées et pétiolées avec une marge dentelée, une surface rugueuse et parfois avec des lobes basaux. Les tiges sont dressées ou couchées avec d'abondantes branches poilues vert foncé. Les fleurs mesurent 2 à 4 mm de long à partir du pédicelle avec 5 à 10 fleurs de couleur bleu violet qui forment de faux épis composés (**Figure N°7**). Elles apparaissent de Mars à Juillet en fonction de l'habitat et des conditions climatiques (**Jakovljevic et al., 2019**).



Figure N°7 : Variété cultivée de *Salvia officinalis*.

CHAPITRE II : Plantes médicinales et notion d'encapsulation

I.2.2. Classification botanique :

La classification est indiquée dans le **tableau N°III**

Tableau N°III : taxonomie de *Salvia officinalis* (Altindal, 2016).

Rang taxonomique	Nomenclature
Règne	Plantae
Sous règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous classe	Asteridae
Ordre	Lamiales
Famille	Lamiaceae
Genre	Salvia
Espèce	<i>Salvia officinalis</i>

I.2.3. Composition chimique :

L'étude de la composition chimique des différentes parties de l'espèce *Salvia officinalis* a permis d'identifier un large éventail de composés biologiquement actifs qui peuvent être divisés en monoterpènes, diterpènes, triterpènes et composants phénoliques. Les feuilles renferment également de nombreux composants chimiques tels que : Essence aromatique, saponine, tanins résine et vitamines (Debuigne et Couplan, 2009).

I.2.4. Effets thérapeutiques :

Ces dernières années, cette plante a fait l'objet d'études intensives pour documenter son utilisation traditionnelle et trouver de nouveaux effets biologiques. Ces études ont révélé un large éventail d'activités pharmacologiques pour *S. officinalis* (Ghorbani et Esmailizadeh, 2017).

CHAPITRE II : Plantes médicinales et notion d'encapsulation

Elle est utilisée dans la prise en charge de différents problèmes digestifs, ainsi qu'en tant qu'antiviral, anti tumoral, antispasmodique, antioxydants, anti-inflammatoire, pour le traitement des céphalées, des troubles mentaux et nerveux. Elle est également utilisée comme désinfectant, et dans certains bains contre les maladies de la peau d'origine mycosique (Iserin, 2001).

I.3. Lavandula stoechas

I.3.1. Description botanique :

Lavandula stoechas pousse dans l'ouest du bassin méditerranéen: sud de la France, Corse, Afrique du Nord, et également en Asie du Sud-est. À l'état sauvage, c'est un sous-arbrisseau qui mesure environ 30-60 cm, de couleur vert pâle avec des fleurs de couleur bleu-violet. La tige étroite est quadrangulaire et porte des feuilles qui sont insérées de façon opposée portant, à son extrémité une inflorescence terminée par un toupet de longues bractées violettes (**Figure N°8**). Les fruits sont des akènes contenant chacun une graine et groupés par 4 au fond du calice séché (Abdellah et al., 2020).



Figure N°8 : *Lavandula stoechas* non cultivée.

CHAPITRE II : Plantes médicinales et notion d'encapsulation

I.3.2. Classification botanique :

La classification est montrée dans le **tableau N°IV**

Tableau N°IV: taxonomie de *Lavandula stoechas* (Soares et al., 2018).

Rang taxonomique	Nomenclature
Règne	Plantae
Sous règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous classe	Asteridae
Ordre	Lamiales
Famille	Lamiaceae
Genre	Lavandula
Espèce	<i>Lavandula stoechas</i>

I.3.3. Composition chimique :

La plante est très aromatique. Parmi les constituants chimiques potentiellement actifs du genre de *Lavandula* nous pouvons citer:

- Les monoterpènes : camphre, limonène, terpinène...
- Les monoterpènes alcools : bornéol ,lavandulol...
- Les benzenoïdes : eugénol, coumarine, carvacrol, acide rosmarinique...
- Les monoterpènes aldéhydes : aldéhyde de cumin (Upson et al., 2000).

I.3.4. Effets thérapeutiques :

Lavandula stoechas est une espèce utilisée à travers toute la région méditerranéenne pour ses vertus médicinales, comme antispasmodique dans les coliques, expectorant, stimulant et pour les différentes maladies du système nerveux central, comme l'épilepsie et la migraine (Giray et al., 2008).

CHAPITRE II : Plantes médicinales et notion d'encapsulation

Grâce à ses propriétés anti-inflammatoires et cicatrisantes, cette plante est aussi utilisée en traumatologie pour le traitement de douleurs musculaires des plaies, eczéma, etc...Elle a également des propriétés neuro-psychiatriques: sédatif/hypnotique, anxiolytique, anticonvulsivant, effets sur l'humeur, la fonction cognitive, analgésique, endocrinienne (effets hypoglycémiant) (Chu *et al.*, 2001).

II. Famille des Rutacées

Les espèces de Rutaceae sont douées d'activités biologiques grâce à leurs métabolites secondaires ayant des propriétés antifongiques, antioxydants, anti-inflammatoires...etc (Gonzalez-Trujano *et al.*, 2006 ; Raghav *et al.*, 2006).

Les Rutaceae comportent des arbres, arbustes et plantes herbacées, à feuilles généralement alternes, simples ou pennées, ponctuées de glandes translucides. Les fleurs sont habituellement en cymes ou racèmes. Le fruit est une capsule, baie ou drupe, souvent très glanduleuse et aromatique (Groppo *et al.*, 2022).

II.1. *Ruta graveolens*

II.1.1. Description botanique :

Ruta graveolens est appelée habituellement rue fétide, rue officinale, herbe de grâce, rue des jardins ou rue commune. *Ruta graveolens* est un petit sous-arbuste à feuilles persistantes, semi-arbustive de 0,5 à 1 m de haut, dont les feuilles sont découpées. Ses fleurs sont petites, jaunes, distribuées en cymes avec la fleur terminale pentamère et les autres fleurs tétramères (**Figure N°9**). Les fruits sont des follicules à graines noires ovoïdes, arrondies sur le dos, aplaties à l'avant. La plante a une odeur très forte et un goût amer (Asgarpanah, 2012).



Figure N°9 : Fleurs et feuilles de *Ruta graveolens*

II.1.2. Classification botanique :

La position systématique est montrée dans le **tableau N°V**.

Tableau N°V: taxonomie de *Ruta graveolens* (**Takhtajan, 2009**).

Rang taxonomique	Nomenclature
Règne	Plantae
Sous règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous classe	Rosidae
Ordre	Sapindales
Famille	Rutaceae
Genre	Ruta
Espèce	<i>Ruta graveolens</i>

II.1.3. Composition chimique :

Ruta graveolens comporte plusieurs types de composants dont:

- Les Alcaloïdes

CHAPITRE II : Plantes médicinales et notion d'encapsulation

- Furoquinoline alcaloïdes : skimmianine, gamma-fagarine, dictamnine, kokusaginine, pteleine
- Acridine alkaloids : arborinine- 2-arylquinoline, rutacridone, Gravacridiol,
- Quinazoline alcaloïdes : comme l'arborine
- Quinoline alcaloïdes : parmi eux : graveoline, graveolineine (**Waterman, 1975**).
- **Les Huiles volatiles** : les composés les plus rencontrés sont le 2-nonanone et le 2-undecanone (**Mejri et al., 2010**).
- **Les Flavonoïdes** : Le composant majoritaire est la rutine (**Fleming et al., 2000**).
- **Les Coumarines** :
 - Hydroxy-coumarines : herniarin, gravelliféron, rutacultin.
 - Furo-coumarines : bergapten, xanthotoxin, chalepensis, isopimpinellin, isoimperatorin, rutarin, rutaretine.
 - Pyrano-coumarines : xanthyletine.
 - Les lignans : Savinine, helioxanthine (**Milesi et al., 2001**).

II.1.4. Effets thérapeutiques :

Ruta graveolens a des propriétés analgésiques; anti fertilité; anti-inflammatoire; antiseptique antispasmodique, antipyrétique, antiparasitaire et sert à soigner des pathologies telles que l'hystérie, l'épilepsie, le vertige, les coliques, l'empoisonnement et les affections des yeux. On prescrit aussi la rue contre la sclérose en plaques et la paralysie de Bell. La rue a pour particularité de renforcer les parois des vaisseaux sanguins et d'abaisser la tension. Il a été démontré également que les extraits de rue ont une puissante activité anticancéreuse (**Duke et al., 2008**).

III. Encapsulation

III.1. Définition :

L'encapsulation est définie comme un processus de piégeage d'une substance, dans un autre corps qui épouse le matériau de la paroi et agit comme barrière isolant l'agent actif de l'environnement extérieur. La substance encapsulée correspond au noyau tandis que la substance qui entoure le noyau est dite matériau de paroi, agent d'encapsulation, revêtement ou capsule (**Zambrano et al., 2019 ; Sousa et al., 2022**). En fonction de la taille des capsules ou des particules générées on distingue plusieurs types d'encapsulation notamment la microencapsulation et la nanoencapsulation (**Niño-Vásquez et al., 2022**).

Partie expérimentale

Matériel et méthodes

1. Matériel végétal :

Les parties aériennes des plantes *Ruta graveolens*, *Rosmarinus officinalis*, *Lavandula stoechas* et *Salvia officinalis* ont été récoltées dans la wilaya de Bejaia durant le mois d'avril 2022. L'identification des taxons retenus été effectuée par Mr Bouadam, enseignant chercheur à l'université de Bejaia.

2. Préparation de l'extrait :

2.1. Séchage :

Les plantes fraîchement récoltées, ont été débarrassées de la poussière, du sable et autres particules, lavées à l'eau courante, puis séchées à température ambiante. Une fois séchées, les feuilles ont été réduites en poudre à l'aide d'un broyeur électrique, puis soumises à un tamisage à l'aide d'un tamiseur électrique muni d'un ensemble de tamis avec des pores ayant des diamètres allant de 500 à 250µm. La poudre, la plus fine a été conservée dans des récipients en verre, hermétiquement fermés et stockés à l'abri de la lumière pour des utilisations ultérieures.

2.2. Extraction :

Dans le cadre de notre étude une extraction par macération a été réalisée, les extraits préparés sont des extraits hydro-alcooliques (éthanol/ eau).

2.3. Méthode d'extraction éthanolique :

Une quantité de 20g de poudre de chaque plante a été mise à macérer dans 200 ml d'éthanol à 70 % (140 ml d'éthanol/ 60 ml d'eau distillée), pendant 48 h sous agitation douce, les extraits hydro-alcooliques récupérés ont été filtrés deux fois par du papier filtre, ensuite répartis dans des cristallisoirs et laissés sous hotte jusqu'à évaporation. Les extraits sont récupérés, pesés et conservés dans des flacons ambrés à l'abri de l'air.

2.4. Calcul du rendement :

Le rendement de l'extrait brut est le rapport entre le poids de l'échantillon et le poids de la matière sèche. Ce rendement est calculé par l'équation suivante : (Mahmoudi et al., 2013)

$$R \% = (P1 - P0 / E) * 100$$

Matériel et méthodes

Où :

R (%) : Rendement en %

P1 : Masse de l'extrait après l'évaporation du solvant en g

P0 : Masse de cristalliseur vide en g

E : Masse de la matière végétale utilisée pour l'extraction en g

3. Dosage des phénols totaux :

3.1. Principe :

Cette méthode est basée sur les réactions d'oxydoréduction (**Figure N°10**), le réactif de Folin-Ciocalteu, un acide de couleur jaune, est utilisé comme oxydant. Il est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique (H₃PW₁₂O₄₀) et d'acide phosphomolybdique (H₃PMO₁₂O₄₀). Lors de l'oxydation des polyphénols, le réactif de Folin est réduit en un mélange bleu d'oxyde de tungstène(W₈O₂₃) et de molybdène(MO₈O₂₃), en présence de carbonate de sodium. L'intensité de la coloration est proportionnelle aux taux de polyphénols présents dans les extraits (**Xu et al., 2017**).

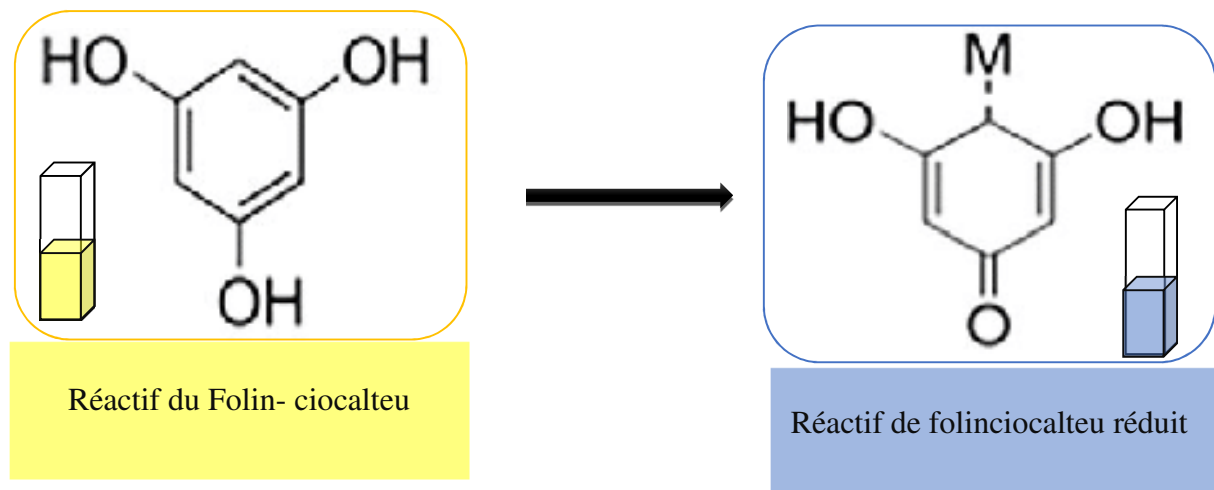


Figure N°10 : Mécanisme réactionnel de la réduction du réactif de Folin-Ciocalteu induite par l'oxydation des composés phénoliques (**Ford et al., 2019**).

3.2. Mode opératoire :

Le protocole de **Shan et al. (2019)** a été suivi. Un volume de 100 μ L de chaque dilution d'extrait a été ajouté à 500 μ L de Folin Ciocalteu, dilué au 1/10 et 400 μ L de carbonate de sodium. L'ensemble a été laissé à température ambiante pendant 1h puis l'absorbance a été lue à 760nm.

Matériel et méthodes

Pour une meilleure détermination du taux des phénols totaux, trois répétitions ont été effectuées pour chaque dilution d'extrait.

3.3. Expression des résultats : Les concentrations en composés phénoliques totaux des extraits ont été déterminées en se référant à la droite d'étalonnage, obtenue à différentes concentrations d'acide gallique. Les résultats sont exprimés en milligrammes d'équivalent en acide gallique par 1 gramme de poids sec (mg EAG/g MS).

4. Évaluation de l'activité antioxydants :

L'activité antioxydants de chaque extrait a été évaluée par piégeage du radical DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) selon la méthode décrite par **Brand-Williams et al. (1995)**.

4.1. Effet scavenger du radical DPPH :

4.1.1 Principe :

Cette méthode est basée sur la mesure du piégeage des radicaux libres de DPPH, en solution dans le méthanol. En présence des piègeurs de radicaux libres, le DPPH, de couleur violette, est réduit en 2,2-diphényl-1-picryl hydrazine de couleur jaune (**Figure N°11**). L'intensité de la coloration est proportionnelle à la capacité antioxydants de l'antioxydants, cette coloration peut être suivie par spectrophotométrie à 517 nm (**Xu et al., 2017**).

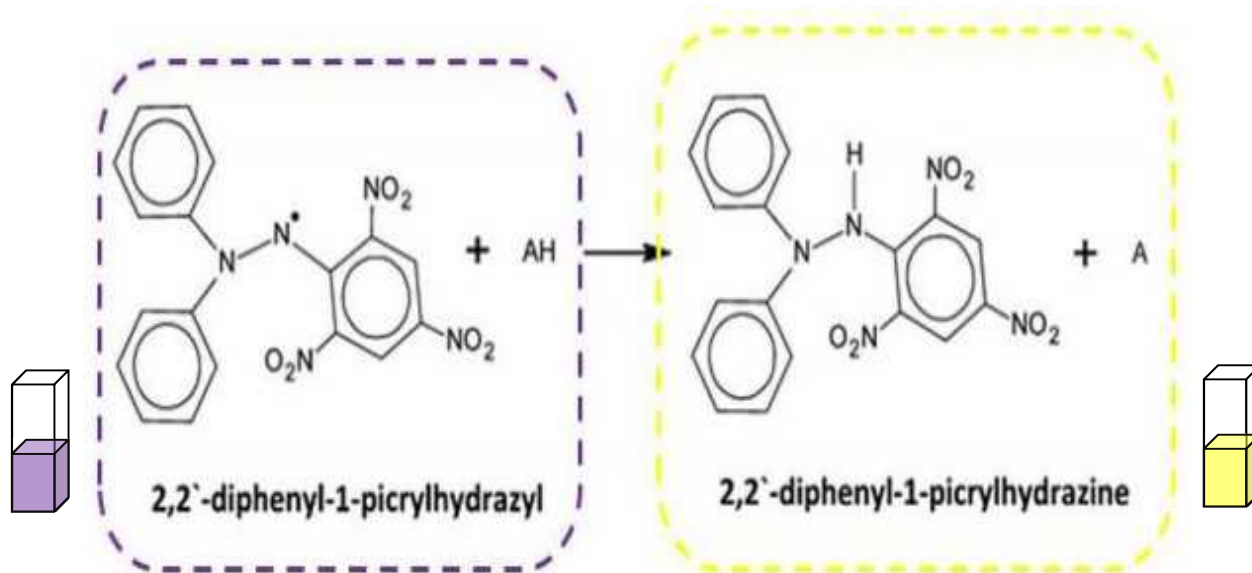


Figure N°11 : Mécanisme réactionnel intervenant entre le radical DPPH• et un antioxydants (AH). (**Kerkoub et al., 2021**).

Matériel et méthodes

4.1.2. Mode opératoire :

Un volume de 1950 μ L de solution de DPPH (0,1mM), fraîchement préparée dans du méthanol, a été ajoutée à 50 μ L de chaque extrait seul ou en association à différentes concentrations. Les tubes contenant ce mélange ont été mis à l'obscurité pendant 30 min, suite à cela l'absorbance est lue avec un spectrophotomètre à 517 nm. Pour une meilleure détermination de l'activité antioxydants, pour chaque concentration d'extrait trois répétitions ont été réalisées. Un contrôle (blanc) a été préparé en remplaçant la solution d'extrait par du méthanol.

Le pourcentage d'inhibition est calculé selon la formule suivante (**Shan et al., 2019**) :

$$I\% = \frac{A_c - A_t}{A_c} \times 100$$

A_c : absorbance du contrôle.

A_t : absorbance du test effectué.

La valeur EC50 (aussi appelée IC 50) a été déterminée pour chaque extrait, elle est définie comme étant la concentration de l'échantillon testé, nécessaire pour réduire 50 % du radical DPPH. L'IC50 est calculée graphiquement par les régressions linéaires de l'activité de piégeage (en %) tracé en fonction de différentes concentrations des extraits testés.

5. Micro encapsulation par coacervation complexe :

5.1. Principe :

La coacervation complexe consiste en la désolvatation simultanée de deux poly-électrolytes hydrosolubles portant des charges opposées, provoquée par une modification du pH du milieu aqueux (**Moschakis et al., 2010**).

Dans le cas où le produit à encapsuler est dispersé dans une solution aqueuse contenant les deux polymères la coacervation est déclenchée par un ajustement du pH de la solution, de façon que les charges positives du premier polymère équilibrent les charges négatives de la seconde phase. Ensuite l'attraction électrostatique des deux poly-électrolytes provoque l'apparition d'un coacervat mixte, les gouttelettes de ce dernier viennent s'adsorber à la surface de la macromolécule et former un enrobage continu. Les deux phases obtenues par coacervation complexe sont : le coacervat, riche en macromolécules et pauvre en eau, qui résulte de la formation de complexes entre les macromolécules chargées positivement et celles chargées

Matériel et méthodes

négativement, et le surnageant, pauvre en macromolécules et riche en eau (**Richard et Benoit, 2013**).

5.2. Mode opératoire :

Deux solutions protéinique et polysaccharidique ont été préparées en dispersant 1 gr de chacun des polymères utilisées dans 25 ml d'eau distillée individuellement, ensuite le pH des deux solutions a été ajusté à 8. Un volume de 25 ml de la première solution a été ajouté à 0,25 g de chaque extrait seul et à chaque combinaison d'extraits. Le mélange est homogénéisé dans un ultra turax à 18000 rpm pendant 3 min, puis laissé sous agitation simple sur une plaque agitatrice à 600 rpm en ajoutant graduellement 25 ml de la solution de la deuxième solution. Le pH est ensuite ajusté doucement à $3,5 \pm 0,1$ sur un bain de glace. Une agitation douce est réalisée puis les échantillons sont lyophilisés pendant une nuit à 4°C et stockés dans des bocaux de verre ambrés (**Nori et al., 2011**).

Résultats et discussions

1. Rendement d'extraction :

Pour qu'une technique analytique génère suffisamment de données pour la détermination de substances naturelles telles que les polyphénols dans les plantes, elle doit être suffisamment efficace, sélective et sensible. Idéalement, l'extraction devrait entraîner la séparation sélective des composants cibles avec une récupération élevée et des interférences réduites. Les extraits peuvent être obtenus avec plusieurs solvants, organiques ou inorganiques, qui peuvent influencer la quantité de composés phénoliques obtenus dans les extraits. L'aspect le plus crucial à prendre en compte pour un rendement d'extraction optimal est le choix du solvant et la polarité des composés ciblés (Tzima et al., 2018). Les composés ciblés dans notre étude sont les polyphénols qui sont des molécules plutôt hydrosolubles, et sont majoritairement extraits par des solvants de polarité moyenne à forte (Xu et al., 2017).

La préparation des extraits depuis les parties aériennes des plantes a été effectuée par macération à température ambiante dans un solvant « l'éthanol à 70% ».

Le rendement de cette extraction a été calculé pour chaque extrait selon l'équation suivante (Emuri et al., 2010).

$$R\% = \frac{\text{masse de l'extrait}}{\text{masse de la poudre végétale}} * 100$$

Les résultats sont résumés dans le tableau N° VI :

Tableau N°VI : Rendement d'extraction

Extraits	Le rendement %
<i>Rosmarinus officinalis</i>	9,93
<i>Salvia officinalis</i>	11,19
<i>Lavandula stoechas</i>	13,45
<i>Ruta graveolens</i>	13,35

Les résultats obtenus diffèrent d'une plante à une autre et montrent que le rendement le plus grand est celui de *Lavandula stoechas*, avec une valeur de 13,45%, suivi de *Ruta graveolens* 13,35% puis *Rosmarinus officinalis* et *Salvia officinalis* avec respectivement 9,93% et 11,19 %.

Résultats et discussions

Ces résultats sont inférieurs à ceux recensés dans la bibliographie, par **fadili et al. (2015)** qui ont eu un taux de 11,66% pour l'extrait de *Rosmarinus officinalis* ; **VelićKović et al. (2011)** qui ont obtenu un rendement significatif de 38,4 % pour l'extrait de *Salvia officinalis* ; **menaceur, (2014)** qui a obtenu un taux de 19,3 pour l'extrait de *Lavandula stoechas* et **Aljayash, (2014)** qui a obtenu un taux largement supérieur par rapport à notre taux d'extrait de *Ruta graveolens* estimé à 34,18 %.

Plusieurs travaux révèlent que la diversification de rendement entre les extraits peut être influencée par plusieurs paramètres tels que ; la saison de récolte, les méthodes d'extraction ainsi que les solvants utilisés et leur proportion (**Pratima et Plicepatil, 2017**). Le rendement est donc relatif et dépend de la méthode et des conditions dans lesquelles l'extraction a été effectuée.

2. Dosage des polyphénols totaux :

Le contenu total des polyphénols des extraits a été calculé à partir de l'équation de régression linéaire de la courbe d'étalonnage d'acide gallique ($y=2,855x$ / $R^2=0,990$) les résultats ont été exprimés en mg équivalent acide gallique par gramme de matière sèche (mg EAG/g Ms). (**Figure 12**)

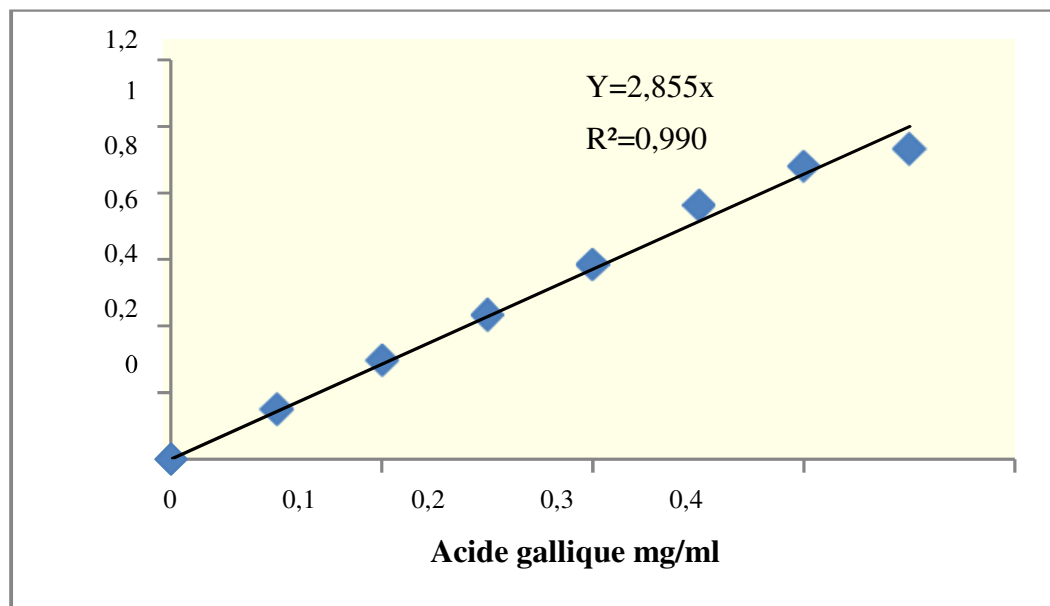


Figure N°12 : droite d'étalonnage pour le dosage des polyphénols totaux.

Résultats et discussions

Ces résultats ont permis de donner des estimations sur la teneur en polyphénols totaux de chaque extrait et sont résumés dans la **figure N°13**.

3. Activité antioxydants :

3.1. Effet scavenging du DPPH des extraits seuls :

La figure N°14 illustre le pourcentage d'inhibition du radical DPPH par les antioxydants des extraits hydro-alcooliques des quatre plantes selon les différentes concentrations.

D'après les résultats obtenus, nous avons constaté que l'activité anti-radicalaire augmente en fonction de la concentration des extraits hydro-alcooliques ce qui révèle une activité anti-radicalaire dose dépendante.

L'effet scavenging du DPPH des extraits de *Rosmarinus officinalis* et *salvia officinalis* varient respectivement de 23,48% à 85,3% et de 17,53% à 81,97% dans une gamme de concentrations allant de 0,3 mg/ml à 1,25 mg/ml. Pour Les extraits de *lavandula stoechas* et *Ruta graveolens* les pourcentages d'inhibition varient respectivement de 27,31% à 83,25% pour des concentrations allant de 0,3 à 1 mg/ml et de 5,05% à 21,06% pour une gamme de concentrations de 0,5 mg/ml à 1,25 mg/ml.

D'après ces résultats l'extrait de *Ruta graveolens* est moins efficace avec un faible pourcentage d'inhibition ce qui peut s'expliquer par sa teneur faible en polyphénols par rapport aux autres extraits. L'extrait de *lavandula stoechas*, malgré sa teneur inférieure à celles des extraits de *rosmarinus officinalis* et *salvia officinalis* a montré un pourcentage d'inhibition allant jusqu'à 83 %, cela pourrait être expliqué par la structure et le type de polyphénols contenu dans cet extrait (**Arora, 1998**).

3.2. Détermination de la Concentration inhibitrice à 50% :

L'IC50 est définie comme étant la concentration d'extrait de plante responsable de 50% d'inhibition des radicaux DPPH, il est déterminé sur le graphique représentant le pourcentage d'inhibition du DPPH en fonction des concentrations de chaque extrait (**Popovici et al., 2009**). Plus cette valeur est faible, plus le composé est antioxydants (**Belkheiri, 2010**). Les résultats obtenus dans notre cas sont présentés dans le **tableau N°VII**.

Résultats et discussions

Les valeurs des IC50 obtenues sont comparables aux pourcentages scavenging du radical DPPH. Parmi les 4 extraits étudiés celui de *Lavandula stoechas* est le plus actif avec le pouvoir antioxydants le plus fort suivi des extraits de *Rosmarinus officinalis* et *Salvia officinalis* contrairement à l'extrait de *Ruta graveolens* qui semble avoir l'activité anti-radicalaire envers le DPPH la plus faible. Le niveau de corrélation entre le taux des polyphénols et l'activité anti-radicalaire est un aspect important qui soutient l'hypothèse selon laquelle les composés phénoliques contribuent directement à l'activité antioxydants (**Duh Yen, 1999**).

D'après nos résultats nous pouvons déduire une corrélation entre le contenu en polyphénols totaux des différents extraits et leur pouvoir anti-radicalaire. Par ailleurs il a été établi que l'activité antioxydants est liée à la structure des polyphénols. Généralement, les polyphénols avec un nombre élevé de groupements hydroxyles présentent l'activité antioxydants la plus élevée (**Torres et al., 2007**), donc l'effet antioxydants n'est pas seulement dépendant de la concentration mais également de la structure des polyphénols (**Khokhar et Apenten, 2003**).

3.4. Effet scavenging du DPPH des extraits combinés :

La combinaison des substances médicamenteuses est la méthode la plus courante et la plus efficace pour le traitement des maladies, mais la question est de savoir si l'association de ces dernier est bénéfique pour le patient ou pas, et pour cela l'analyse des isobogrammes a été mathématiquement prouvée et largement utilisée pour évaluer ces interactions (**Huang et al., 2019**). Il s'agit d'un graphique en coordonnées cartésiennes dans lequel les axes sont les doses des médicaments respectifs (**Tallarida, 2012**).

Six associations des extraits hydro-alcooliques des plantes étudiées ont été effectuées et sont résumées dans le **tableau N°VIII**.

Résultats et discussions

Tableau N°VIII : combinaison des extraits hydro-alcooliques utilisés.

Extraits hydro-alcooliques combinés
<i>ER (Rosmarinus officinalis) et ES (Salvia officinalis)</i>
<i>ER (Rosmarinus officinalis) et EL (Lavandula stoechas)</i>
<i>ER (Rosmarinus officinalis) et ERU (Ruta graveolens)</i>
<i>ES (Salvia officinalis) et EL (lavandula stoechas)</i>
<i>ES (Salvia officinalis) et ERU (Ruta graveolens)</i>
<i>EL (Lavandula stoechas) et ERU (Ruta graveolens)</i>

Les figures N° 15 à 20 illustrent les isobogrammes obtenus pour chaque combinaison effectuée.

4. Micro encapsulation par coacervation complexe

En raison de l'énorme intérêt de la communauté scientifique et de l'industrie pour la microencapsulation de substances actives, plusieurs méthodes ont été développées au fil du temps (Sousa et al., 2022). Néanmoins avec la grande diversité des molécules existantes, il n'y a aucun moyen de désigner une technique ou un agent d'encapsulation universel, le choix doit donc tenir compte du bioactif qui sera encapsulé et les matériaux d'encapsulation, cependant pour avoir une meilleure efficacité du procédé et un résultat satisfaisant, des facteurs tels que l'utilisation d'ingrédients non toxiques, biodégradables, qui n'interagissent pas avec le composé actif, pendant le traitement ou le stockage et qui sont malléables lors de différentes procédures ou conditions, doivent être pris en considération. Ils peuvent provenir d'éléments disponibles dans les aliments, limitant l'utilisation de matériaux synthétiques dans sa transformation, avoir des caractéristiques d'adhésion à la muqueuse gastrique afin d'augmenter la biodisponibilité du composé actif et réduire la quantité de principe actif à administrer tout en maintenant son activité et son efficacité pour un rapport coût-bénéfice satisfaisant (De Queiroz et al., 2020 ; Niño-Vásquez et al., 2022).

Résultats et discussions

La coacervation est l'une des techniques physicochimiques de microencapsulation les plus utilisées (Niño-Vásquez *et al.*, 2022). Dans le présent travail, un polysaccharide et une protéine, des polymères naturels, biodégradables et non toxiques ont été utilisés.

La coacervation complexe des protéines, avec les polysaccharides en milieu aqueux se produit par interaction électrostatique entre les polysaccharides et les groupes amines des protéines à des valeurs de pH inférieures au point isoélectrique (pI) des polysaccharides ($pI_{po} \sim 3,0$) et supérieures au pI des protéines ($pI_{pr} \sim 4,55$) ($pI_{po} < pH < pI_{pr}$) (Baracat *et al.*, 2012).



Avant ajustement du pH à $3,5 \pm 0,1$



Après ajustement du pH $3,5 \pm 0,1$

Figure N°21: Illustration de la formation des microcapsules.

Les observations au microscope optique au grossissement 10×100 (Figures N°22 et 23) montrent des microcapsules sphériques simples et uniformes, constituées de noyaux uniques contenant les extraits enveloppés dans une matrice polymérique, avec une différence visible dans la taille des microcapsules entre les extraits et les capsules d'un même extrait. Cette différence de forme et de taille peut être directement liée à la vitesse d'acidification en effet lorsque elle est effectuée lentement, il y aura une meilleure stabilisation de la caséine par la pectine et donc les particules sont plus sphériques et uniformes (Rediguieri *et al.*, 2007).

Résultats et discussions

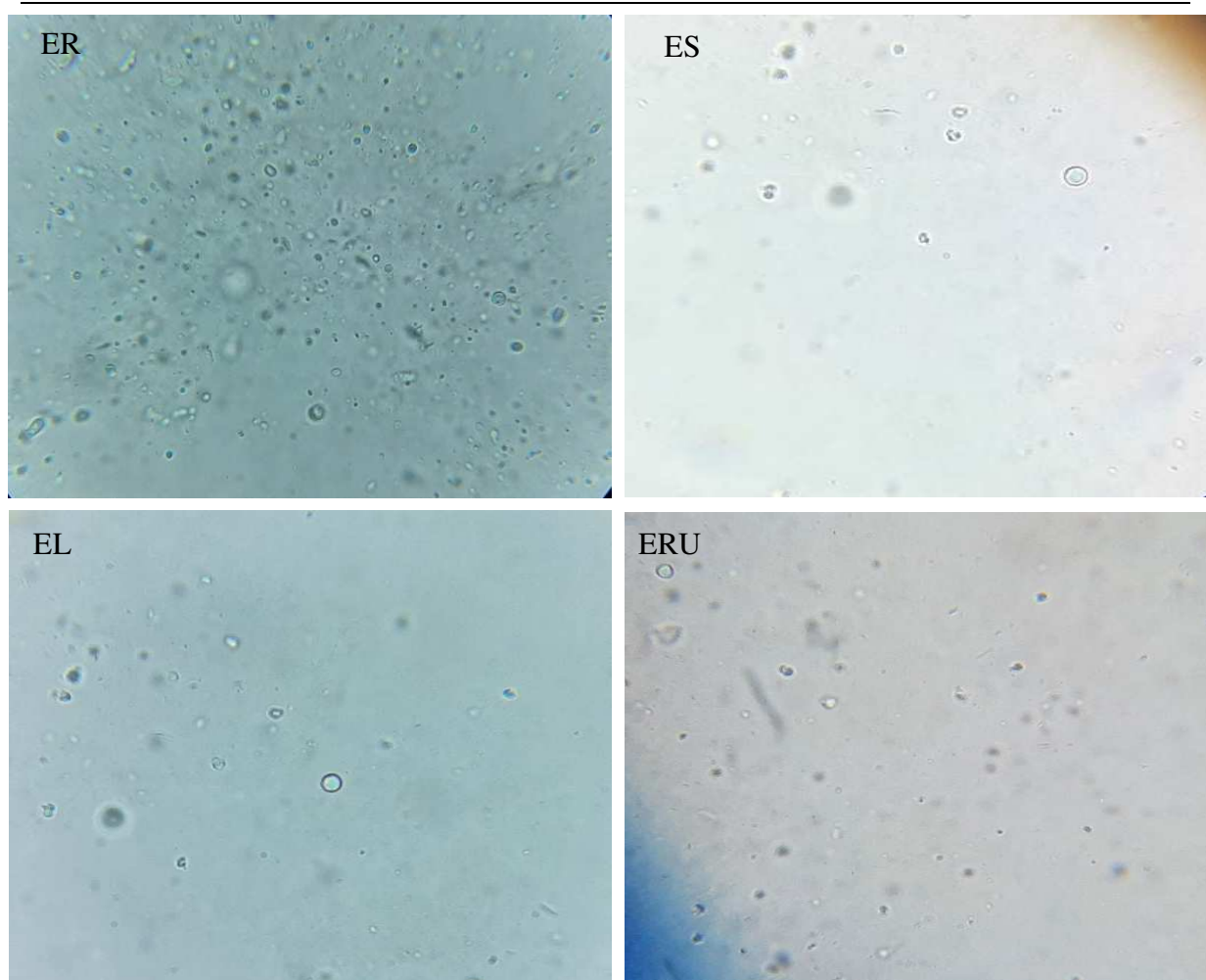


Figure N° 22 : Observation au microscope optique des microcapsules formées pour chacun des extraits (ER : extrait de *Rosmarinus officinalis* ; ES : extrait de *Salvia officinalis* ; EL : extrait de *Lavandula stoechas* ; ERU : extrait de *Ruta graveolens*).

Résultats et discussions

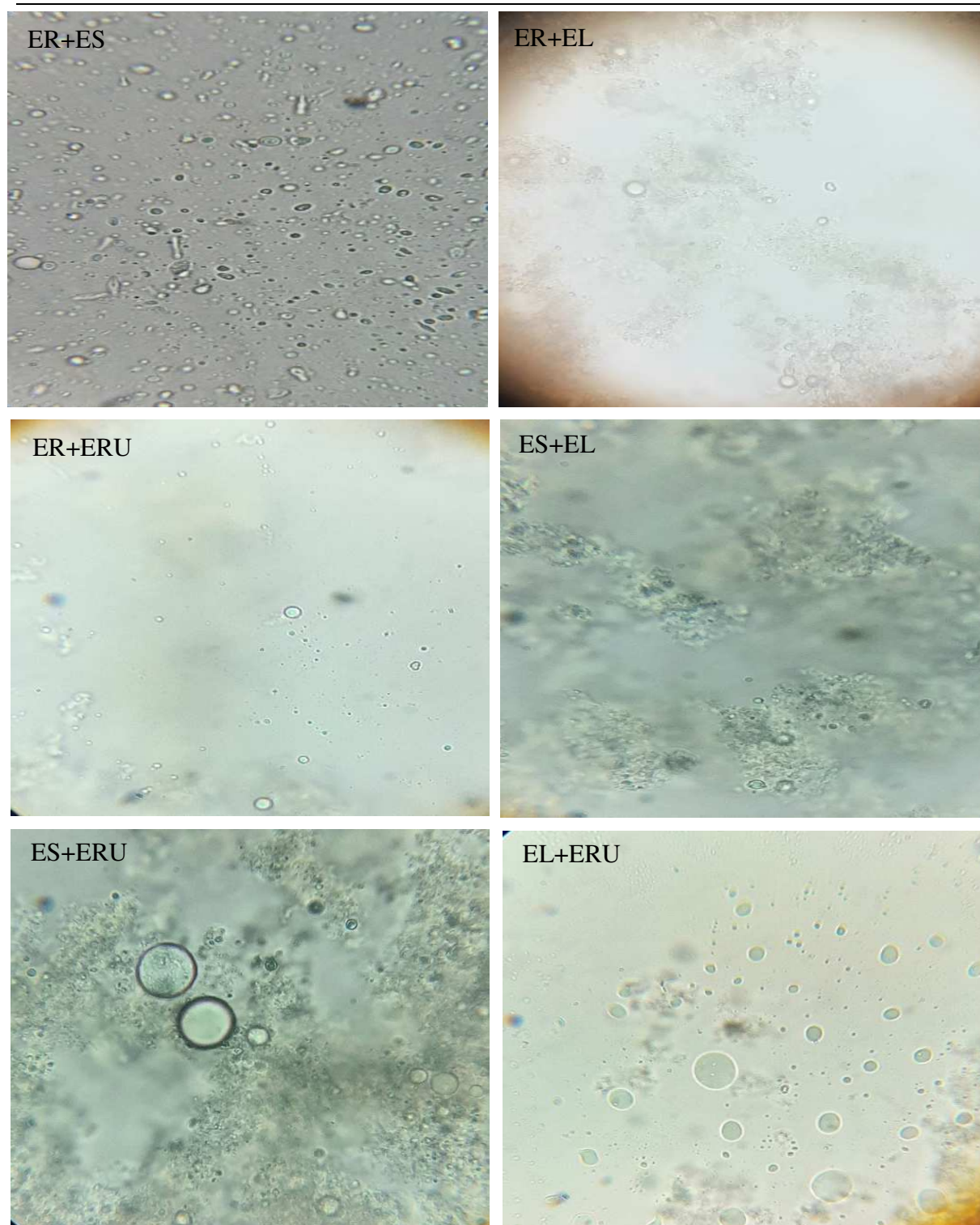


Figure N°23 : Observations au microscope optique des microcapsules formées par les six associations des quatre extraits hydro-alcooliques (ER : extrait de *Rosmarinus officinalis* ; ES : extrait de *Salvia officinalis* ; EL : extrait de *Lavandula stoechas* ; ERU : extrait de *Ruta graveolens*).

Conclusion et perspectives

Les plantes médicinales sont considérées comme une source majeure de molécules bioactives avec des propriétés thérapeutiques. Parmi ces molécules, on retrouve les polyphénols qui suscitent beaucoup d'intérêts en raison de leur rôle significatif dans la correction et la prévention de certaines pathologies.

Dans cette étude nous nous sommes intéressés à l'évaluation de l'activité antioxydants des extraits de quatre plantes médicinales issues de la flore algérienne seuls et en associations.

Le dosage spectrophotométrique des extraits éthanoliques des quatre plantes étudiées à savoir *Rosmarinus officinalis* ; *Salvia officinalis* ; *Lavandula stoechas* et *Ruta graveolens* ont montré une teneur significative en polyphénols tel que *Rosmarinus officinalis* qui a présenté une teneur estimée de 288,86, ces composés sont en général de bons antioxydants.

L'évaluation de l'activité anti-radicalaire des extraits des plantes a été réalisée par le test du DPPH. Les résultats *in vitro* ont montré un pouvoir de piégeage du radical libre DPPH plus ou moins fort chez les quatre espèces, la valeur IC50 la plus basse a été constatée dans l'extrait éthanolique de *Lavandula stoechas* (0,56 mg/mL).

Les résultats de toutes les associations des extraits éthanoliques ont donné des effets antagonistes, ce qui est en général un effet non recherché en pharmacologie mais qui peut être utilisé afin de corriger certains effets indésirables.

Dans notre mémoire nous avons aussi montré la possibilité d'encapsuler les extraits des quatre plantes étudiées, les microcapsules obtenues sont de forme sphérique pour les extraits seuls, irrégulières pour les extraits associés.

Il serait intéressant de poursuivre cette étude en identifiant les composés bioactifs de chacun des extraits étudiés, d'évaluer d'autres activités biologiques, telle que l'activité anti inflammatoire, étroitement liée au pouvoir antioxydants des extraits. Cette étude pourrait également être complétée par l'étude du mécanisme d'action du pouvoir antioxydants en effectuant d'autres tests. L'encapsulation étant une technique très utilisée, depuis quelques années, vu qu'elle préserve les substances actives, il faudrait tester les activités biologiques des extraits encapsulés et les comparer à celles des composés non encapsulés.

Références bibliographiques

A

- **Abdellah,F., Bousta, D., Ez zoubi, Y., A** .Phytopharmacological review of a Mediterranean plant: *Lavandula stoechas* L. *Clinical Phytoscience* 2020 ; 6(1), 9– . doi:10.1186/s40816-019-0142-y
- **Aberkane M.C.**, 2006. Etude phytochimique de la plante *Publicaria laciniata*. Thèse de doctorat. Batna, 163p.
- **Ahmed HM, Babakir-Mina M.** Investigation of rosemary herbal extracts (*Rosmarinus officinalis*) and their potential effects on immunity. *Phytother Res* 2020 Aug;34(8):1829-1837. doi: 10.1002/ptr.6648. Epub 2020 Feb 22. PMID: 32086980.
- **Aljayash, Mariam H. Gonaïd,Mojahidul I and Chaouch. A.** Antibacterial and cytotoxic activities of some Libyan medicinal plants. *Scholars Research Library.J. Nat. Prod. Plant Resour* 2014 ; 4 (2):43-51.
- **Altindal, D., & Altindal, N.** Sage (*Salvia officinalis*) Oils. *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety* 2016 ; 715–721. Doi:10.1016/b978-0-12-416641-7.00081-x.
- **Andersen,H.R. Nielsen,J.B. Nielsen,F. Grandjean,P.** Anti oxidative enzyme activities in human erythrocytes. *Clinical Chemistry* 1997 ; Vol 43: 562-568.
- **Ang LF, Darwis Y, Por LY, Yam MF.** Microencapsulation Curcuminoids for Effective Delivery in Pharmaceutical Application. *Pharmaceutics*. 2019 Sep ; 2;11(9):451. Doi: 10.3390/pharmaceutics11090451. PMID: 31480767; PMCID: PMC6781510).
- **Asgarpanah, J.** Phytochemistry and pharmacological properties of *Ruta graveolens* L. *Journal of Medicinal Plants Research* 2012 ;Vol. 6(23), pp.3942-3949.

- **ARORA.A** Structure-activity relationships for antioxidant activities of a series of flavonoids in a liposomal system free radical biology and medicine 1998 ; 24 : 1355.
- **AUROUSSEAU, B.** Les radicaux libres dans l'organisme des animaux d'élevage : conséquences sur la reproduction, la physiologie et la qualité de leurs produits. INRAE Productions Animales 2002 ; 15(1), 67-82. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2002.15.1.3688>

B

- **Barboni ,T.**2006. Contribution de méthodes de la chimie analytique à l'amélioration de la qualité de fruits et à la détermination de mécanismes (EGE) et de risques d'incendie.Doctorat thèse, Université de corse, France.
- **Baracat MM, Nakagawa AM, Casagrande R, Georgetti SR, Verri WA Jr, de Freitas O.** Preparation and characterization of microcapsules based on biodegradable polymers: pectin/casein complex for controlled drug release systems. AAPS PharmSciTech. 2012 Jun;13(2):364-72. doi: 10.1208/s12249-012-9752-0. Epub 2012 Feb 10. PMID: 22322381; PMCID: PMC3364389.
- **Halliwell, B.** .Antioxydants et maladies humaines : une introduction générale 1997 ; 55(1), 0-0. Doi:10.1111/j.1753-4887.1997.tb06100.x.
- **Baudin, B.** Stress oxydant et protections antioxydantes. Revue Francophone Des Laboratoires, 2020 ; (522), 22-30. Doi:10.1016/s1773-035x(20)30159-3.
- **Baxter K et al.** General considerations and an outline survey of some basic interaction mechanisms, in Stokley's Drug Interactions, Eighth Edition. London: Pharmaceutical Press; 2008.
- **Beaudeau J-L, Peynet J, Bonnefont-Rousselot D, Therond P, Delattre J, Legrand A.** Sources cellulaires des espèces réactives de l'oxygène et de l'azote. Ann Pharm Françaises 2006 ; 64:373–381.

- **BELKHEIRI N.**, 2010. Derives phenoliques à activite antiatherogenes. Thèse de doctorat en Chimie-Biologie-Santé. Université Toulouse III : 34p.
- **Bloland, PB, M. Ettling et S. Meek.** 2000. Thérapie combinée pour le paludisme en Afrique : battage publicitaire ou espoir ? Taureau. OMS 78 : 1378-1388.
- **Block E.**The organosulfur chemistry of the genus Allium. Implications for the organic chemistry of sulphur. Angew. Chem. Int. Ed. Engl 1992 ; 31 (9) 1135-1178.
- **Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and Berset, C.L.W.T.** (1995) Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity.
- **Boizot N., and Charpentier .J.P.** Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. Le cahier des techniques de l'Inra (2006) ; pp 79-82.

C

- **Calderón-Oliver M, Ponce-Alquicira E.** The Role of Microencapsulation in Food Application. Molecules. 2022 Feb 23;27(5):1499. doi: 10.3390/molecules27051499. PMID: 35268603; PMCID: PMC8912024.
- **Carr, A. Frei, B.** (1999) :Does vitamin C act as pro-oxidant under physiological conditions? FASEB J. 13(9), 1007-1024.
- **Chu C. J et Kemper, K. J.** (2001). Lavender (Lavandula spp.). Longwood Herbai Task Force. p. 32.
- **CUVELIER C., DOTREPPE O., ISTASSE L.** Chimie, sources alimentaires et dosage de la vitamine E. (2003)

D

- **Debuigne G., & Couplan F.**, Petit larousse des plantes médicinales . faculté libre des sciences et technologies L3 environnementaliste Monographie Salvia officinalis 2009 ; 352, 6.
- **De Oliveira JR, Camargo SEA, de Oliveira LD.** Rosmarinus officinalis L. (rosemary) as therapeutic and prophylactic agent. J Biomed Sci. 2019 Jan 9;26(1):5. doi: 10.1186/s12929-019-0499-8. PMID: 30621719; PMCID: PMC6325740.
- **De Queiroz JLC, Medeiros I, Piuvezam G, de França Nunes AC, Gomes CC, Maciel BLL, de Araújo Morais AH, Passos TS.** Effect of carotenoid encapsulation on antioxidant activities: A protocol for systematic review. Medicine (Baltimore). 2020 Apr;99(16):e19772. doi: 10.1097/MD.00000000000019772. PMID: 32311984; PMCID: PMC7220672
- **Duke, J.A., Bogenschutz-Godwin, M.J., duCellier, J., and Duke, P.A.** 2008. *Handbook of Medicinal Spices*.CRC Press, Boca Raton, FL. 348 pp. (HOS).

E

- **E. Haslam JD Phillipson, DC Ayres et H. Baxter, Eds,** Polyphénols Végétaux : Tanins végétaux revisités Chimie et pharmacologie des produits naturels . Cambridge University Press : Cambridge 1989 ; pp. 230, 35
- **Emuri Abe, Stanilas Grassin Delyle, Jean Claude Alvarez** , Extraction liquide-liquide : théorie, applications, difficultés. Ann Toxicol Anal, 22 2 (2010) 51-59. doi : <https://doi.org/10.1051/ata/2010018>

F

- **Fain O.** (2004). Carences en vitamine C. Rev Médecine Interne. 25(12) :872–80.

- **Falleh H., Ksouri R., Chaieb K., Karray-Bouraoui N., Trabelsi N., Boulaaba M. and Abdelly C.** Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. organs and their biological activities. *C. R. Biologies* 2008 ; 331, 372-379.
- **Favier, A.** Le stress oxydant : Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *L'actualité chimique* 2003 ; 108-115.
- **Finaud, J., Lac, G., Filaire, E.** Oxidative Stress. Relationship with Exercise and Training. *Sports Medicine* 2006 ; 36(4). doi: 0112-1642/06/0004-0327/39.95/0, 327-358P.
- **Fleming T. et al,** *PDR for Herbal Medicines*; Ed: medical economics company 2000; p: 648-649.
- **Ford, L., Theodoridou, K., Sheldrake, G., Walsh, P.,** A critical review of analytical methods used for the chemical characterisation and quantification of phlorotannin compounds in brown seaweeds. *Phytochemical Analysis* 2019 ; 30. 1-13. 10.1002/pca.2851.

G

- **Gardès-Albert M Bonnefont-Rousselot D., Zohreh Abedinzadeh Z et Daniel Jore D.** Espèces réactives de l'oxygène: Comment l'oxygène peut-il devenir toxique ? *L'actualité chimique* 2003 ; pp: 91-96.
- **Georgé S., Brat P., Alter P., et Amiot M. J.** Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant derived product, *J. Agric. Food Chem* 2005 ; 53 : 1370-1373.
- **Ghasemzadeh R., M et H Hosseinzadeh.** "Effets thérapeutiques du romarin (*Rosmarinus officinalis* L.) et de ses constituants actifs sur les troubles du système nerveux." *Journal iranien des sciences médicales fondamentales* 2020 ; vol. 23,9: 1100-1112. doi:10.22038/ijbms.2020.45269.10541.

- **Ghedira, K.** Les flavonoïdes: structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique. *Phytotherapy* 2005 ; 3, 162–169 .
- **Giray, E. S., Kırıcı, S. et al.** Comparing the effect of sub-critical water extraction with conventional extraction methods on the chemical composition of *Lavandula stoechas*. *Talanta* 2008 ; 74, 930-935.
- **Ghorbani, A., & Esmailizadeh, M.** Pharmacological properties of *Salvia officinalis* and its components. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 2017 ; 7(4), 433–440. doi:10.1016/j.jtcme.2016.12.014
- **Gonzalez-Trujano, M.E., Carrera, D., Ventura- Martinez, R., Cedillo-Portugal, E., Navarrete, A.** Neuropharmacological profile of an ethanol extract of *Ruta chalepensis* L. in mice. *J. Ethnopharm* 2006 ; 106: 129-135

H

- **Halliwell, B; Gutteridge, JMC**, toxicité de l'oxygène, radicaux oxygénés, métaux de transition et maladies. *Journal biochimique*, 1984 ; 219(1), 1–14. doi:10.1042/bj2190001
- **Harman,D.** Aging: overview. *Ann N Y Acad Sci.* 2000 ; Vol 928:1–21
- **Hopkins W. G.** (2003). *Physiologie végétale*. 2ème Edition américaine : Boeck et Lancier S A, Paris. p 514.
- **Holaly Efui Gbekley , Damintoti Simplicie Karou , Charlemagne Gnoula, Kodjovi, Agbodeka Kokou Anani , Tchadjobo Tchacondo , Amegnona Agbonon , Komlan Batawila , Jacques Simpore.** Étude ethnobotanique des plantes utilisées dans le traitement du diabète dans la médecine traditionnelle de la région Maritime du Togo. *Journal médical panafricain*,2018 ; 30. doi:10.11604/pamj.2018.30.186.154.
- **Hrebień-Filisińska, A.M.; Bartkowiak, A.** Antioxidative Effect of Sage (*Salvia officinalis* L.) Macerate as “Green Extract” in Inhibiting the Oxidation of Fish Oil. *Antioxidants* 2021, 11, 100. <https://doi.org/10.3390/antiox11010100>

- **Huang, R. Y., Pei, L., Liu, Q., Chen, S., Dou, H., Shu, G., Yuan, Z. X., Lin, J., Peng, G., Zhang, W., & Fu, H.** Isobologram Analysis: A Comprehensive Review of Methodology and Current Research. *Frontiers in pharmacology* 2019 ; 10, 1222. <https://doi.org/10.3389/fphar.2019.01222>

I

- **Iibert H. (ed.), Hoxha V. (ed.), Sahi L. (ed.), Courivaud A. (ed.), Chailan C. (ed.).** La dynamique des plantes aromatiques et médicinales en Algérie [Troisième partie]. Le marché des plantes aromatiques et médicinales : analyse des tendances du marché mondial et des stratégies économiques en Albanie et en Algérie. Montpellier : CIHEAM / FranceAgriMer, 2016. p. 101-140. (Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches; n. 73).
- **Iserin. P.** Encyclopédie des plantes médicinales, Larousse VUEF, 2001 ; (2. Ed.14, Éd.) Paris.

J

- **Jaemin Lee; Jae Y. Shim; Jeong H. Choi; Eun S. Kim; Ou K. Kwon; Dong E. Moon; Jong H. Choi; Michael J. Bishop** Epidural naloxone reduces intestinal hypomotility but not analgesia of epidural morphine. 2001 ; 48(1), 54–58. doi:10.1007/bf03019815
- **Jakovljević M, Jokić S, Molnar M, Jašić M, Babić J, Jukić H, Banjari I.** Bioactive Profile of Various *Salvia officinalis* L. Preparations. *Plants* 2019; 8(3):55. <https://doi.org/10.3390/plants8030055>
- **John MC gutteridge ., halliwell B.,** (2000). Radicaux libres et antioxydants en l'an 2000 : un regard historique sur l'avenir 2000 ; 899 (aucun), 136–147. doi:10.1111/j.1749-6632.2000.tb06182.x

K

- **Khokhar S., Apenten R. K. O.** (2003). Iron binding characteristics of phenolic compounds: some tentative structure–activity relations. *Food Chemistry*. 2003 ; 81:133–140.
- **Kaitlyn A. Khandelwal Gilman;Seungmin Han;Young-Wook Won;Charles W. Putnam;** (2021). Complex interactions of lovastatin with 10 chemotherapeutic drugs: a rigorous evaluation of synergism and antagonism. *BMC Cancer*, 2021); . doi:10.1186/s12885-021-07963-w
- **K. fadili, S. amalich, S. K. N’dedianhoua , M. Bouachrine, M. mahdjoubi, F. EL hilali and T. zair.** Polyphenols content and antioxidant activity of two species from Moroccan High Atlas: *Rosmarinus officinalis* and *Thymus satureioides*.*International Journal of Innovation and Scientific Research* 2015 ;Vol. 17 No. 1 Aug., pp. 24-33
- **Kerkoub N., Nasri H., HadeF, Y.** (2021). Etude physico-chimique et ethnopharmacologique du genre *Salvia* [these doctorat] Université Chadli Bendjedid-El Tarf
- **Kompelly A, Kompelly S, Vasudha B, Narender B,** *Rosmarinus officinalis*L.: an update review of its phytochemistry and biological activity, *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*. 2019; 9(1):323-330

L

- **Loewe, S.** The problem of synergism and antagonism of combined drugs. *Arzneimittelforschung* 1953 ; 3, (6), 285-290

M

- **Maarouf A.** (2000). *Dictionnaire botanique*. p 129.

- **Macheix JJ, Fleuriet A and Jay-Allemand C** : Les composés phénoliques des végétaux : un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. Ed. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne 2005 ; p : 4-5.
- **Mahmoudi, S., Khali, M., & Mahmoudi, N.** Etude de l'extraction des composés phénoliques de différentes parties de la fleur d'artichaut (*Cynara scolymus* L.). *Nature & Technology* 2013 ; 9, 35.
- **MEDIC SANIC M; JASPRICA I; SMOLCIC BUBALO A; ET MORNAR A.,** Optimization of chromatographic conditions in thin layer chromatography of flavonoides and phenolic acids, *Croatica Chemica Acta* 2004 ; p 361-366
- **MEJRI J., ABDERRABBA M. et MEJRI M.,** Chemical composition of the essential oil of *Ruta chalepensis* L.: Influence of drying, hydrodistillation duration and plant parts; *Industrial Crops and Products* 32, Ed: ELSEVIER 2010 ; p: 671- 673.
- **Menaceur, F., & hazzit, M.,** Comparative study of chemical composition and antioxydant activity of ethanolic extracts from Algerian *lavandula stoechas* L. and *rosmarinus tournefortii* de noé. *International Journal of Agricultural Science and Research*. Vol. 4, Issue 6, Dec 2014, 139-146.
- **Mène-Saffrané, Laurent.** Vitamin E biosynthesis and its regulation in plants. *Antioxydants*. 2017, Vol. 7, 1, p. 2.
- **MILESI S. MASSOT B., GONTIER E., BOURGAUD F. et GUCKERT A,** *Ruta graveolens* L.: a promising species for the production of furanocoumarins; *Plant Science* 2001 ; 161; p: 189- 199.
- **Migdal, C., & Serres, M.** Espèces réactives de l'oxygène et stress oxydant. *Médecine/sciences* 2011 ; 27(4), 405–412. doi:10.1051/medsci/2011274017
- **Milton Groppo , Laura Fernandes Afonso , Jose Rubens Pirani .** A review of systematics studies in the Citrus family (Rutaceae, Sapindales), with emphasis on

American groups. *Brazilian journal of botany* (2022). DOI:10.1007/s40415-021-00784-y

- **Moschakis, T., & Biliaderis, CG** (2017). Coacervats à base de biopolymères : Structures, fonctionnalités et applications dans les produits alimentaires. *Opinion actuelle dans Colloid & Interface Science*, 28, 96–109.

N

- **Niño-Vásquez IA, Muñiz-Márquez D, Ascacio-Valdés JA, Contreras-Esquivel JC, Aguilar CN, Rodríguez-Herrera R, Flores-Gallegos AC.** Co-microencapsulation: a promising multi-approach technique for enhancement of functional properties *Bioengineered*. 2022 Mar;13(3):5168-5189. doi: 10.1080/21655979.2022.2037363. PMID: 35172666; PMCID: PMC8973973.)
- **Nori, M. P., Favaro-Trindade, C. S., Matias de Alencar, S., Thomazini, M., de Camargo Balieiro, J. C., & Contreras Castillo, C. J.** Microencapsulation of propolis extract by complex coacervation. *LWT - Food Science and Technology* 2011 ; 44(2), 429–435.

P

- **P. Newsholme; E. P. Haber; S. M. Hirabara; E. L. O. Rebelato; J. Procopio; D. Morgan; H. C. Oliveira-Emilio; A. R. Carpinelli; R. Curi** Diabetes associated cell stress and dysfunction: role of mitochondrial and non-mitochondrial ROS production and activity 2007 ; 583(1), 9–24. doi:10.1113/jphysiol.2007.135871
- **P.D. Duh, G.C. Yen.** Antioxidant activity of water extract of Harnng Jyur (*Chrysanthemum morifolium* Ramat.) varieties in soybean oil emulsion, *Food Chem.* 66 (1999) 471–476.
- **Popovici, C., Saykova, I. et Tylkowski, B.** Évaluation de l'activité antioxydante des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. *Revue de Génie Industriel* 2009 ; 4, 25-39.

- **Pratima H., Policepatil V.** Phytochemical Screening and Antimicrobial Activity of Various Extracts of *Salvia aegyptiaca* L. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 2017 ; 6 (01): 600-608. <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas2017.601.073>.

R

- **R. Ramasubramania Raja.** Plantes à potentiel médicinal de la famille des labiatae (lamiaceae). Research Journal of Medicinal Plant 2012 ; Vol.6 No.3 pp.203-213 ref.10.
- **Rafie H, Soheila H, Grant E.** Rosmarinus Officinalis (Rosemary): A Novel Therapeutic Agent for Antioxidant, Antimicrobial, Anticancer, Antidiabetic, Antidepressant, Neuroprotective, Anti-Inflammatory, and Anti-Obesity Treatment. Biomed J Sci&Tech Res1(4)- 2017 ; BJSTR.MS.ID.000371. DOI: 10.26717/BJSTR.2017.01.000371
- **Raghav, S.K., Gupta B., Agrawal C., Goswami K., and Das H.R.** Anti-inflammatory effect of *Ruta graveolens* L. in murine macrophage cells. J. Ethnopharm. 2006 ; 104: 234- 239.
- **Rediguieri CF, de Freitas O, Lettinga MP, Tuinier R.** Thermodynamic incompatibility and complex formation in pectin/caseinate mixtures. Biomacromolecules. 2007 ; Nov;8(11):3345-54. doi: 10.1021/bm7004438. PMID: 17994786
- **Renuka B. Rajurkar, Z.H. Govind,T.G.** Studies on levels of glutathione S-transferase, its isolation and purification from *Helicoverpa armigera*. Current Science 2003 ; Vol. 85: 1355-1360.
- **Richard J., Benoît J. P.,** Microencapsulation, Techniques de l'Ingénieur. Traité génie des procédés 2013 ; J 2 210.
- **Roux D ; Catier O.** Botanique, pharmacognosie, phytothérapie. Collection du cahier du préparateur en pharmacie 2007 ; pp141-146.

S

- **Scalbert A, et Williamson G.** Dietary intakes and bioavailability of polyphenols. *J Nutr*, 2000; 130: 2073S-2085S.
- **Shan, S., Huang, X., Shah, MH et Abbasi, AM.** Évaluation de la teneur en polyphénols et de l'activité antioxydante dans les fruits sauvages comestibles. *BioMed Research International*, 2019 ; 1–11
- **Sies, H.** Stress Oxydatif : Oxydants et Antioxydants. *Physiologie expérimentale* 1997 ; 82, 291-295.
- **Sies H, Jones DP.** Oxidative stress. in: 'Encyclopedia of Stress' (Fink, G., ed.), 2nd Ed., Vol. 3, Elsevier, Amsterdam. 2007 ; 43-9
- **Sohal, R.S., Mockett, R.J. and Orr, W.C.** Mechanisms of Aging: An Appraisal of the Oxidative Stress Hypothesis 1, 2. *Free Radical Biology and Medicine* 2002 ; 33, 575-586. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(02\)00886-9](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(02)00886-9)
- **Sonia Soares, Liliana Grazina , Joana Costa , Joana S. Amaral , Maria B.P.P. Oliveira , Isabel Mafra .** Botanical authentication of lavender (*Lavandula* spp.) honey by a novel DNA-barcoding approach coupled to high resolution melting analysis. *Food Control* 2018 ; 86.367e373
- **Stief, T.W.** The Physiology and Pharmacology of Singlet Oxygen. *Medical Hypotheses* 2003 ; 60, 567-572. [https://doi.org/10.1016/S0306-9877\(03\)00026-4](https://doi.org/10.1016/S0306-9877(03)00026-4)

T

- **Takhtajan, A.** (2009). *Flowering Plants*; Ed 2: Springer. P- 33; 41; 375.
- **Tim M. Upson; Renée J. Grayer; Jennifer R. Greenham; Christine A. Williams; Farag Al-Ghamdi; Fen-Hui Chen** Leaf flavonoids as systematic characters in the genera *Lavandula* and *Sabaudia* 2000 ; 28(10), 991–1007. Doi:10.1016/s0305-1978(00)00013-2

- **Torres de Pinedo, A., Peñalver, P., & Morales, JC** Synthèse et évaluation de nouveaux antioxydants à base phénolique : Relation structure-activité. *Chimie alimentaire* 2007 ; 103(1), 55–61
- **Tzima K, Brunton NP, Rai DK.** Qualitative and Quantitative Analysis of Polyphenols in Lamiaceae Plants-A Review. *Plants (Basel)* 2018 ; Mar 26;7(2):25. doi: 10.3390/plants7020025. PMID: 29587434; PMCID: PMC6027318.

V

- **Vainshtein, B.K.; Melik-Adamyanyan, W.R.; Barynin, V.V.; Vagin, A.A.; Grebenko, A.I.; Borisov, V.V.; Bartels, K.S.; Fita, I.; Rossmann, M.G.** Three-dimensional structure of catalase from *Penicillium vitale* at 2.0 Å resolution. *Journal of Molecular Biology* 1986 ; 188(1), 49–61. doi:10.1016/0022-2836(86)90479-1
- **Veljković V. B.** Comparison of antioxidant and antimicrobial activities of extracts obtained from *Salvia glutinosa* L. and *Salvia officinalis* L. *Hemijska industrija* 2011 ; 65 (5): 599–605 . doi: 10.2298/HEMIND110412034V.
- **Vertuani, Silvia; Angusti, Angela; Manfredini, Stefano.** The Antioxidants and Pro-Antioxidants Network: An Overview. *Current Pharmaceutical Design* 2004 ; 10(14), 1677–1694. doi:10.2174/1381612043384655
- **Vincent, A. M., Russell, J. W., Low, P., and Feldman, E. L.** "Oxidative stress in the pathogenesis of diabetic neuropathy." *Endocrine reviews* 2004 ; 25(4), 612-628.

W

- **Waterman P. G.;** Alkaloids of the Rutaceae: their distribution and Systematic Significance, *Biochemical Systematics and Ecology* 1975; 3; Ed: PERGAMON PRESS; p: 149-180.

- **Wiernsperger, NF** Le stress oxydatif comme cible thérapeutique dans le diabète. Dans : Diabetes Metabolism, Elsevier Churchill, Philadelphie 2003 ; 3e édition, 563.

X

- **Xu DP, Li Y, Meng X, Zhou T, Zhou Y, Zheng J, Zhang JJ, Li HB.** Natural Antioxidants in Foods and Medicinal Plants: Extraction, Assessment and Resources. Int J Mol Sci. 2017 ; Jan 5;18(1):96. doi: 10.3390/ijms18010096. PMID: 28067795; PMCID: PMC5297730.

Y

- **Yun-Zhong Fang; Sheng Yang; Guoyao Wu.** Free radicals, antioxidants, and nutrition 2002 ; 18(10), 872–879. doi:10.1016/s0899-9007(02)00916-4

Z

- **Zambrano V, Bustos R, Mahn A.** Insights about stabilization of sulforaphane through microencapsulation. Heliyon. Nov 2019 ; 28;5(11):e02951. Doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02951. PMID: 31844781; PMCID: PMC6895643

Résumé

Le stress oxydant est une composante de nombreuses maladies, suscitant la recherche de nouveaux remèdes antioxydants. À cet égard, des extraits éthanoliques de quatre plantes médicinales, issues de la région de Bejaia, ont été étudiés. Les extraits secs obtenus après macération des poudres végétales, nous ont permis de réaliser nos tests. La teneur en polyphénols et l'activité anti-radicalaire évaluée par le test au DPPH des extraits seuls et en association ont été déterminées. Les résultats ont révélé que ces plantes sont riches en polyphénols, et qu'elles présentent une activité antioxydants importante avec des valeurs d'IC50 de 0,66 mg/mL, 0,83 mg/mL, 0,56 mg/mL et 3,87 mg/mL respectivement pour *Rosmarinus officinalis*, *Salvia officinalis*, *Lavandula stoechas* et *Ruta graveolens*. Par ailleurs l'association des extraits a généré un effet antagoniste sur le pouvoir antioxydants pour toutes les combinaisons. La micro-encapsulation des extraits nous a permis d'obtenir des microcapsules uniformes et sphériques pour les extraits seuls et moins uniformes pour les extraits combinés.

Mots clés : stress oxydant, polyphénols, activité antioxydants, coacervation complexe.

Abstract

Oxidative stress is a component of many diseases, and prompts the search for new antioxidant remedies. In this regard, ethanolic extracts of four medicinal plants from the region of Bejaia were studied. The dry extracts obtained after maceration of vegetable powders, allowed us to carry out our tests. The content of polyphenols and the anti-radical activity evaluated by the DPPH test of the extracts alone and in association were determined. The results revealed that these plants are rich in polyphenols, and that they exhibit significant antioxidant activity with IC50 values of 0.66 mg/mL, 0.83 mg/mL, 0.56 mg/mL and 3.87 mg/ml respectively for *Rosmarinus officinalis*, *Salvia officinalis*, *Lavandula stoechas* and *Ruta graveolens*. In addition, the combination of extracts generated an antagonistic effect on the antioxidant power for all combinations. The micro-encapsulation of the extracts allowed us to obtain uniform and spherical microcapsules for the single extracts and less uniform for the combined extracts.

Keywords: oxidative stress, polyphenols, antioxidant activity, complex coacervation.
