

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie Physico-chimique
Spécialité : Pharmacotoxicologie



Réf :.....

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

MASTER

Thème

**Effet de quelques paramètres
d'extraction sur l'activité antioxydante
des extraits phénoliques de *Fumaria
officinalis***

Présenté par :

Bouguetit Djamila & Djennadi Zineb

Soutenu le : **25 Juin 2018**

Devant le jury composé de :

Mme Benmessaoud Y.	MAA	Présidente
Mme Amir H.	MCB	Encadreur
Mr Belkacem N.	MAA	Examineur
Mme Khamtache-Abderrahim S.	MCB	Co-Encadreur

Année universitaire : 2017 / 2018

Remerciement

Avant tout propos, nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir donnée la santé, la capacité et la volonté jusqu'au bout pour mener à terme notre formation de master et pouvoir réaliser ce travail de recherche.

Nous tenons à exprimer notre profonds remerciement à notre encadreur Mme Amir Hassiba pour avoir encadré et dirigé ce travail et pour la confiance qu'elle nous a témoignée, sans oublié notre Co-promotrice Mme Khamtache-Abderrahim Sabiha qui nous a vraiment aidé.

Nous remercions également les membres de jury Mme Benmessaoud Y et Mr belkacem N, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

En fin, on adresse nos sincères sentiments de gratitude et de reconnaissances à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail mais qui ne sont pas cités ici, merci pour tout.

.

Dédicaces

Avec mes sentiments de gratitude les plus profonds, Je dédie ce modeste travail :

*A mes très chers parents Younes et Lila
Aucune dédicace ne saurait exprimer mon grand amour, mon estime, ma
Reconnaissance et ma profonde affection. Je ne saurais vous remercier pour
tout. Ce que vous avez fait pour moi, et ce que vous faites jusqu'à présent. Que
Dieu vous garde et vous accorde longue vie.*

A mes très chères sœurs Kahina, Tinehinane, Kenza et Romaiissa

A mon cher frère Fares

A mon très cher binôme Djamila

Enfin A toute la famille DJENNADI

A tous ce qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Zineb

Dédicaces

Avec mes sentiments de gratitude les plus profonds, Je dédie ce modeste travail :

A mon cher père décédé le 21/11/2017, qui ma toujours aimé, poussé, dirigé et motivé dans mes études ; je serai toujours fière car il a été mon papa.

A ma chère mère pour le grand amour, la confiance et l'éducation qu'elle ma donnée. Je ne saurais vous remercier pour tout. Ce que vous avez fait pour moi, et ce que vous faites jusqu'à présent. Que Dieu vous garde et vous accorde longue vie.

A mes très chères sœurs Nouara, Fatiha, Zahra, Yasmina et Zouina

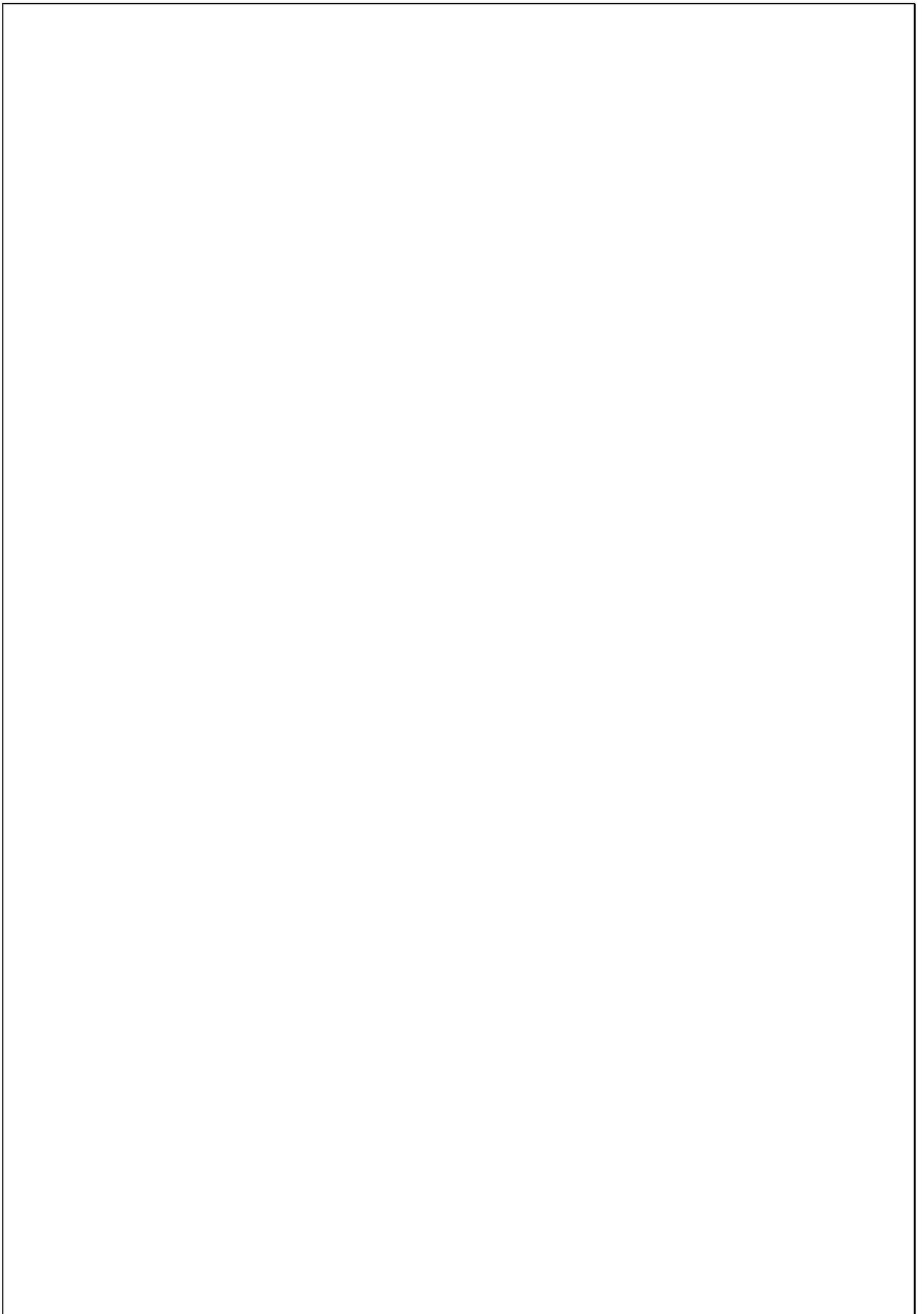
A mes cher frères Mustapha, Said et Kamel

A mon très cher binôme Zineb

Enfin A toute la famille Bouquetite

A tous ce qui m'ont aidé de prés ou de loin à la réalisation de ce travail.

Djamila



Sommaire

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction.....1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1. *Fumaria officinalis*.....2

I.1.1. Description botanique.....2

I.1.2. Systématique et nomenclature.....2

I.1.2. Distribution et habitat.....3

I.1.3. Utilisation en médecine traditionnelle.....3

I.1.4. Composition chimique.....3

I.1.5. Propriétés pharmacologiques et toxicologiques.....4

I.2. Composés phénoliques.....4

I.2.1. Définition.....4

I.2.2. Structure et classe des polyphénols.....4

I.2.2.1. Phénols simples.....5

I.2.2.2. Acides phénoliques.....5

I.2.2.3. Flavonoïdes.....5

I.2.2.4. Tanins.....6

I.2.2.5. Lignanes.....6

I.2.2.6. Silbéne.....6

I.2.3. Rôle des composés phénoliques.....6

I.2.4. Propriétés antioxydantes des composés phénoliques.....	7
I.3. Antioxydant.....	7
I.3.1. Définition.....	7
I.3.2. Source des antioxydants.....	7
I.3.3. Mécanisme d'action des antioxydants.....	8
I.3.4. Stress oxydant.....	8
I.3.4.1. Définition.....	8
I.3.4.2. Radicaux libres.....	8
I.3.4.3. Espèces réactives de l'oxygène.....	8

Chapitre II : Matériel et méthodes

II. Matériels et méthodes.....	9
II.1. Préparation du matériel végétal.....	9
II.2. Optimisation des paramètres d'extraction des composés phénoliques de <i>Fumaria officinalis</i>	9
II.2.1. Effet du diamètre de la poudre.....	9
II.2.2. Effet de la nature du solvant d'extraction.....	9
II.2.3. Effet de la concentration du solvant.....	10
II.2.3. Effet de rapport solide/liquide.....	10
II.3. Dosage des composés phénoliques.....	10
II.3.1. Dosage des polyphénols totaux.....	10
II.3.2. Dosage des flavonoïdes.....	10
II.3.3. Dosage des tanins condensés.....	11
II.4. Détermination de l'activité antioxydante.....	11
II.4. 1. Activité réductrice de molybdate.....	11
II.4.2. Pouvoir réducteur	12
II.4.3. Activité « scavenger » du radical DPPH.....	12

II.4.4. Activité « scavenger » du radical ABTS.....	13
II.5. Etude statistique	13

Chapitre III : Résultats et discussion

III. Résultats et discussion.....	14
III.1. Effet du diamètre de la poudre.....	14
III.1.1. Teneur en polyphénols totaux.....	14
III.1.2. Teneur en flavonoïdes.....	15
III.1.3. Teneur en tanins condensés.....	15
III.2. Effet de la nature du solvant d'extraction	16
III.2.1. Teneur en polyphénols totaux.....	16
III.2.2. Teneur en flavonoïdes.....	17
III.2.3. Teneur en tanins condensés.....	18
III.3. Effet de la concentration du solvant d'extraction.....	19
III.3.1. Teneur en polyphénols totaux.....	19
III.3.2. Teneur en flavonoïdes.....	20
III.3.3. Teneur en tanins condensés.....	21
III.4. Effet de rapport solide/liquide.....	21
III.4.1. Teneur polyphénols totaux.....	22
III.4.2. Teneur en flavonoïdes.....	22
III.4.3. Teneur en tanins condensés.....	23
III.2. Activité antioxydante.....	24
III.2.1. Effet du diamètre de la poudre.....	24
III.2.1.1. Activité « scavenger » de radical DPPH.....	24
III.2.1.2. Activité « scavenger » de radical ABTS.....	25
III.2.1.3. Pouvoir réducteur du fer.....	25
III.2.1.4. Activité réductrice de molybdate.....	26

III.2.2. Effet de la nature du solvant.....	26
III.2.2.1. Activité « scavenger » de radical DPPH.....	26
III.2.2.2. Activité « scavenger » de radical ABTS.....	27
III.2.2.3. Pouvoir réducteur du fer.....	28
III.2.2.4. Activité réductrice de molybdate.....	29
III.2.3. Effet de la concentration du solvant.....	30
III.2.3.1. Activité « scavenger » de radical DPPH.....	30
III.2.3.2. Activité « scavenger » de radical ABTS.....	30
III.2.3.3. Pouvoir réducteur de fer.....	31
III.2.3.4. Activité réductrice de molybdate	32
III.2.4. Effet de rapport solide/liquide.....	32
III.2.4.1. Activité « scavenger » de radical DPPH.....	32
III.2.4.2. Activité « scavenger » de radical ABTS.....	33
III.2.4.3. Pouvoir réducteur de fer.....	34
III.2.4.4. Activité réductrice de molybdate.....	34
Conclusion et perspectives	36
Références bibliographiques	37
Annexes	

Liste des abréviations

DL50 : Dose Létale à 50%.

ERO : Espèces Réactives Oxygénée.

EAG : Equivalent Acide Gallique.

EQ : Equivalent Quercitine.

EC : Equivalent Catéchine.

MS : Matière Sèche.

Liste des tableaux

Numéro	Titre	Page
I	Les principaux constituants chimiques de <i>Fumaria officinalis</i>	3

Liste des figures

Numéro	Titre	Page
01	Photographie de la plante de <i>Fumaria officinalis</i> complète.	2
02	structures chimiques de différentes classes de polyphénols.	5
03	Effet du diamètre de la poudre d'extraction sur la teneur en polyphénols totaux de <i>Fumaria officinalis</i> .	14
04	Effet du diamètre de la poudre d'extraction sur la teneur en flavonoïdes de <i>Fumaria officinalis</i> .	15
05	Effet du diamètre de la poudre d'extraction sur la teneur en tanins de <i>Fumaria officinalis</i>	16
06	Effet de la nature du solvant d'extraction sur la teneur en polyphénols totaux de <i>Fumaria officinalis</i> .	17
07	Effet de la nature du solvant d'extraction sur la teneur en flavonoïdes de <i>Fumaria officinalis</i> .	18
08	Effet de la nature du solvant d'extraction sur la teneur en tanins de <i>Fumaria officinalis</i>	18
09	Effet de la concentration du méthanol sur la teneur en polyphénols totaux de <i>Fumaria Officinalis</i> .	19
10	Effet de la concentration du méthanol sur la teneur en flavonoïdes de <i>Fumaria officinalis</i> .	20
11	Effet de la concentration du méthanol sur la teneur en tanins de <i>Fumaria Officinalis</i> .	21

12	Effet du rapport solide /liquide sur la teneur en polyphénols totaux de <i>Fumaria officinalis</i> .	22
13	Effet du rapport solide /liquide e sur la teneur en flavonoïdes de <i>Fumaria Officinalis</i>	23
14	. Effet du rapport solide /liquide sur la teneur en tanins condensés totaux de <i>Fumaria officinalis</i> .	23
15	Effet du diamètre de la poudre de <i>Fumaria officinalis</i> sur l'activité « scavenger » de radical DPPH.	24
16	. Effet du diamètre de la poudre de <i>Fumaria officinalis</i> sur l'activité« scavenger » de radical ABTS.	25
17	Effet du diamètre de la poudre de <i>Fumaria officinalis</i> sur le pouvoir réducteur de fer.	25
18	Effet du diamètre de la poudre de <i>Fumaria officinalis</i> sur l'activité réductrice de molybdate	26
19	Effet de la nature du solvant d'extraction sur l'activité« scavenger » de radical DPPH de <i>Fumaria officinalis</i> .	27
20	Effet de la nature du solvant d'extraction sur l'activité« scavenger » de radical ABTS de <i>Fumaria officinalis</i> .	28
21	. Effet de la nature du solvant d'extraction sur le pouvoir réducteur de fer de <i>Fumaria officinalis</i> .	29
22	Effet de la nature du solvant d'extraction sur l'activité réductrice de molybdate de <i>Fumaria officinalis</i>	29
23	Effet de la concentration du solvant d'extraction sur l'activité« scavenger » de radical DPPH de <i>Fumaria officinalis</i> .	30

24	Effet de la concentration du solvant d'extraction sur l'activité« scavenger » de radical ABTS de <i>Fumaria officinalis</i> .	31
25	Effet de la concentration du solvant d'extraction sur le pouvoir réducteur de fer de <i>Fumaria officinalis</i> .	31
26	Effet de la concentration du solvant d'extraction sur l'activité réductrice de molybdate de <i>Fumaria officinalis</i> .	32
27	Effet de rapport solide/liquide sur l'activité« scavenger » de radical DPPH de <i>Fumaria officinalis</i> .	33
28	Effet de rapport solide /liquide sur l'activité« scavenger » de radical ABTS de <i>Fumaria officinalis</i>	33
29	Effet de rapport solide / liquide sur le pouvoir réducteur de fer de <i>Fumaria officinalis</i> .	34
30	Effet de rapport solide / liquide sur l'activité réductrice de molybdate de <i>Fumaria officinalis</i> ..	34

Introduction

L'usage des plantes est présent dans la quasi- totalité des sociétés humaines passées et actuelles ; selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) 80% des populations du monde particulièrement dans les pays en voie de développement ont recours à la médecine traditionnelle pour leurs soins de base. L'utilisation thérapeutique est due au fait que, les plantes médicinales offrent diverses biomolécules utilisées comme remèdes contre plusieurs maladies et notamment, pour le traitement des pathologies liées aux effets toxiques des oxydants (Khadhri, 2013).

Fumaria officinalis est une plante locale, annuelle, sa partie médicinale est représentée par la partie aérienne récoltée durant la période de floraison (Păltinean *et al.*, 2017). Elle est réputée pour son usage en médecine traditionnelle pour le traitement des désordres hépatobiliaires, d'hypertension, employée comme laxative et antipyrétique...etc. (Goetz *et al.*, 2009). Ses effets thérapeutiques sont principalement dus à sa richesse en alcaloïdes isoquinoléiques et notamment en polyphénols (Khamtache-Abderrahim *et al.*, 2016).

L'utilisation des molécules antioxydantes de synthèse est actuellement remise en cause en raison des risques toxicologiques potentiels. Désormais, de nouvelles sources végétales d'antioxydants naturels sont recherchées (Bougandoura, 2012). Ceci est notamment le cas des polyphénols qui sont des molécules largement répandues dans le monde végétal, qui ont une importance croissante grâce à leur rôle d'antioxydants naturels qui suscite de plus en plus d'intérêt pour la prévention et le traitement du cancer, des maladies inflammatoires et cardiovasculaires (Pandy et Rzvi, 2009).

C'est dans cette optique, que s'inscrit l'objectif de ce travail qui vise à déterminer l'effet de quatre paramètres (diamètre de la poudre, nature et concentration du solvant d'extraction ainsi que le rapport solide/ liquide) sur la teneur et l'activité antioxydante des composés phénoliques (polyphénols totaux, flavonoïdes et en tanins) de la partie aérienne de *Fumaria officinalis*.

I. Synthèse bibliographique

I.1. *Fumaria officinalis*

I.1.1. Description botanique

Fumaria officinalis est une plante herbacée, annuelle, d'environ 10 à 40 cm de hauteur, avec tige ramifiée et glabre ; des feuilles alternes, pennées, chaque foliole étant à son tour divisée en folioles étroites qui se terminent en pointe; des fleurs roses à rouges foncés, disposées dans les aisselles de petites bractées ; fruits en forme de silicule globuleuse (Cezard, 2014).



Figure 1 : Photographie originale de la plante *Fumaria officinalis*.

I.1.2. Systématique et nomenclature

- Nom scientifique : *Fumaria officinalis*
- Synonymes : fumeterre, herbe à la veuve, fiel de terre, herbe à la jaunisse (Goetz *et al.*, 2009).
- Noms vernaculaires : Thidjoujar g-yesghi, Essibanna, Chikhe-el kanoun (Dellile, 2007).

Cette plante a été classée comme suit : (Goetz *et al.*, 2009)

- Règne : *Plantae* (plantes)
- Sous-règne : *Tracheobionta* (plante vasculaire)
- Super division : *Spermatophyta* (plante à graines)
- Division : *Magnoliophyta* (plantes à fleurs)
- Classe : *Magnoliopsida* (dicotylédones)
- Ordre : *Papaverales*

- **Famille** : *Fumariaceae*
- **Genre** : *Fumaria L*
- **Espèce** : *Fumaria officinalis L*

I.1.3. Distribution et habitat

La fumeterre est distribuée et cultivée en Europe et en Asie, et également très répandue en Afrique du nord. Cette plante est courante dans les terrains vagues, les décombres, au pied des murs, jardins, vignobles et très commune dans les lieux cultivés (Cezard, 2014).

I.1.4. Utilisation en médecine traditionnelle

Fumaria officinalis est une plante médicinale très connue et très utilisée dans la médecine traditionnelle en Algérie pour le traitement des maladies hépatobiliaire. Cette plante peut être également utilisée pour les maladies gastro-intestinaux, comme un laxative, calmant ou sédatif, mais aussi comme traitement des maladies de la peau (Khamtache-Abderrahim *et al.*, 2016).

I.1.5. Composition chimique

La fumeterre est très riche en métabolites secondaires notamment les alcaloïdes isoquinoléiques ; et certains d'entre eux sont résumés dans le tableau I suivant.

Tableau I : Les principaux constituants chimiques de *Fumaria officinalis* (Goetz *et al.*, 2009).

Famille des constituants chimiques	Constituants chimiques
Alcaloïdes isoquinoléiques	Chelléritrine, Hydrastine, Bicuculline, Protopine, Chelidonine, Allocryptopine, Stylopine, Sanguinarine, fumaracine, fumaratine,
Composés phénoliques	Acide chlorogénique, acide caféique, acide fumarique, acide cinnamique, Isovitexin, Rutine, Iso-quercitrin, acide Isochlorogénique, Quercitrin.
Acides organique	Acide malique, acide lactique, acide glycolique

I.1.6. Propriétés pharmacologiques et toxicologiques

La fumeterre est renommée pour ces propriétés dépuratives. Elle est efficace pour le traitement des affections cutanées, scorbutiques et scrofuleuses, et contre les dartres. Cependant les activités antibactériennes et antioxydantes sont les plus citées dans la littérature. Les constituants responsables de ces activités sont majoritairement les alcaloïdes isoquinoliéques, mais aussi les polyphénols (Paltinean *et al.*, 2017).

Les données expérimentales de la toxicité aiguë chez les souris femelles *Albinos Wistar* suggèrent de classer *Fumaria officinalis* dans la catégorie des plantes faiblement toxiques par voie orale, avec une DL50 de 1341,11mg/Kg. L'extrait alcaloïdique de cette plante peut entraîner des symptômes de toxicité qui sont dépendants de la dose allant d'une simple somnolence, diarrhée, des pertes d'appétit, des problèmes de respiration et faiblesse jusqu'à l'accélération du rythme cardiaque et perte d'équilibre. Ces effets pourraient être dus à la présence des alcaloïdes toxiques. L'observation histologique s'est caractérisée par la présence des altérations structurales du foie et du rein à une concentration supérieur ou égale à 500mg/Kg, ce qui suggère que les alcaloïdes de *Fumaria officinalis* présentent une toxicité subaiguë à cette concentration (Khamtache-Abderrahim, 2017).

I.2. Composés phénoliques

I.2.1. Définition

Les polyphénols sont des métabolites secondaires des plantes, qui constituent une famille de molécules organiques caractérisés, comme leur nom l'indique par la présence de plusieurs phénols associés en structure plus ou moins complexe généralement de haut poids moléculaire. Ces biomolécules bioactives regroupent un vaste ensemble de substance chimique comprenant au moins un noyau aromatique et un ou plusieurs groupes hydroxyles. Ils sont synthétisés principalement par deux voies ; la voies de l'acide shikimique et celle de l'acétate (Chira *et al.*, 2008).

I.2.2. Structure et classe des polyphénols

Près de 8000 composés naturels appartiennent à cette famille ; Selon le nombre d'unités Phénoliques présents, on les classe en phénols simples, acides phénoliques, stilbènes, flavonoïdes, lignanes, tanins hydrolysables et condensés, (Pandey et Rizvi, 2009).

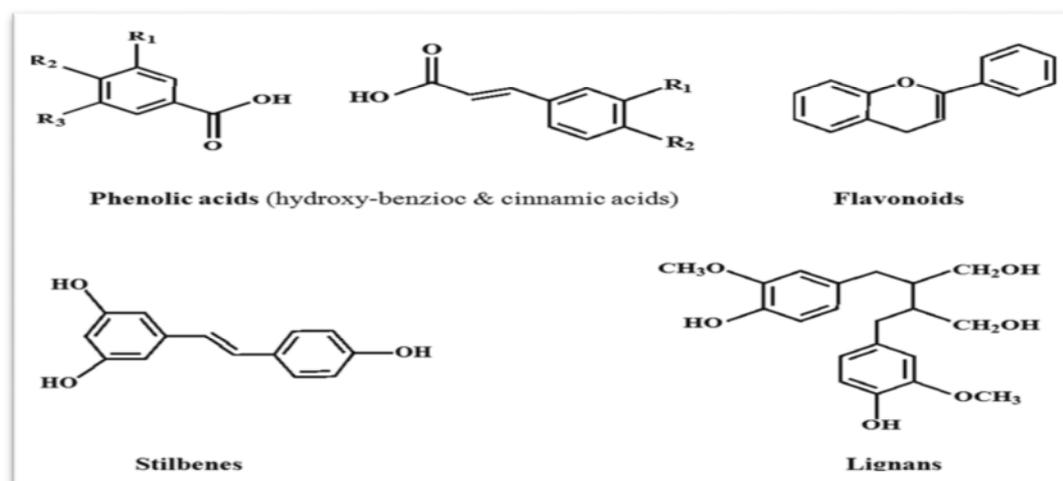


Figure2 : structures chimiques de différentes classes de polyphénols (Pandey et Rizvi, 2009).

I.2.2.1. Phénols simples

Ce sont des dérivés en C6 du noyau benzénique, rares à l'état naturel et issus de la décarboxylation de l'acide shikimique. On trouve parmi les phénols simples l'hydroquinol, le pyrocatechol et le phloroglucinol (Chira *et al.*, 2008).

I.2.2.2. Acide phénolique

Deux classes de l'acide phénolique peuvent être distinguées : les dérivés de l'acide benzoïque et les dérivés de l'acide cinnamique (Bruneton, 2009).

- **Acide benzoïque** : Les acides-phénols en C6-C1, dérivés hydroxylés de l'acide benzoïque, sont très communs aussi bien sous forme libre que combinés à l'état d'ester ou d'hétéroside (Bruneton, 2009).
- **Acide cinnamique** : Les acides phénols en C6-C3 et sont les plus nombreux des métabolites de l'acide shikimique, ils peuvent exister à l'état libre ou combinés (esters, amides, glucosides) (Bruneton, 2009).

I.2.2.3. Flavonoïdes

Ce sont les composés les plus abondants parmi tous les composés phénoliques. Les flavonoïdes contiennent 15 atomes de carbone formant une structure (C6-C3-C6), soit deux noyaux aromatiques reliés par un pont de 3 carbones: un noyau B et le pont carbone constituant une unité phénylpropanoïde synthétisée à partir de la phénylalanine provenant

de la voie de l'acide shikimique, alors que le noyau A vient de la condensation de 3 motifs acétate via la voie de l'acide malonique (Chira *et al.*, 2008).

I.2.2.4 Tanins

Sont des polyphénols présent dans la nature se forme polymérisée, ayant des point moléculaire compris entre 500 et 3000, en plus des propriétés classiques des phénols, ont une aptitude à transformer les peaux fraîches en cuir imputrescibles. Les tanins peuvent se diviser en deux classes :

➤ **Tanins pyrogalliques (hydrolysables)**

Sont des polymères de l'acide gallique ou de son produit de condensation. Donnent après hydrolyse à chaud à l'aide de solution acide une fraction glucidique (glucose) et une fraction polyphénolique (acide gallique, acide digallique ou ellagique) (Bravo, 1998).

➤ **Tanins catéchiqes (condensé ou non hydrolysables)**

Proanthocyanidines sont des polyphénols de masse molaire élevé. Il résulte de la polymérisation auto oxydative ou enzymatique des unités de flavan-3,4-2iol lie majoritairement par les liaisons C4-C8 (parfois C4-C6) des unités adjacente est se nome proanthocyanidines de type B. Lorsque la condensation se produit entre les unités adjacentes par la liaison C4-C8 et par une liaison d'éther sont dites de type A (Bravo, 1998).

I.2.2.5. Lignanes

Sont des composés dont le squelette résulte de l'établissement d'une liaison entre les carbones β des chaine latérales de deux unités dérivées du 1-phénylpropane (liaison 8-8'). Ils ont aussi des dimères d'alcools ou d'acides cinnamique (Bruneton, 2009).

I.2.2.6. Stilbènes

Les stilbènes sont des composés polyphénoliques qui ont une structure C6-C2-C6, deux noyaux benzéniques reliés par un pont méthylène. Généralement, les stilbènes participent à la résistance des tissus végétaux aux agressions fongiques (Chira *et al.*, 2008).

I.2.3. Rôle des composés phénoliques

Les composés phénoliques ont été appliqués depuis longtemps dans différents domaines de physiologie de la plante et dans ses relations avec l'environnement

physicochimique et biologique. En effet, leur rôle d'antioxydants naturels suscite de plus en plus d'intérêt pour la prévention et le traitement du cancer, des maladies inflammatoires, cardiovasculaires et neurodégénératives. Ils sont également utilisés comme additifs pour l'industrie agroalimentaire, pharmaceutique et cosmétique (Chira *et al.*, 2008).

I.2.4. Propriétés antioxydantes des composés phénoliques

L'activité antioxydant des polyphénols est due à leurs propriétés réductrices qui peuvent jouer un rôle important dans l'absorption et la neutralisation des radicaux libres ; ces molécules bioactives ont la capacité d'inhiber l'initiation ou la propagation des réactions oxydatives en chaînes ainsi ils peuvent retarder ou inhiber l'oxydation des lipides et d'autres molécules (Mraihi *et al.*, 2013).

I.3. Antioxydant

I.3.1. Définition

Notre organisme est équipé d'un système complexe de défenses antioxydante enzymatiques et non enzymatiques, localisé dans les compartiments intra- et extracellulaire

Un antioxydant est une substance qui inhibe ou retard significativement l'oxydation d'un substrat, alors qu'elle présente une concentration très faible dans le milieu où elle intervient (Berger, 2006).

I.3.2. Sources des antioxydants

L'organisme dispose d'un vaste réseau d'antioxydants ou de défense qui ne se limite pas qu'à seules vitamines C et E.

D'une part, une multitude d'antioxydants proprement dits sont synthétisés par l'organisme ou le plus souvent apportés par notre alimentation.

D'autre part, systèmes enzymatiques extrêmement complexes assurent la réparation des éventuels dommages oxydatifs au niveau des protéines ou de l'ADN. S'y ajoutent quelques oligoéléments (sélénium, cuivre et zinc) qui sont les cofacteurs de divers enzymes à activité antioxydante (Defraingne et Pincimail, 2008).

I.3.3. Mécanisme d'action des antioxydants

Les antioxydants peuvent agir contre l'oxydation de deux manières distinctes : soit en protégeant les lipides cibles des initiateurs de l'oxydation, soit en interrompant la phase de propagation.

Dans le premier cas, les antioxydants dits préventifs (ou retardeurs), empêchent la formation ou piègent les ERO (Espèces Réactives Oxygénée) responsables de l'initiation de l'oxydation.

Dans le second cas, les antioxydants dits briseurs de chaîne interceptent les radicaux propagateurs de l'oxydation ou participent indirectement à l'interruption de l'oxydation radicalaire en chaîne (Laguerre, 2007).

I.3.4. Stress oxydant

I.3.4.1. Définition

Le stress oxydant est défini comme un déséquilibre entre les systèmes oxydants et les capacités anti-oxydantes d'un organisme, d'une cellule ou d'un compartiment cellulaire (Barouki, 2006).

I.3.4.2. Radicaux libres

Un radical libre est une espèce chimique (atome ou molécule) contenant un électron non apparié. Ce déséquilibre n'est que transitoire et est comblé par l'acceptation d'un autre électron ou par le transfert de cet électron libre sur une autre molécule (Berger, 2006).

I.3.4.3. Espèces réactives de l'oxygène

Les espèces réactives de l'oxygène (ROS) sont par définition des espèces chimiques possédant un électron célibataire sur leur couche périphérique, ce qui leur confère un fort degré de réactivité (Barouki, 2006).

II. Matériel et méthodes

II.1. Préparation du matériel végétal

La plante entière de *Fumaria officinalis*, a été récoltée dans la région d'Akbou (wilaya de Bejaia) durant le mois de mars, 2017.

Après avoir bien lavé la plante, afin d'éliminer tous les contaminants. Le séchage a été effectué dans l'étuve à 40°C pendant une semaine.

Une fois séchée, l'échantillon obtenu a été broyé. La poudre ainsi obtenue est tamisée à l'aide d'un tamiseur électrique de diamètre de 500, 250, et 125µm pour avoir une poudre fine et homogène selon son diamètre.

II.2. Optimisation des paramètres d'extraction des composés phénoliques du *Fumaria officinalis*

La présente étude a été consacrée à l'optimisation de l'extraction des composés phénoliques de *Fumaria officinalis* ainsi qu'à la détermination de l'activité antioxydante de différents extraits obtenus, en étudiant l'effet de quatre paramètres d'extraction à savoir ; le diamètre de la poudre, la nature et la concentration du solvant d'extraction, et l'effet du rapport solide/liquide (0.1/20, 0.2/20, 0.4/20 et 0.6/20).

• Protocole d'extraction

Une quantité de 0.4g de la poudre a été mélangée avec 40mL de solvant d'extraction. Après trois heures de macération, les mélanges ont été filtrés et utilisés ultérieurement pour déterminer la teneur en composés phénoliques ainsi qu'à l'évaluation de l'activité antioxydante (Niemenak *et al.*, 2006).

II.2.1. Effet du diamètre de la poudre

Afin de déterminer l'effet du diamètre de la poudre d'extraction sur la teneur en polyphénols totaux, flavonoïdes et en tanins trois diamètres ont été utilisés à savoir : 125, 250 et 500µm.

II.2.2. Effet de la nature du solvant d'extraction

Pour étudier l'effet du solvant d'extraction, les composés phénoliques totaux de *Fumaria officinalis* sont extraits en utilisant quatre solvants : l'eau distillée, le méthanol 50%, l'éthanol 50%, l'acétone 50%, et une poudre de diamètre 125µm.

II.2.3. Effet de la concentration du solvant

Afin de savoir l'effet de la concentration sur l'extraction des polyphénols totaux de *Fumaria officinalis*, par méthanol (98%) à différentes concentrations : 30%, 70%, 50% et 100%, ont été utilisés.

II.2.4. Effet de rapport solide liquide

Pour déterminer l'effet du rapport solide/liquide, l'extraction des composés phénoliques de *Fumaria officinalis* a été effectuée en utilisant une poudre de 125µm de diamètre et comme solvant d'extraction le méthanol 70%, et en appliquant les rapports solide/liquide suivant : 0.1/20, 0.2/20, 0.4/ 20 et 0.6/20.

II.3. Dosage des composées phénoliques

II.3.1. Dosage des polyphénols totaux



Principe

Le réactif de Folin-Ciocalteu, mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$), oxyde les composés phénoliques; les oxydes métalliques produits sont de couleur bleue, dont l'absorbance est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans l'échantillon (Ribéreau-Gayon *et al.*, 1982).



Mode opératoire

La teneur en composés phénoliques est estimée selon la méthode de Kähkönen *et al.*, (1999). Un volume de 1 mL du réactif de Folin-Ciocalteu (10% : 1 mL dans 9 mL d'eau distillée) est ajouté à 0,2 mL d'extrait. Après 3 minutes, 0,8 mL de la solution de carbonate de sodium (7,5%) sont ajoutés. Après 1 heure d'incubation, l'absorbance est mesurée à 740 nm. La concentration en composés phénoliques des extraits, exprimée en gramme équivalent acide gallique par 100 g de matière sèche, est déterminée en se référant à la droite d'étalonnage (annexe).

II.3.2. Dosage des flavonoïdes



Principe

Les flavonoïdes forment des complexes avec l'aluminium sous forme d'ions Al^{+3} après décomposition de chlorure d'aluminium. Les complexes formés sont responsables de l'absorption de la lumière dans le visible (Ribéreau-Gayon, 1968).

Mode opératoire

Les teneurs en flavonoïdes des extraits obtenus sont déterminées par la méthode de Lamaison et Carnet, (1990). Une partie aliquote de chaque extrait a été ajoutée à un volume égal de chlorure d'aluminium (2%). L'absorbance a été lue à 410 nm après 15 min. Les résultats sont exprimés en gramme équivalent quercétine par 100 g de matière sèche à partir de la droite d'étalonnage (annexe).

II.3.3. Dosage des tanins condensés

Principe

Le dosage des tanins condensés est basé sur la condensation des composés polyphénoliques (flavanes-3-ols) avec la vanilline en milieu acide (Price *et al.*, 1978).

Mode opératoire

La méthode d'estimation de la teneur en tanins condensés est proposée par Swain et Hillis, (1959) ; Le réactif de la vanilline a été préparé par solubilisation de 1 g de la vanilline dans 100 mL d'acide sulfurique (70%). 2 mL de ce réactif sont mélangés avec 1 mL d'extrait. Après incubation à 50°C pendant 20 min, l'absorbance est mesurée à 500 nm. Les résultats sont exprimés en gramme équivalent catéchine par 100 g de matière sèche à partir de la droite d'étalonnage (annexe).

II.4. Détermination de l'activité antioxydante

L'activité antioxydante des extraits de *Fumaria officinalis* a été déterminée en utilisant différents tests à savoir :

II.4.1. Activité réductrice du molybdate

Principe

Cette technique est basée sur la réduction de molybdène Mo(VI) présent sous la forme d'ions molybdate MoO_4^{2-} en molybdène Mo(V) MoO_2^+ , en présence de l'extrait pour former un complexe vert de phosphate/ Mo(V) dans un milieu acide (Prieto *et al.*, 1999).

Mode opératoire

L'activité réductrice du molybdate des extraits est évaluée par la méthode de phosphomolybdène de Prieto *et al.*, (1999). 0,3 mL de chaque extrait sont ajoutés à 3 mL d'une solution préparée en mélangeant 0,6 M d'acide sulfurique, 28 mM de phosphate de

sodium et 4 mM de molybdate d'ammonium. Les tubes sont incubés à 95°C pendant 90 min. Après refroidissement, l'absorbance des solutions est mesurée à 695 nm. L'activité réductrice du molybdate est exprimée absorbance.

II.4.2. Pouvoir réducteur



Principe

L'analyse du pouvoir réducteur est basée sur la réduction du fer ferrique (Fe^{3+}) du complexe ferricyanure- Fe^{3+} en fer ferreux (Fe^{2+}), en présence d'antioxydants réducteurs (Bijoy *et al.*, 2008). La forme réduite donne une couleur verte qui est proportionnelle au pouvoir réducteur de l'extrait (Gülçin *et al.*, 2003).



Mode opératoire

Le pouvoir réducteur est estimé par la méthode de Yildirim *et al.*, (2001) ; 1 ml d'extrait est additionné à 2,5 mL de tampon phosphate (0,2 M, pH 6,6) et 2,5 mL de ferricyanure de potassium (1%). Après incubation à 50°C pendant 20 min, 2,5 mL d'acide trichloracétique (10%) sont ajoutés au mélange. Après centrifugation à 3000g pendant 10 min, 2,5 mL du surnageant sont mélangés avec 2,5 mL d'eau distillée et 0,5 mL de chlorure ferrique (0,1%). L'absorbance est mesurée à 700 nm. Les résultats sont exprimés en absorbances.

II.4.3. Activité « scavenger » du radical DPPH



Principe

Un antioxydant a la capacité de donner un hydrogène au radical synthétique DPPH (2,2-diphényl-1-picryl hydrazyl) de coloration violette (forme oxydée) pour le réduire en DPPH-H (2,2-diphényl-1-picryl hydrazine) de coloration jaune-verte (Molyneux, 2004).



Mode opératoire

L'effet « scavenger » du DPPH est déterminé par la méthode de Kroyer et Hegedus, (2001) ; 300 µl d'extrait sont ajoutés à 2700 µl de DPPH (60 µM). L'absorbance a été lue à 517 nm après 1 heure d'incubation à l'obscurité. Le pourcentage d'inhibition du radical DPPH est exprimé par la formule suivante:

$$\% = [(A_{\text{témoin}} - A_{\text{échantillon}}) / A_{\text{témoin}}] \times 100$$

$A_{\text{témoin}}$: Absorbance du témoin (300 µl méthanol + 2700 µl DPPH);

$A_{\text{échantillon}}$: Absorbance de l'extrait (300 μl extrait + 2700 μl DPPH).

II.4.4. Activité « scavenger » du radical ABTS^{•+}



Principe

La méthode qui détermine l'activité « scavenger » du radical ABTS^{•+} est basée sur la capacité d'un antioxydant à piéger le radical cationique ABTS^{•+} (2,2'-azinobis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)) de coloration bleue verte en le transformant en ABTS-H⁺ incolore, par un don d'hydrogène (Antolovich *et al.*, 2002). La décroissance de l'absorbance causée par l'antioxydant reflète la capacité de capture du radical libre.



Mode opératoire

Le piégeage du radical cationique ABTS^{•+} est déterminé par la méthode de Re *et al.*, (1999). La solution du radical cationique ABTS^{•+} a été préparée en mélangeant 2,45 mM d'ABTS avec 7 mM de persulfate de potassium. Après 16 heures d'incubation la solution ABTS^{•+} a été diluée avec l'éthanol, afin d'obtenir une absorbance de $0,7 \pm 0,02$ à 734 nm. Un volume de 20 μl d'extrait est additionné à 2 mL de la solution d'ABTS^{•+}. L'absorbance a été lue à 734 nm après 6 min d'incubation à l'obscurité. Le pourcentage de l'activité scavenger du radical ABTS^{•+} est exprimé par la formule suivante :

$$\% = [(A_{\text{témoin}} - A_{\text{échantillon}}) / A_{\text{témoin}}] \times 100$$

$A_{\text{témoin}}$: Absorbance du témoin (ABTS^{•+});

$A_{\text{échantillon}}$: Absorbance de l'extrait (extrait + ABTS^{•+}).

II.5. Etude statistique

L'analyse statistique des résultats a été effectuée avec l'application ANOVA (STATISTICA 5.5) et la comparaison des résultats est prise à la probabilité $P < 0,05$. Toutes les données représentent la moyenne de trois essais \pm écart type.

III. Résultats et discussion

La présente étude a été consacrée à la détermination de la teneur en polyphénols totaux, flavonoïdes et en tanins de *Fumaria officinalis*, après leur extraction en utilisant plusieurs paramètres à savoir : le diamètre de la poudre, la nature et la concentration du solvant d'extraction et le rapport solide/liquide. Ainsi qu'à la détermination de l'effet des paramètres étudiés sur l'activité antioxydante de tous les extraits en appliquant différentes méthodes : l'activité « scavenger » de radical DPPH, l'activité « scavenger » de radical ABTS^{•+}, le pouvoir réducteur de fer et l'activité réductrice de molybdate.

III.1. Effet du diamètre de la poudre

Pour étudier l'effet du diamètre de la poudre d'extraction sur la teneur en composés phénoliques, flavonoïdes et en tanins de l'extrait de *Fumaria officinalis*, trois diamètres ont été utilisés à savoir : 125, 250, 500 μ m avec eau distillé.

III.1.1. Teneur en polyphénols totaux

Les teneurs en polyphénols totaux de fumeterre sont représentés dans la figure ci-dessous :

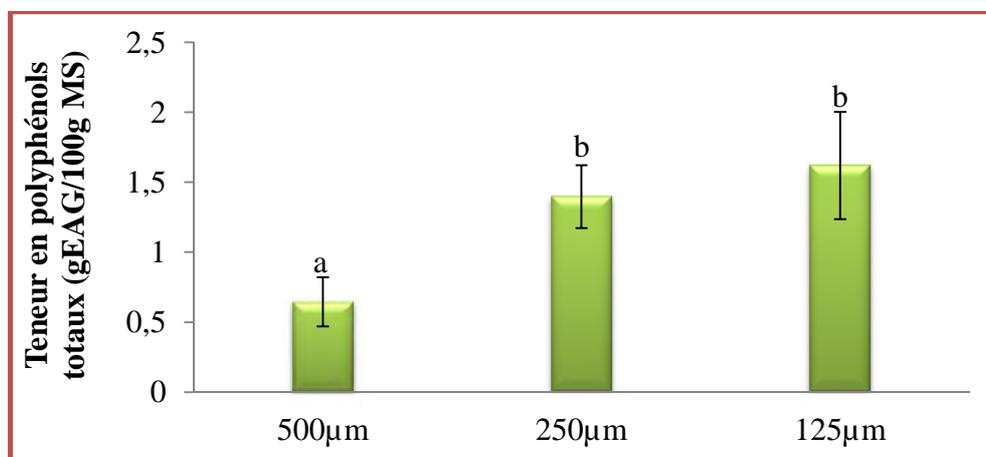


Figure 3 : Effet du diamètre de la poudre d'extraction sur la teneur en polyphénols totaux de l'extrait de *Fumaria officinalis*.

Les résultats obtenus ont montré que les particules de diamètre de 125 et 250 μ m permettent l'extraction de la plus haute teneur en polyphénols (1.62g et 1.40g EAG/100g MS respectivement). La poudre du diamètre de 500 μ m a donné la teneur la plus faible (0.65g EAG/100g MS). L'analyse statistique n'a montré aucune différence significative ($p < 0.05$) entre les teneurs en polyphénols des extraits obtenus en utilisant les granulométries 250 μ m et 125 μ m.

III.1.2. Teneur en flavonoïdes

Les teneurs en flavonoïdes de *Fumaria officinalis* des extraits préparés par différentes granulométries sont montrées dans la figure ci- dessous :

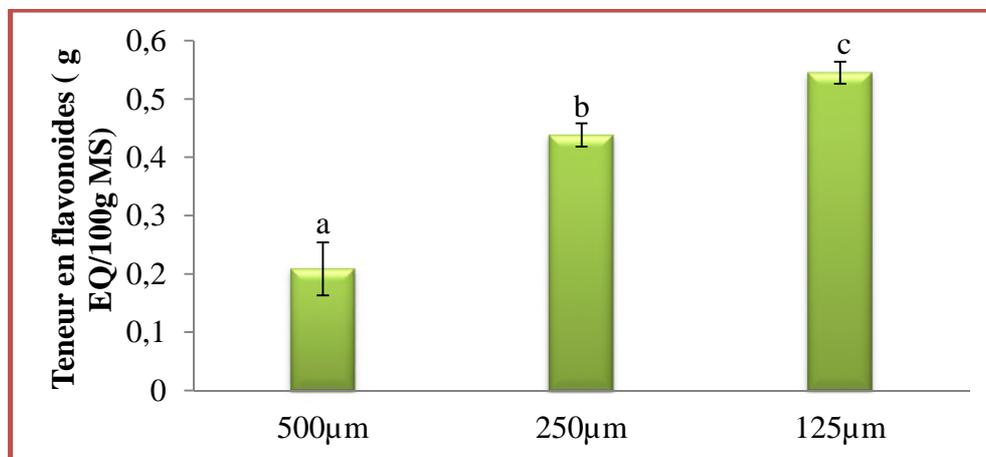


Figure 4 : Effet du diamètre de la poudre d'extraction sur la teneur en flavonoïdes de *Fumaria officinalis*.

L'analyse statistique a montré qu'il existe une différence significative ($p < 0.05$) entre les extraits selon le diamètre de la poudre testée. La poudre du diamètre de 125µm a permis d'obtenir la teneur la plus élevée en flavonoïdes (0.54g EQ/100g MS), suivie par celle du diamètre de 250µm (0.44g EQ/100g MS). Alors que l'extrait préparé par la poudre du diamètre de 500µm a donné la teneur en flavonoïdes la plus faible (0.2g EQ/100g MS).

III.1.3. Teneur en tanins condensés

L'étude statistique a montré que les teneurs en tanins de *Fumaria officinalis* présentent des différences significatives selon le diamètre de la poudre d'extraction ($p < 0.05$). Les résultats de la présente étude a révélé que l'extrait obtenu par la poudre de granulométrie de 125µm présente la teneur en tanins la plus élevée (1.05g EC/100g MS), tandis que l'extrait préparé par la poudre du diamètre de 500µm a donné la teneur la plus faible (0.71g EC/100g MS).

L'extraction des composés phénoliques (polyphénols totaux, flavonoïdes et tanins) augmente avec la diminution du diamètre des particules. Ce fait s'explique par la création d'une surface de contact plus grande avec la diminution de la taille des particules et aussi à l'ouverture de plus grand nombre de pores, facilitant le contact avec le solvant (Penchev *et al.*, 2010).

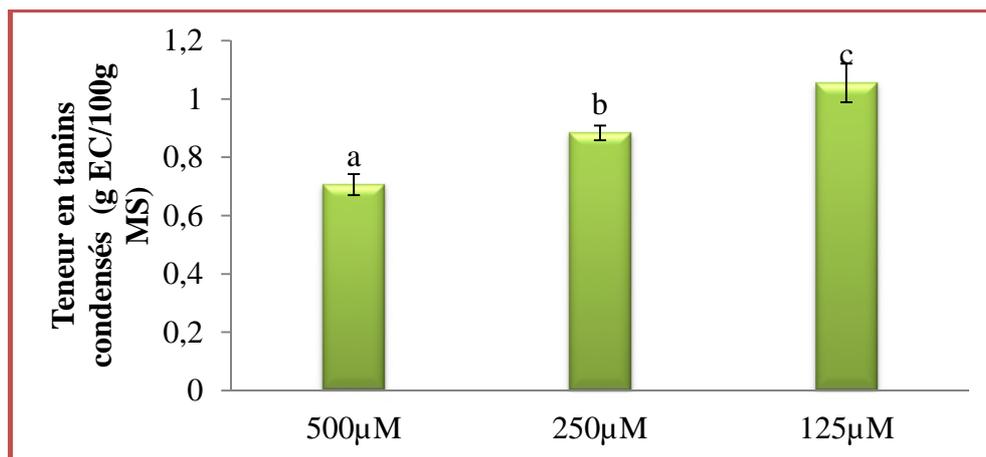


Figure 5 : Effet du diamètre de la poudre d'extraction sur la teneur en tanins condensés de *Fumaria officinalis*.

III.2. Effet de la nature du solvant d'extraction

Pour déterminer l'effet du solvant d'extraction sur la teneur en polyphénols, flavonoïdes et en tanins de *Fumaria officinalis*, quatre solvants ont été utilisés : l'eau distillée, le méthanol 50%, l'éthanol 50% et l'acétone 50%.

III.2.1. Teneur en polyphénols totaux

L'analyse statistique a montré que les teneurs en polyphénols totaux des extraits de *Fumaria officinalis* déterminés en utilisant des solvants d'extraction de différentes polarités, présentent des différences significatives ($p < 0.05$). Les résultats trouvés ont montré que l'extrait méthanolique a donné la teneur la plus élevée en polyphénols (3.05g EAG/100g MS), suivi par les extraits éthanolique et acétonique (2.69 et 2.68 g EAG/100g MS, respectivement). L'extrait aqueux a montré la teneur en polyphénols la plus faible (1.88g EAG /100g MS).

La solubilité des composés phénoliques dépend de leur nature chimique, et elle est affectée par la polarité du solvant utilisé.

D'après les résultats de la présente étude, la teneur en polyphénols totaux du *Fumaria officinalis* la plus élevée obtenue en utilisant le méthanol comme solvant d'extraction, pourrait être expliquée par la solubilité élevée des composés phénoliques de cette plante dans les solvants modérément polaires.

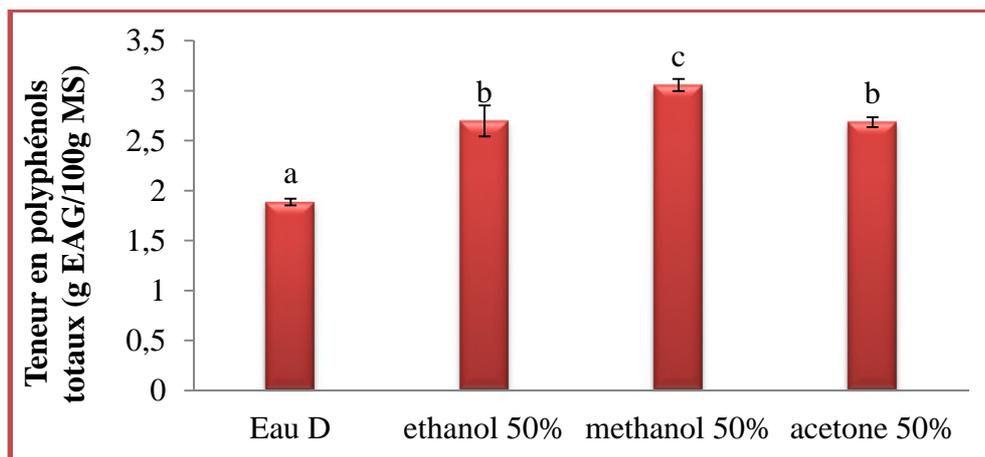


Figure 6 : Effet de la nature du solvant d'extraction sur la teneur en polyphénols totaux de *Fumaria officinalis*.

Les teneurs en polyphénols de l'extrait éthanolique de fumeterre obtenues dans la présente étude sont inférieures à celles trouvées dans l'étude réalisée sur la même plante et dans les mêmes conditions d'extraction par Ivanov *et al.*, (2014) et sont de l'ordre de 3.03 g EAG/100g. Cette différence peut être due à la différence de la localisation géographique et le climat.

III.2.2. Teneur en flavonoïdes

Les teneurs en flavonoïdes de *Fumaria officinalis* des extraits obtenus en utilisant des solvants d'extraction de différentes polarités, sont montrées dans la (Figure 7).

L'analyse statistique a montré qu'il existe une différence significative ($p < 0.05$) entre les teneurs en flavonoïdes des extraits étudiés selon la nature de solvant d'extraction, cependant aucune différence n'a été constatée entre les deux extraits éthanolique et méthanolique. Les résultats trouvés ont montré que l'extrait acétonique a donné la teneur la plus élevée en flavonoïdes (1.90g EQ/100g MS), suivi par les extraits éthanolique et méthanolique (1.43 et 1.44g EQ/100g MS respectivement). L'extrait aqueux a montré la teneur en flavonoïdes la plus faible (0.56g EQ/100g MS).

Les teneurs en flavonoïdes de *Fumaria officinalis* obtenues dans la présente étude (1.44g EQ/100g MS) sont supérieures à celles obtenues dans l'étude réalisée par Sengul *et al.*, (2009) sur la même plante en utilisant le méthanol comme solvant et le Soxhlet pour l'extraction, ces auteurs ont rapporté des teneurs en flavonoïdes de 0.105 g EQ/ 100g ; cette différence peut être due à la différence de la méthode d'extraction.

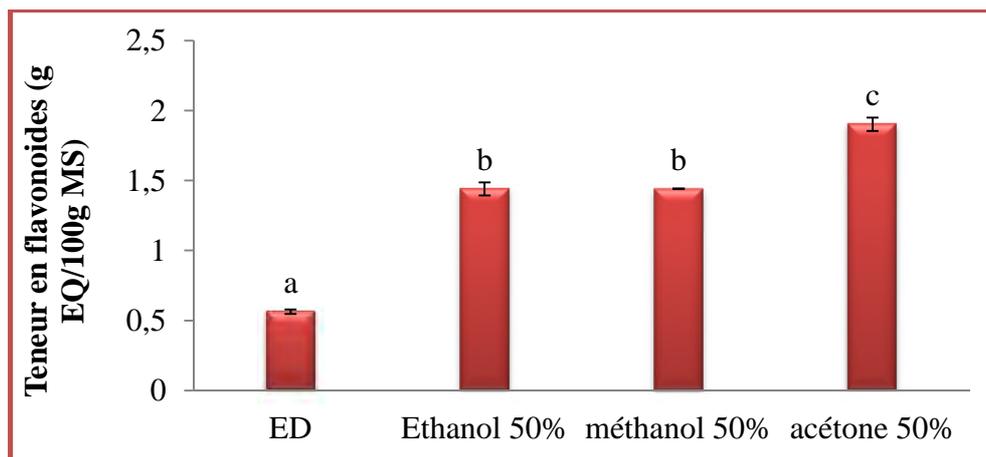


Figure 7 : Effet de la nature du solvant d'extraction sur la teneur en flavonoïdes de *Fumaria officinalis*.

III.2.3. Teneur en tanins condensés

Les teneurs en tanins condensés de *Fumaria officinalis* déterminées dans les différents extraits testés sont montrées dans la (Figure 8). L'analyse de ces résultats a montré une différence significative ($p < 0.05$) entre les teneurs en tanins des extraits obtenus selon la nature du solvant. Tandis qu'aucune différence n'a été constatée entre les extraits éthanolique et aqueux.

Les résultats obtenus ont montré que l'extrait acétonique présente la teneur la plus élevée en tanins condensés, suivi par l'extrait méthanolique. Cependant, les extraits aqueux et éthanolique ont montré les teneurs les plus faibles.

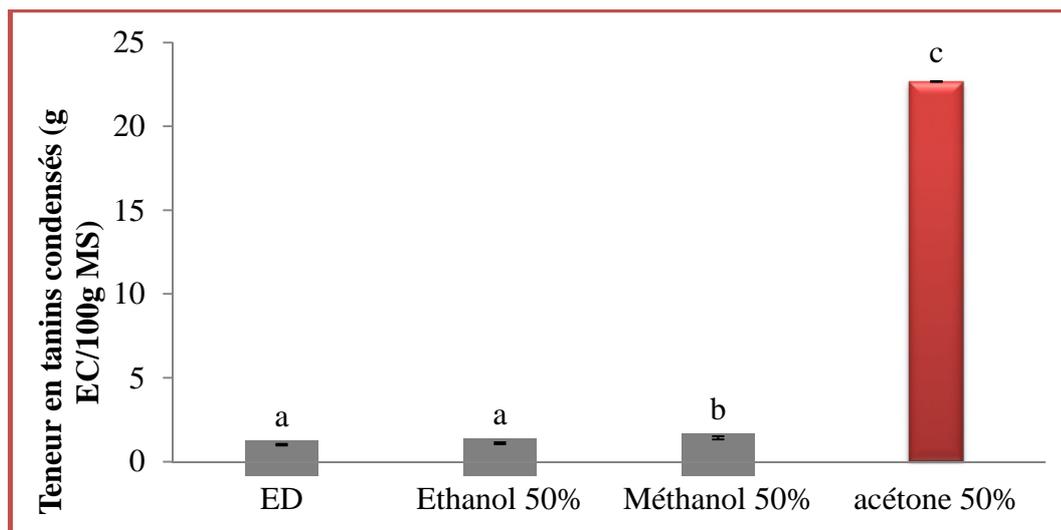


Figure 8 : Effet de la nature du solvant d'extraction sur la teneur en tanins condensés de *Fumaria officinalis*.

La teneur la plus élevée en tanins condensés obtenue en utilisant l'acétone comme solvant d'extraction pourrait être expliquée par le fait que l'acétone possède la capacité de solubiliser les proanthocyanidines qui ne sont pas solubles dans le méthanol. L'extraction des tanins condensés dépend de leur nature chimique, du solvant utilisé et des conditions opératoires (Mahmoudi, 2013).

III.3. Effet de la concentration du solvant d'extraction

L'analyse des résultats de la présente étude a montré que le méthanol est le meilleur solvant d'extraction des composés phénoliques de *Fumaria officinalis*, c'est pourquoi il a été sélectionné pour étudier l'effet de la concentration du solvant l'extraction des composés phénoliques.

Pour étudier l'effet de la concentration du solvant d'extraction sur la teneur en polyphénols, flavonoïdes et en tanins condensés, quatre concentrations de solvant d'extraction ont été utilisées : 30%, 70%, 50% et 100%.

III.3.1. Teneur en polyphénols totaux

L'analyse statistique des résultats de la présente étude n'a révélé aucune différence significative ($p < 0.05$) entre les teneurs en polyphénols obtenues en utilisant les solvants dilués (70%, 50%, et 30%) (Figure 9).

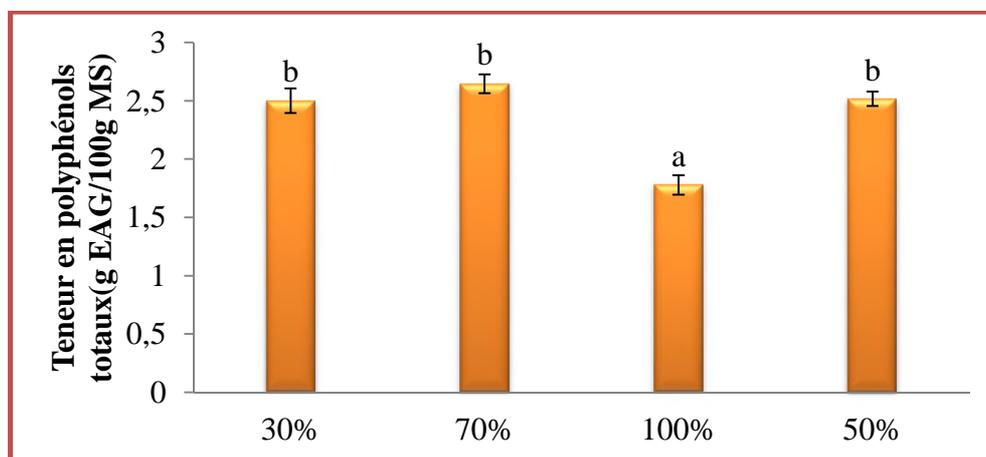


Figure 9 : Effet de la concentration du méthanol sur la teneur en polyphénols totaux de *Fumaria officinalis*.

Le mélange solvant-eau distillée semble très efficace pour l'extraction des polyphénols, car l'eau en combinaison avec le solvant contribue à la création d'un solvant modérément polaire qui assure à la fois l'extraction des composés phénoliques et la préservation de leur activité antioxydante (Chirinos *et al.*, 2007).

Lors de l'étude réalisée par Telli *et al.*, (2010) sur *Phoenix dactylifera* L, différentes concentrations de méthanol de 20% ,40%, 60%,80% et 100%, ont été testées, ces auteurs ont révélé que les teneurs les plus élevées en polyphénols ont été trouvées en utilisant le méthanol dilué à 80%.

III.3.2. Teneur en flavonoïdes

L'analyse statistique a révélé une différence significative entre les teneurs en flavonoïdes de fumeterre de tous les extraits méthanoliques obtenues selon la concentration testée (Figure 10) ($p < 0.05$).

Les résultats trouvés ont montré que l'extrait méthanolique pure a présenté la teneur la plus élevée en flavonoïdes (2.17g EQ/100g MS), suivi par le méthanol dilué à 70% (1.94gEQ/100g MS) puis le méthanol dilué à 50% (1.44 EQ/100g MS), tandis que le méthanol dilué à 30% a montré la teneur la plus faible (1.14g EQ /100g MS).

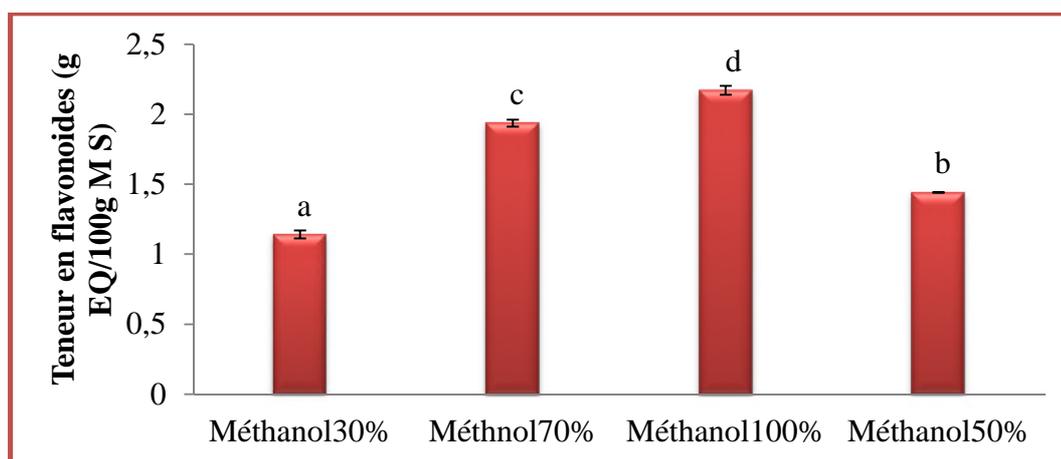


Figure10 : Effet de la concentration du méthanol sur la teneur en flavonoïdes de *Fumaria officinalis*.

III.3.3. Teneur en tanins condensés

Les teneurs en tanins condensés de *Fumaria officinalis* déterminées en utilisant des solvants de différentes concentrations sont montrées dans la figure suivant

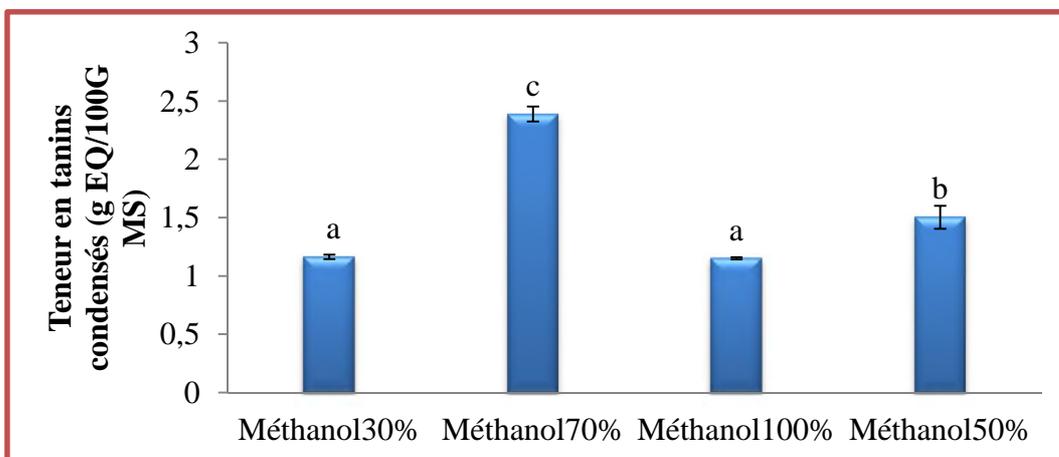


Figure11 : Effet de la concentration du méthanol sur la teneur en tanins condensés de *Fumaria officinalis*.

Les résultats obtenus ont montré que l'extrait méthanolique dilué à 70% a donné la teneur la plus élevée en tanins condensés (2.39g EQ/100g MS). Alors que les extraits méthanoliques dilué à 30% et pure ont montré les teneurs les plus faibles, avec des valeurs de 1.16 et 1.15g EQ /100g MS, respectivement.

L'analyse de la présente étude a montré qu'il existe une différence significative ($p < 0.05$) entre les teneurs en tanins des extraits, cependant aucune différence n'a été constatée entre les extraits méthanoliques dilué à 30% et l'extrait méthanolique pur.

En diluant les solvants avec de l'eau, les teneurs en composés phénoliques augmentent. Ce comportement peut être expliqué par le fait que l'eau déstabilise les parois cellulaires. En conséquence, en pénétrant plus profondément dans la matrice végétale, le solvant peut entrer au contact avec une quantité plus grande du soluté, ainsi favorisant l'extraction (Penchev *et al.*, 2010).

III.4. Effet de rapport solide/liquide

Pour déterminer l'effet du rapport solide/liquide sur la teneur en composés phénoliques, flavonoïdes et en tanins de *Fumaria officinalis*, quatre rapports solide/liquide ont été utilisés à savoirs : 0.2/20, 0.1/20, 0.4/ 20 et 0.6/20. En utilisant le méthanol dilué à 70% comme solvant d'extraction.

III.4.1. Teneur polyphénols totaux

Les teneurs en polyphénols totaux de *Fumaria officinalis* sont représentées dans la figure suivante :

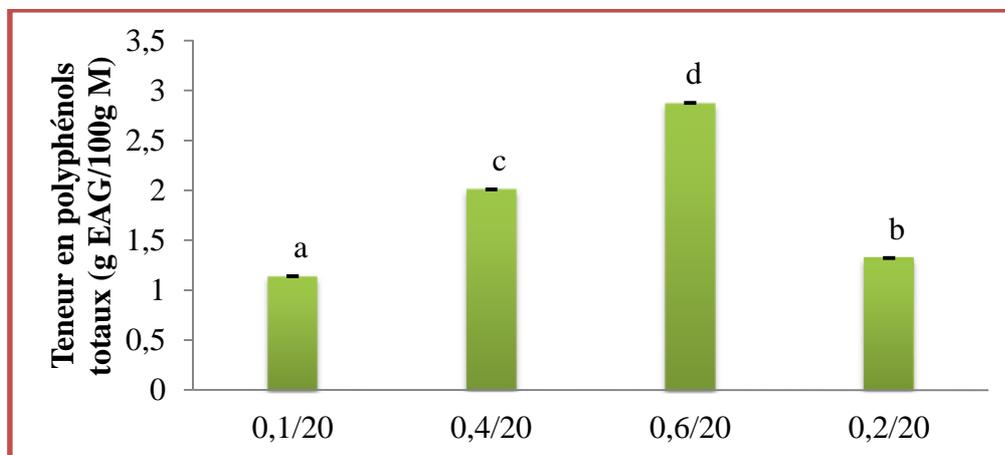


Figure 12 : Effet du rapport solide /liquide sur la teneur en polyphénols totaux de *Fumaria officinalis*.

Les résultats trouvés ont montré que l'extrait obtenu avec le rapport 0.6/20 possède la teneur la plus élevée en polyphénols (2.88g EAG/100g MS), suivi par l'extrait obtenu avec le rapport 0.4/20 (2.01g EAG/100g MS). Cependant, l'extrait obtenu avec le rapport 0.1/20 a montré la teneur en polyphénols la plus faible (1.14g EAG /100g MS).

L'analyse de ces résultats a révélé une différence significative entre les teneurs en polyphénols selon le rapport testée ($p < 0.05$).

Les teneurs en composés phénoliques élevées constatées dans les extraits obtenus en utilisant les rapports solide/liquide les plus élevés, pourraient être expliquée par le fait que la force de transfert de la matière devient plus importante lorsque le rapport solide/ liquide utilisé est plus élevé (Telli *et al.*, 2010 ; Belwal *et al.*, 2016).

III.4.2. Teneur en flavonoïdes

L'analyse statistique des résultats obtenus a montré qu'il existe une différence significative entre les teneurs en flavonoïdes de *Fumaria officinalis* selon le rapport solide/liquide testé (Figure 13) ($p < 0.05$).

Les résultats obtenus ont montré que l'extrait obtenu avec le rapport 0.2/20 a donné la teneur la plus élevée en flavonoïdes (2.26gEQ/100g MS), suivi par l'extrait de rapport 0.1/20 (1.61g EQ/100g MS) puis l'extrait de rapport 0.4/20 (1.36g EQ/100g MS), tandis que le rapport 0.6/20 a montré la teneur la plus faible (0.23g EQ /100g MS).

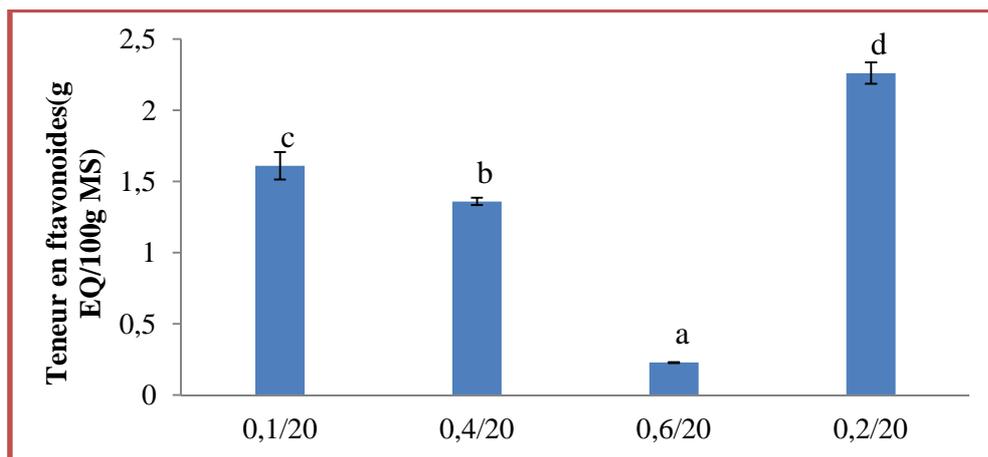


Figure13 : Effet du rapport solide /liquide sur la teneur en flavonoïdes de *Fumaria officinalis*.

III.4.3. Teneur en tanins condensés

Les teneurs en tanins condensés de *Fumaria officinalis* déterminées selon le rapport solide/liquide testé sont représentés dans la figure suivante :

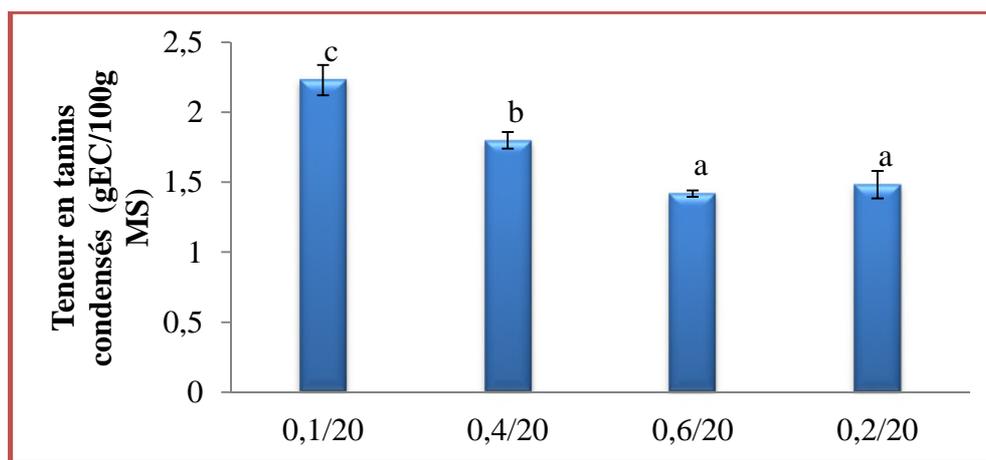


Figure 14: Effet du rapport solide /liquide sur la teneur en tanins condensés de *Fumaria officinalis*.

Les résultats obtenus ont montré que l'extrait méthanolique obtenu avec le rapport 0.1/20 a montré que la teneur la plus élevée en tanins condensés (2.23gEC/100g MS), suivi par l'extrait du rapport 0.4/20 (1.79g EC/100g MS). Cependant les extraits obtenus avec les rapports 0.6/20 et 0.2/20 ont montré les teneurs les plus faibles avec des valeurs de 1.42 et 1.48 g EC /100g MS, respectivement.

L'analyse statistique des résultats de la présente étude a révélé une différence significative entre les teneurs en tanins condensés selon le rapport solide/liquide testé ($p < 0.05$).

III.2. Activité antioxydante

Le présent travail c'est la suite du travail réalisé en 2017 par le binôme Betroune et Boukir sur la même poudre végétale ; elles ont utilisés comme solvants d'extraction (méthanol, acétone et eau distillée). Dont, elles ont affirmé l'existence d'une bonne activité antioxydante de cette plante. Cependant ils ont obtenus une activité scavenger de DPPH, ABTS, pouvoir réducteur du fer et molybdate (78.69%,77.12%,0.772 et 0.488 respectivement) qui sont inférieur à celle de standard utilisé. Cette étude vise à déterminer l'influence de certains paramètres sur l'activité antioxydante de *Fumaria officinalis*.

III.2.1. Effet du diamètre de la poudre

Pour étudier l'effet du diamètre de la poudre d'extraction sur l'activité antioxydante de *Fumaria officinalis*, trois diamètres ont été utilisés à savoirs : 125, 250 et 500 μ m.

III.2.1.1. Activité « scavenger » de radical DPPH

L'analyse statistique de l'activité« scavenger » de radical DPPH de *Fumaria officinalis* a révélé l'existence d'une différence significative entre les pourcentages d'inhibition de radical DPPH selon le diamètre de la poudre ($p < 0.05$) (Figure 15).

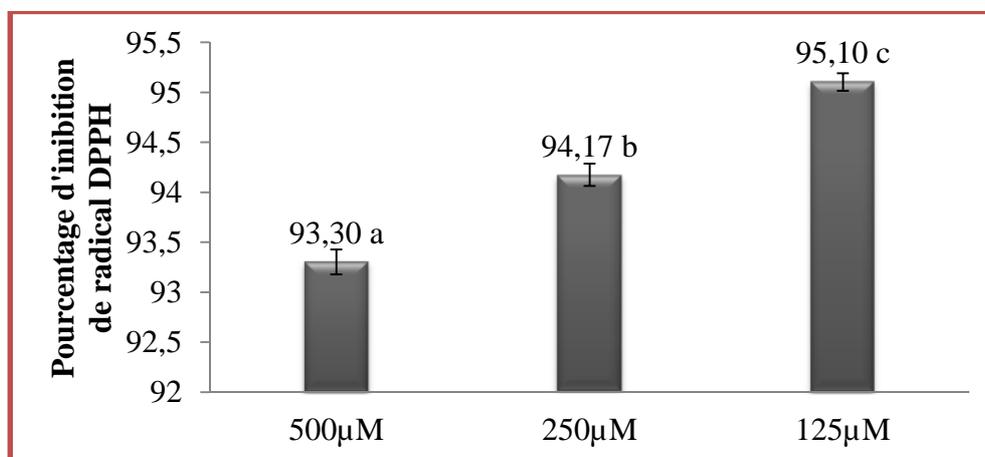


Figure 15 : Effet du diamètre de la poudre de *Fumaria officinalis* sur l'activité« scavenger » de radical DPPH.

Les résultats obtenus ont montré que l'extrait préparé avec la poudre du diamètre 125 μ m a enregistré le pourcentage d'inhibition de radical DPPH le plus élevé (95.10%) suivi par l'extrait préparé par la poudre du diamètre 250 μ m (94.17%), cependant l'extrait préparé par la poudre du diamètre 500 μ m a présenté le pouvoir antioxydant le plus faible (93.30%).

III.2.1.2. Activité « scavenger » de radical ABTS^{•+}

Les résultats de l'activité « scavenger » de radical ABTS de *Fumaria officinalis* sont significativement affectés par le diamètre de la poudre testés ($p < 0.05$) (Figure 16).

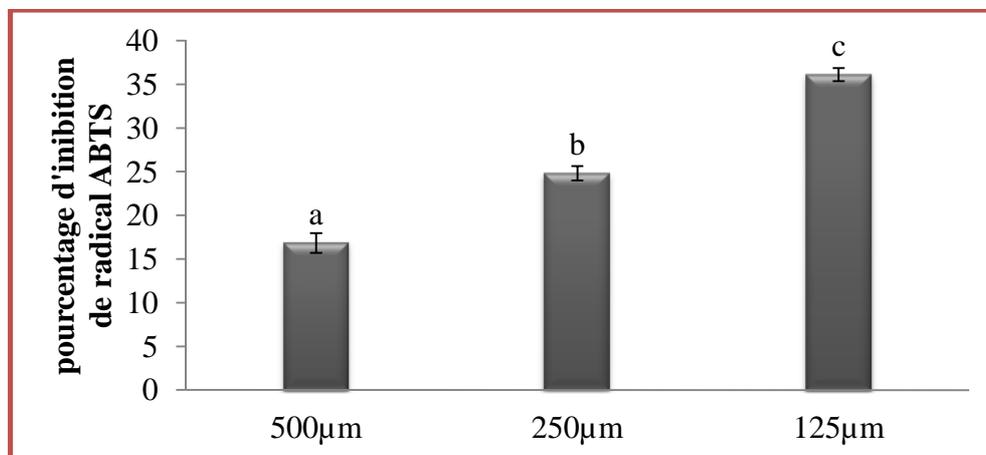


Figure 16 : Effet du diamètre de la poudre de *Fumaria officinalis* sur l'activité « scavenger » de radical ABTS.

Les résultats trouvés ont montré que l'extrait préparé avec la poudre du diamètre 125µm a enregistré le pourcentage d'inhibition de radical ABTS le plus élevé (36.09%) suivi par l'extrait à 250 µm (24.81%). L'extrait préparé avec la poudre du diamètre 500µm a révélé le pouvoir antioxydant le plus faible (16.82%).

III.2.1.3. Pouvoir réducteur du fer

Les résultats de l'activité réductrice du fer de *Fumaria officinalis* sont significativement affectés par le diamètre de la poudre testés ($p < 0,05$) (Figure 17).

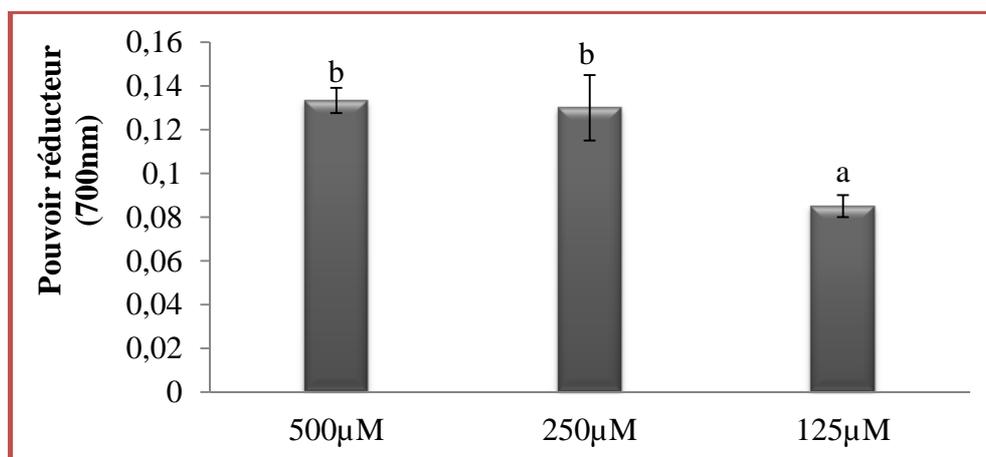


Figure 17 : Effet du diamètre de la poudre de *Fumaria officinalis* sur le pouvoir réducteur de fer.

Les extraits préparés par les poudres du diamètre 500 et 250 μ m ont présenté le pouvoir réducteur plus important (0.13), et l'analyse statistique n'a révélé aucune différence significative entre ces deux extraits. Alors que l'extrait du diamètre 125 μ m à exhibé le pouvoir réducteur le faible (0.08).

III.2.1.4. Activité réductrice de molybdate

Les résultats de l'activité réductrice de molybdate des extraits de fumeterre sont représentés dans la figure ci-dessous ;

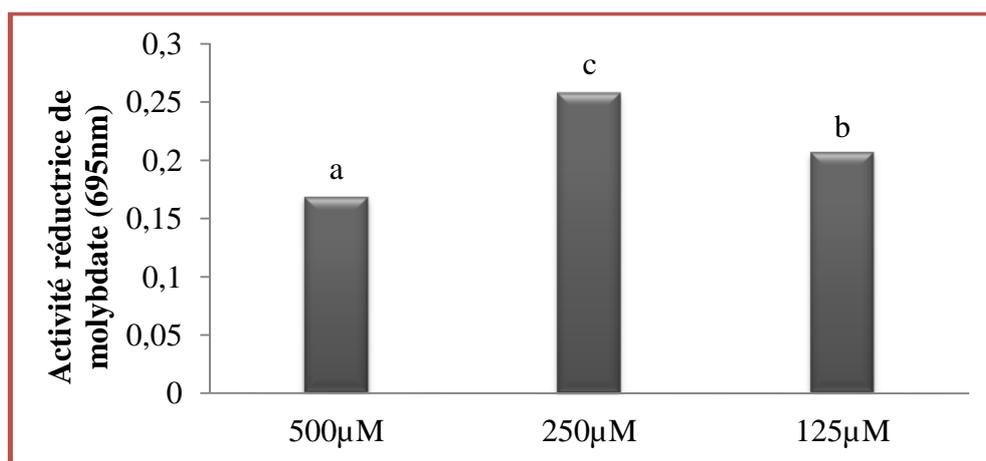


Figure 18 : Effet du diamètre de la poudre de *Fumaria officinalis* sur l'activité réductrice de molybdate.

Les résultats obtenus montrent que l'extrait de diamètre 250 μ m a présenté l'activité réductrice de molybdate la plus élevée (0.26), suivie par l'extrait du diamètre 125 μ m (0.21) et l'extrait du diamètre 500 μ m (0.17).

L'analyse statistique de ces résultats a révélé une différence significative entre les extraits de *Fumaria officinalis* obtenus en utilisant des poudres de différents diamètres ($p < 0,05$).

III.2.2. Effet de la nature du solvant

Pour déterminer l'effet de la nature du solvant d'extraction sur l'activité antioxydante, quatre solvants ont été utilisés à savoir : eau distillée, éthanol 50%, méthanol 50% et acétone 50%.

III.2.2.1. Activité « scavenger » de radical DPPH

Les résultats de pourcentage d'inhibition de radical DPPH des extraits de *Fumaria officinalis* obtenus sont montrés dans la figure ci-dessous :

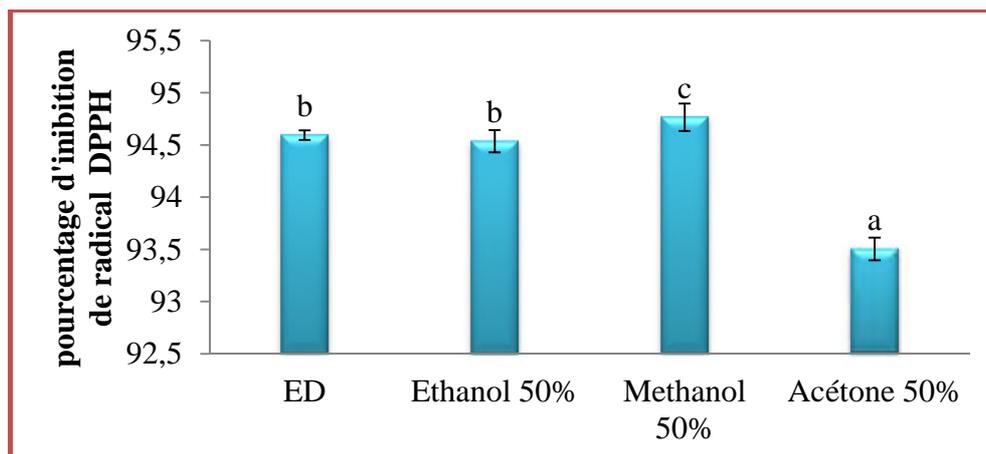


Figure 19 : Effet de la nature du solvant d'extraction sur l'activité « scavenger » de radical DPPH de *Fumaria officinalis*.

Les résultats de la présente étude ont montré que l'extrait méthanolique à 50% a enregistré le pourcentage d'inhibition de radical DPPH le plus élevé (94.77%) suivi par l'extrait aqueux et l'extrait éthanolique 50% (94.59% et 94.53%, respectivement). Tandis que l'extrait acétonique 50% a montré le pouvoir antiradicalaire (anti-DPPH) le plus faible (93.50%). L'analyse statistique de ces résultats a révélé une différence significative entre les extraits de *Fumaria officinalis* obtenus selon le solvant testé ($p < 0,05$).

Toutes les valeurs notées dans la présente étude (94.77%) sont supérieures à celles enregistrées dans une étude réalisée par Betroune et Boukir, (2017), sur la même poudre végétale et ont utilisé (méthanol, éthanol et eau distillée) comme solvant d'extraction, qui sont de l'ordre de 78.69% dans l'extrait méthanolique.

III.2.2.2. Activité « scavenger » de radical ABTS^{•+}

Les résultats de pourcentage d'inhibition de radical ABTS des extraits de *Fumaria officinalis* obtenus sont montrés dans la figure ci-dessous :

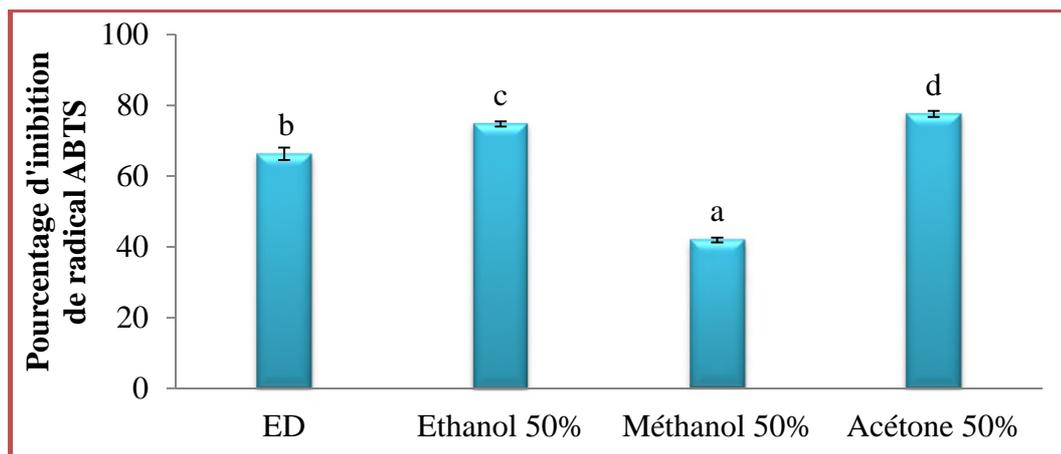


Figure 20 : Effet de la nature du solvant d'extraction sur l'activité « scavenger » de radical ABTS de *Fumaria officinalis*.

L'analyse statistique des résultats de l'activité « scavenger » de radical ABTS a révélé une différence significative entre les extraits de *Fumaria officinalis* obtenus selon le solvant testé ($p < 0,05$). Les résultats trouvés ont montré que l'extrait acétonique 50% a enregistré le pourcentage d'inhibition de radical ABTS le plus élevé (77.55%) suivi par l'extrait du éthanolique 50% et aqueux (74.73% et 66.30%), cependant l'extrait méthanolique 50% a présenté le pouvoir antioxydant le plus faible (41.95%).

Les résultats obtenus dans la présente étude (77.55%) sont légèrement supérieurs à ceux enregistrées dans une étude réalisée par Betroune et Boukir, (2017), qui sont de l'ordre de 77.12% dans l'extrait méthanolique.

III.2.2.3. Pouvoir réducteur du fer

L'analyse statistique des résultats de la présente étude a montré que l'extrait acétonique 50% a présenté le pouvoir réducteur le plus important (1.82) d'une façon significative suivi par les deux extraits éthanolique et méthanolique (1.62). Cependant l'extrait aqueux a montré le pouvoir réducteur le plus faible (0.04).

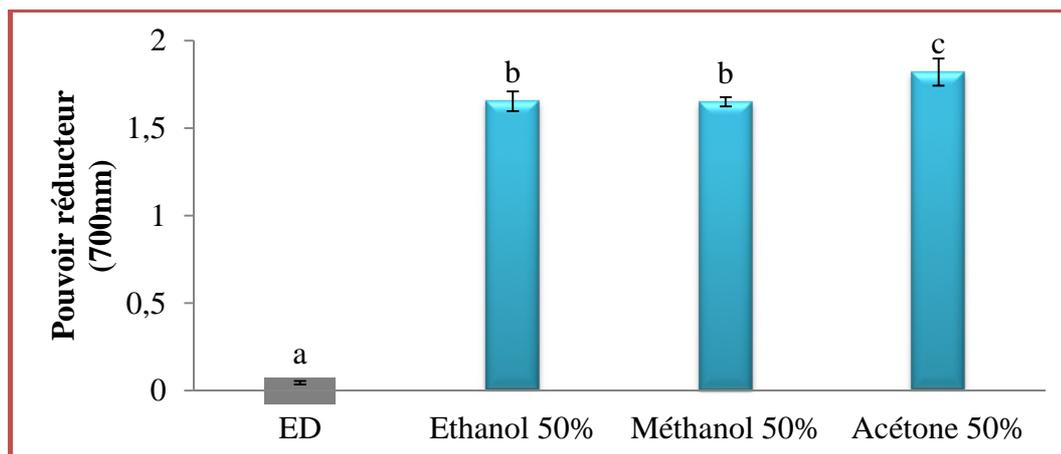


Figure 21 : Effet de la nature du solvant d'extraction sur le pouvoir réducteur de fer de *Fumaria officinalis*.

III.2.2.4. Activité réductrice de molybdate

Les résultats de l'activité réductrice de molybdate des extraits de *Fumaria officinalis* sont représentés dans la (Figure 22). Les résultats trouvés ont montré que l'extrait éthanolique à 50% a donné l'activité réductrice de molybdate la plus élevée (1.35), suivie par l'extrait aqueux (1.23) puis l'extrait acétonique (1.14). Tandis que l'extrait méthanolique a donné la plus faible activité réductrice de molybdate (0.51).

L'analyse statistique de ces données a montré l'existence d'une différence significative entre les activités réductrices de molybdate de *Fumaria officinalis* selon le solvant testé ($p < 0,05$).

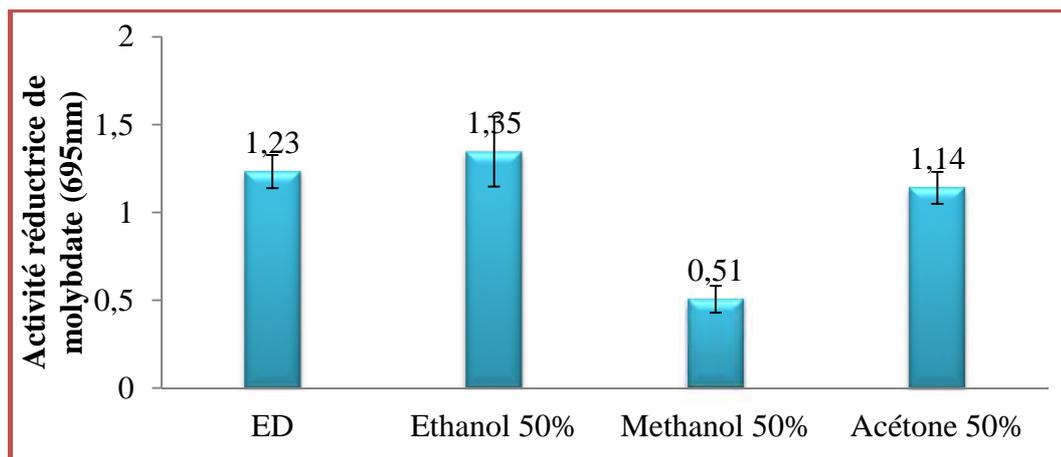


Figure 22 : Effet de la nature du solvant d'extraction sur l'activité réductrice de molybdate de *Fumaria officinalis*.

Ces résultats sont compatibles à ceux obtenus par Babota et *al.*, (2018) sur *Antennaria dioica* (L.) , ils ont trouvé que la meilleure activité réductrice de molybdate a été attribué à l'extrait éthanolique.

III.2.3. Effet de la concentration du solvant

Pour étudier l'effet de la concentration de solvant d'extraction (méthanol) sur l'activité antioxydante de *Fumaria officinalis*, quatre concentrations ont été utilisées : 30%, 70%, 50% et 100%.

III.2.3.1. Activité « scavenger » de radical DPPH

Les résultats de l'activité« scavenger » de radical DPPH étudiée selon la concentration du méthanol, sont représentés dans les figures ci-dessous :

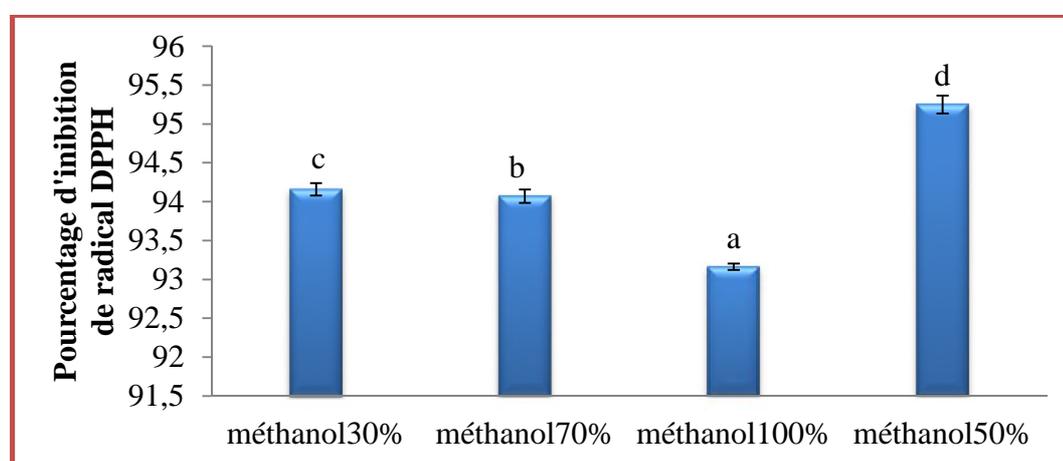


Figure 23 : Effet de la concentration du solvant d'extraction sur l'activité« scavenger » de radical DPPH de *Fumaria officinalis*.

Les résultats de la présente étude ont montré que l'extrait méthanolique dilué a 50% a exhibé significativement le pourcentage d'inhibition de radical DPPH le plus élevé (95.24%), cependant l'extrait méthanolique pure a donné le pouvoir antioxydant le plus faible (93.16%) ($p < 0,05$).

III.2.3.2. Activité « scavenger » de radical ABTS

Les résultats de l'activité« scavenger » de radical ABTS obtenus selon la concentration du méthanol, sont représentés dans la figure suivante :

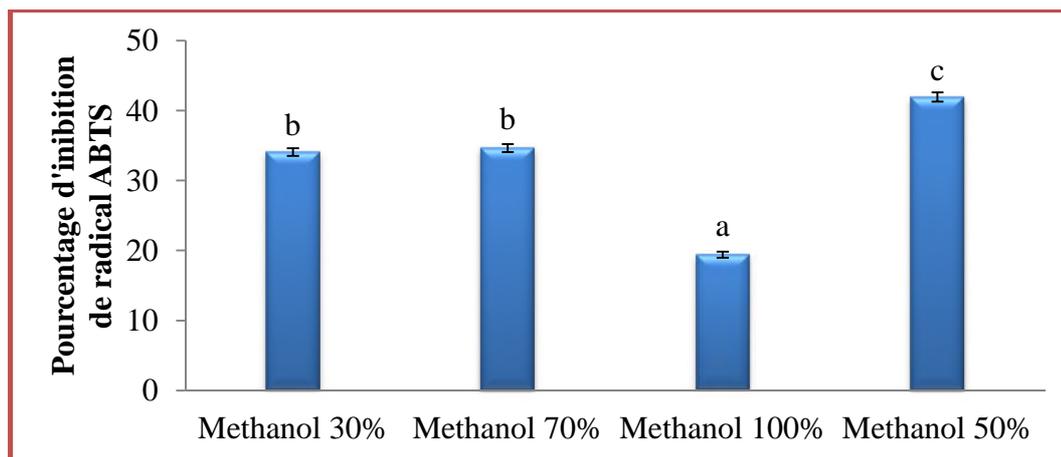


Figure24: Effet de la concentration du solvant d'extraction sur l'activité « scavenger » de radical ABTS de *Fumaria officinalis*.

Les résultats de la présente étude ont montré que l'extrait méthanolique dilué à 50% a enregistré le pourcentage d'inhibition de radical ABTS le plus élevé (41.95%) suivi par les extraits dilués à 70% et à 30%, avec des valeurs de 34.65% et 34.06%, respectivement. Alors que l'extrait méthanolique pure a exhibé le pouvoir antioxydant le plus faible (19.41%).

L'analyse statistique de ces données a montré l'existence d'une différence significative entre les pourcentages d'inhibition de radical ABTS, présentés par les extraits de *Fumaria officinalis*, selon la concentration du solvant testé ($p < 0,05$). Cependant aucune différence significative n'a été constatée entre les extraits dilués à 70% et à 30%.

III.2.3.3. Pouvoir réducteur de fer

Les résultats de pouvoir réducteur du fer des extraits de *Fumaria officinalis*, sont représentés dans la figure ci-dessous :

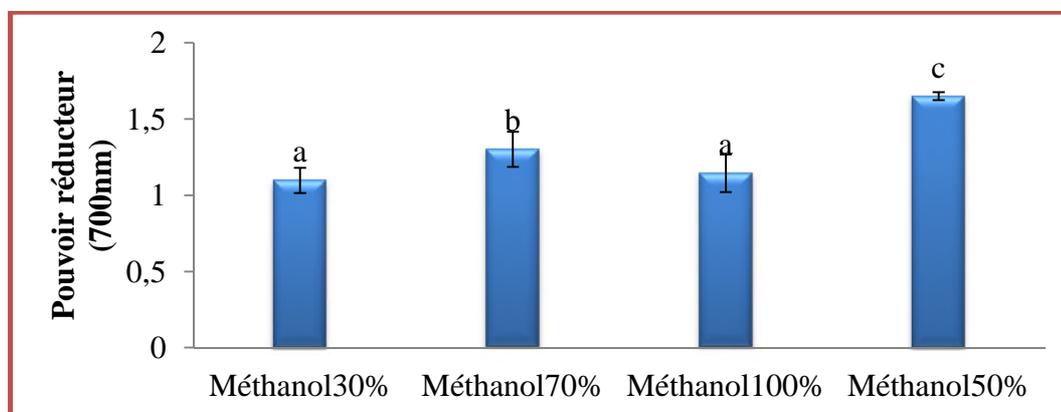


Figure25 : Effet de la concentration du solvant d'extraction sur le pouvoir réducteur de fer de *Fumaria officinalis*.

Les résultats obtenus ont montré que l'extrait méthanolique dilué à 50% a montré le pouvoir réducteur le plus important (1.65) suivi par les deux extraits méthanoliques dilués à 70% et à 100% avec un pouvoir réducteur de l'ordre de 1.30 et 1.14, respectivement. Alors que l'extrait méthanolique dilué à 30% a donné le plus faible pouvoir réducteur (1.09).

III.2.3.4. Activité réductrice de molybdate

L'activité réductrice de molybdate des extraits de *Fumaria officinalis* a été évaluée selon la concentration du méthanol et les résultats obtenus sont représentés dans la figure ci-dessous :

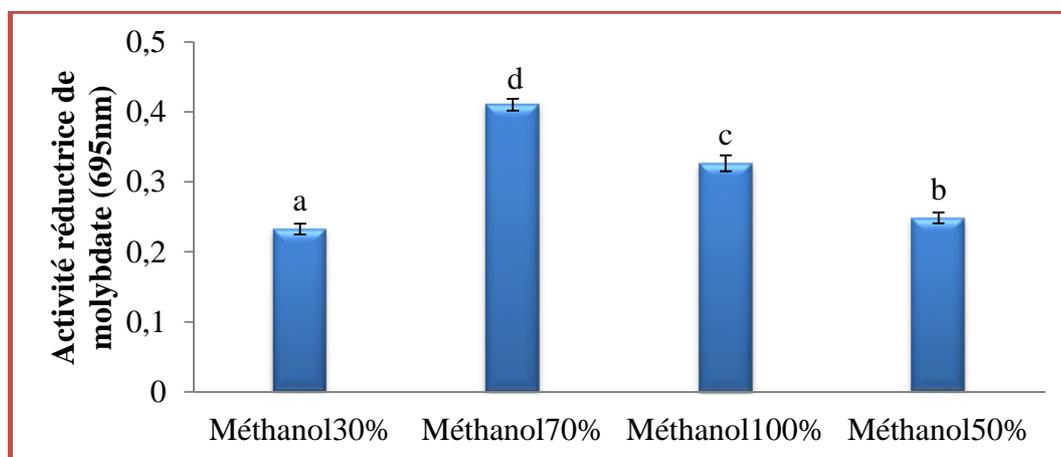


Figure 26 : Effet de la concentration du solvant d'extraction sur l'activité réductrice de molybdate de *Fumaria officinalis*.

Les résultats trouvés ont révélé que l'extrait méthanolique dilué à 70% a exercé l'activité réductrice de molybdate la plus élevée (0.41), suivi par l'extrait pur (0.33), puis l'extrait dilué à 30% (0.23). L'extrait méthanolique dilué à 50% a montré la plus faible activité réductrice de molybdate (0.25) d'une façon significative ($p < 0,05$).

III.2.4. Effet de rapport solide/liquide

L'activité antioxydante de la plante *Fumaria officinalis* a été évaluée en appliquant les rapports solides/liquide suivant : 0.2/20, 0.4/20, 0.6/20 et 0.1/20, pour l'extraction et en utilisant comme solvant d'extraction le méthanol dilué à 70%.

III.2.4.1. Activité « scavenger » de radical DPPH

L'analyse des résultats de l'activité « scavenger » de radical DPPH obtenus en utilisant différents rapports solide / liquide, a montré l'existence d'une différence significative ($p < 0,05$) (Figures 27). Les résultats de la présente étude ont montré que

l'extrait obtenu avec le rapport 0.6/20 a enregistré le pourcentage d'inhibition de radical DPPH le plus élevé (97.19%) suivi par l'extrait obtenu avec le rapport 0.4/20 (95.65%) et l'extrait obtenu avec le rapport 0.2/20 (95.24%), puis l'extrait méthanolique obtenu avec le rapport 0.1/20 (92.88%).

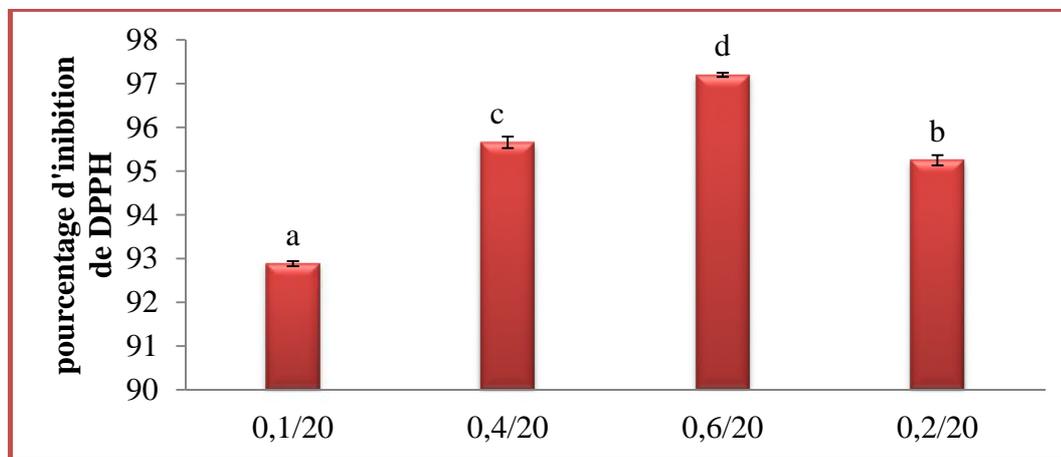


Figure 27: Effet de rapport solide/liquide sur l'activité « scavenger » de radical DPPH de *Fumaria officinalis*.

III.2.4.2. Activité « scavenger » de radical ABTS^{•+}

L'activité « scavenger » de radical ABTS évaluée selon différents rapports solide / liquide est représenté dans la figure suivante :

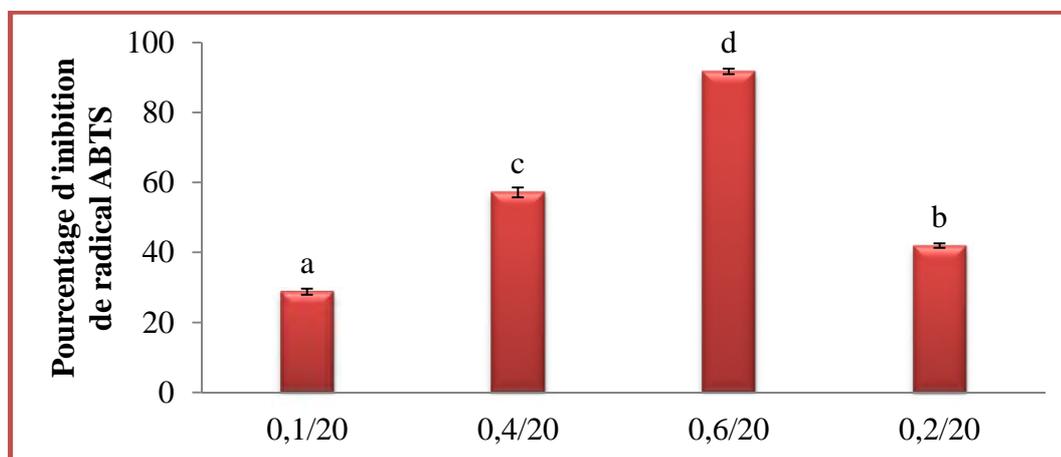


Figure 28 : Effet de rapport solide /liquide sur l'activité « scavenger » de radical ABTS de *Fumaria officinalis*.

Les résultats de la présente étude ont montré que l'extrait avec le rapport 0.6/20 a donné le pourcentage d'inhibition de radical ABTS le plus élevé (91.77%) suivi par l'extrait de rapport 0.4/20 (57.17%) puis, l'extrait à 0.2/20 (41.95%), alors que l'extrait méthanolique avec le rapport 0.1/20 a donné le plus faible pouvoir antioxydant (28.73%).

III.2.4.3. Pouvoir réducteur de fer

Les résultats du pouvoir réducteur du fer des extraits de *Fumaria officinalis*, déterminé selon différents rapports solide/liquide, sont représentés dans la (Figure 31) Les résultats trouvés montrent que l'extrait du rapport 0.6/20 possède le pouvoir réducteur le plus important (3.24), cependant l'extrait du rapport 0.1/20 a montré le plus faible pouvoir réducteur (0.62).

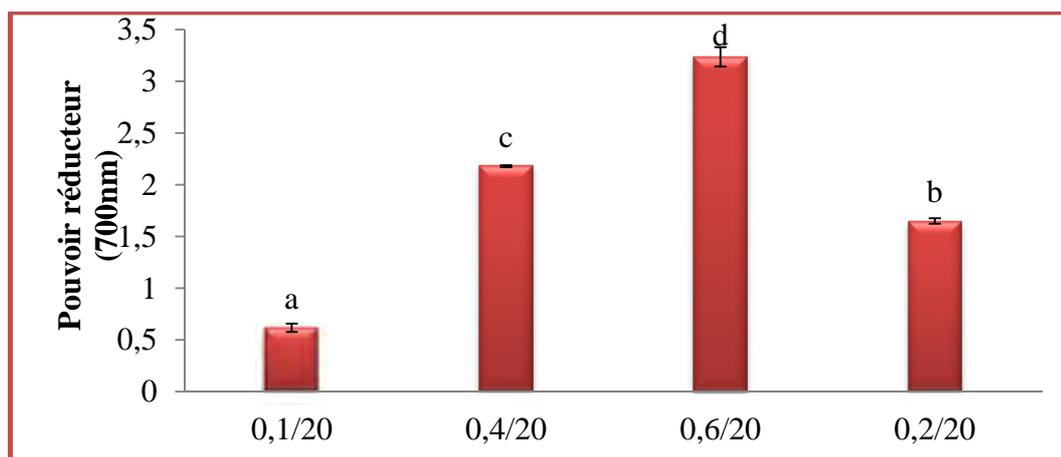


Figure 29 : Effet de rapport solide / liquide sur le pouvoir réducteur de fer de *Fumaria officinalis*.

III.2.4.4. Activité réductrice de molybdate

L'activité réductrice de molybdate des extraits de *Fumaria officinalis* a été évaluée selon l'effet de rapport solide / liquide, et les résultats trouvés sont représentés dans la figure suivante :

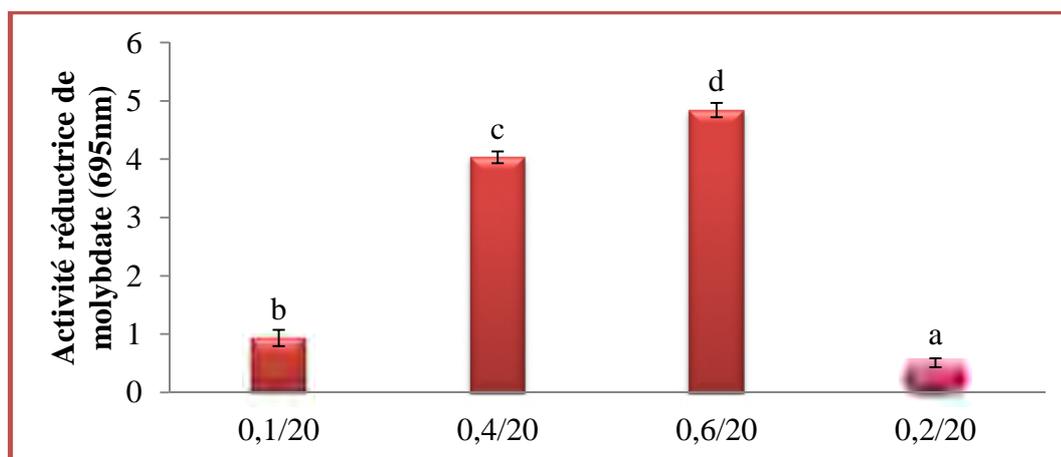


Figure 30 : Effet de rapport solide / liquide sur l'activité réductrice de molybdate de *Fumaria officinalis*.

D'après ces résultats, l'extrait préparé avec le rapport 0.6/20 a marqué l'activité réductrice de molybdate la plus élevée (4.84), suivi par l'extrait du rapport 0.4/20 (4.03) puis l'extrait avec le rapport 0.1/20 (0.93). Cependant l'extrait préparé avec le rapport 0.2/20 a marqué une faible activité réductrice de molybdate (0.50).

L'analyse globale des résultats de la présente étude ont révélé que les polyphénols contenus dans les extraits du *Fumaria officinalis* sont probablement responsables de l'activité antioxydante de ces extraits, qui est due à leurs capacité de se comporter comme des donneurs d'hydrogène, agents réducteurs et anti-radicalaire, cette activité est généralement dépendante de la structure chimique, de nombre, de la position et de la nature des substituant sur les cycles B et C (groupements hydroxyles, métaxylés, glycosylés) et le degré de polymérisation (Benabdallah et al., 2016). Ainsi que l'influence des paramètres étudiés sur l'activité antioxydante de *Fumaria officinalis*.

Conclusion et perspectives

Cette étude a été consacrée à la détermination de l'effet de quatre paramètres (le diamètre de la poudre, la nature et la concentration de solvant ainsi le rapport solide/liquide) d'extraction sur la teneur en composés phénoliques (polyphénols totaux, flavonoïdes et en tanins) de la partie aérienne de *Fumaria officinalis*, et sur l'activité antioxydante de ces extraits.

Les résultats obtenus révèlent que 125 μ m, le méthanol 70% et le rapport 0.6/20 sont les meilleurs paramètres qui ont donné la meilleure teneur en polyphénols totaux de *Fumaria officinalis*, alors que la teneur en flavonoïdes et en tanins de cette plante a été attribuée au diamètre 125 μ m, le rapport 0.1/20, le méthanol pur et le méthanol 70% respectivement.

L'activité antioxydante des extraits a été testée par les tests suivants : DPPH, pouvoir réducteur, ABTS et molybdate. D'après les résultats obtenus avec le DPPH et l'ABTS, les meilleurs paramètres sont le diamètre 125 μ m, le méthanol 50% et le rapport 0.6/20 qui ont donné une meilleure activité anti-radicalaire. Tandis que, le diamètre 125 μ m, le rapport 0.6/20, le méthanol 50% et le méthanol 70% sont les meilleurs paramètres qui ont affiché un pouvoir réducteur et une capacité antioxydante totale importante de *Fumaria officinalis*.

L'extraction des composés phénoliques reste une étape cruciale pour la valorisation de ces principes actifs. Elle dépend des paramètres cités précédemment, qui sont ; le diamètre de la poudre, la concentration du solvant et du rapport solide/liquide qui préservent leurs propriétés biologiques.

D'autres paramètres tels que, le temps d'extraction, le pH de solvant, la température ...etc, qui ne sont pas étudiés dans ce travail et qui influent sur le rendement de l'extraction des composés phénoliques, peuvent servir de perspectives pour optimiser au mieux l'extraction en vue de son utilisation à l'échelle industrielle. D'autres méthodes d'extraction et d'autres activités biologiques doivent être explorées pour répondre aux exigences de la santé et du bien être de l'homme et de son environnement.

Antolovich M., Prenzler P. D., Patsalides E., McDonald S. et Robards K. (2002). Methods for testing antioxidant activity. *Analyst*, 127:183–198.

Babota M., Mocan A., Vlase L., Crisan O., Ielciu I., Gheldiu A.M., Vodnar D. C., Crisan G. et Paltinean R. (2018). Phytochemical Analysis, Antioxidant and Antimicrobial Activities of *Helichrysum arenarium* (L.) Moench. and *Antennaria dioica* (L.) Gaertn. Flowers. *Molecules*, 23 :1-15.

Barouki R. (2006). Stress oxydant et vieillissement. *Medecine Sciences*, 22: 266-72.

Belwal T., Dhyani P., Bhatt I. D., Singh R. R. et Pande V. (2016). Optimization extraction conditions for improving phenolic content and antioxidant activity in *Berberis asiatica* fruits using response surface methodology (RSM). *Food Chemistry*, 1-36.

Benabdallah A., Rahmoune C., Boumendjel ., Aissi O. et Messaoud C. (2016). Total phenolic content and antioxidant activity of six wild *Mentha* species (*Lamiaceae*) from northeast of Algeria. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 6(9): 760–766.

Berger M. (2006). Manipulations nutritionnelles du stress oxydant : État des connaissances. *Nutrition clinique et métabolisme*, 20 : 48–53.

Betroune L. et Boukir C. (2017). *Etude de l'activité antioxydante des composés phénoliques de Fumaria officinalis*. Travail de diplôme en vue de l'obtention du diplôme Master, filière Sciences Biologiques, Université A. Mira-Bejaia, p. 30,36.

Bijoy M., Jayati S. et Prabir K S. (2008). Antioxidant activités of soybean as affected by *Bacillus*-fermentation to kinema. *Food Research International*, 41 : 586–593.

Bougandoura N. et Bendimerad N. (2012). Evaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux et méthanolique de *Satureja calamintha ssp. Nepeta* (L.) Briq. *Nature et Technologie*, 9 : 14-19.

Bravo L. (1998). Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition Reviews*, 317-333.

Bruneton J. (2009). *Pharmacognosie : phytochimie des plantes médicinales*. Paris : Lavoisier. 325, 274 ,275 p.

Cezard V. (2014). *Plantes de santé*. Paris : Nathan. 25 p.

Chira K., Suh J.H., Saucier C. et Teissède P.L. (2008). Les phénols de raisin. *Phytonutrition fondamentale*, 6 :75-82.

Chirinos R., Rogez H., Campos D., Pedreschi R. et Larondelle Y. (2007). Optimisation of extraction conditions of antioxidant phenolic compounds from mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruz & Pavon) tubers. *Separation and Purification Technology*, 55: 217-225.

Defraingne J.O. et Pincimail J. (2008). Stress oxydant et antioxydant : mythes et réalités. *Med liège*, 63: 10-19.

Dellile L. (2007). *Les plantes médicinales d'Algérie*. Alger : Berti. 120, 121 P.

Goetz P. K. et Ghedira R. (2009). *Fumaria officinalis* L. (*Fumariaceae*). *Le Jeune Phytothérapie*, 7: 221–225.

Gülçin L., Oktay M E., Kireççi E et Küfrevioğlu Ö İ. (2003). Screening of antioxidant and antimicrobial activities of anise (*Pimpinella anisum* L.) seed extracts. *Food Chemistry*, 83: 371.

Ivanov I. G., Vrancheva R. Z., Marchev A. S., Petkova N. T. , Aneva I. Y., Denev P. P., Georgiev V. G. et Pavlov A. I. (2014). Antioxidant activities and phenolic compounds in Bulgarian *Fumaria* species. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*, 3: 296-306.

Kahkonen M.P., Hopia A.I., Vuorela H. J ., Rauha J. P., Pihlaja K., Kujala T. S et Heinonen M.(1999). Antioxidant Activity of Plant Extract Containing Phenolic Compounds. *Jornal of Agricultural and Food Chemestry*, 47: 3954-3962.

Khadhri A., El mokni R. et Smiti S. (2013). Composés phénoliques et activités antioxydantes de deux extraits de chardon à glu: *Atractylis gummifera*. *Revue Soc. Sci. Nat*, 39: 44-52.

Khamtache-Abderrahim S., Lequart-Pillonb M., Gontierb E., Gaillardb I., Pilardb S., Mathironb D., Djoudad-Kadjic H. et Maiza-Benabdesselam F. (2016). Isoquinoline alkaloid fractions of *Fumaria officinalis*: Characterization and evaluation of their antioxidant and antibacterial activities. *Industrial Crops and Products*, 94: 1001–1008.

Khamtache-Abderrahim S. (2017). *Caractérisation des fractions alcaloïdiques de Fumaria officinalis et étude de leurs activités biologiques*. Travail de diplôme en vue de l'obtention du diplôme de doctorat en science. Filière Sciences Biologiques, Université A. Mira-Bejaia, p.27.

Kroyer G. et Hegedus N. (2001). Evaluation of bioactive properties of pollen extracts as functional dietary food supplement. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2(3): 171-174.

La maison J L C., et Carnet A. (1990). Teneurs en Principaux Flavonoïdes des fleurs de *Crataegus Monogyna* Jacq et de *Crataegus Laevigata* (Poiret D. C) en Fonction de la Vegetation. *Pharmaceutica Acta Helvetia*, 65: 315-320.

Laguerre M., López-giraldo L. J., Lecomte J., Pina M. et Villeneuve P. (2007). Outils d'évaluation *in vitro* de la capacité antioxydante, *Fondamental*, 14: 278-292.

Mahmoudi S., Khali M. et Mahmoudi N. (2013). Etude de l'extraction des composés phénoliques de différentes parties de la fleur d'artichaut (*Cynara scolymus* L.). *Nature et Technologie*, 9: 35-40.

Molyneux P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant Activity. *Journal of Science Technologie*, 26(2): 211-219.

Mraïhi F., Journi M., Chérif D.K., Sokmen M., Sokmen A. et Trabeksi-Aydi M. (2013). Phenolic contents and antioxydant potentiel of *Cratageus* fruit grown in Tunisia as determined by DPPH, FRAP, and β - carotene/Linoleic acide assay. *Journal of Chemistry*, p: 1-6.

Niemenak N., Rohsius C., Elwers S., Ndoumou D. O. et Lieberei R. (2006). Comparative study of différent cocoa (*Theobroma cacao* L.) clones in terms of their phenolics and anthocyanins contents . *Journal of Food Composition and Analysis*, 19: 612-619.

Paltinean R., Mocan A., Vlase L., Gheldiu A.M., Crisan G., Ielciu I., Vostinaru O. et Crisan O. (2017). Evaluation of polyphenolic content, antioxidant and diuretic activities of six fumaria species. *Molecules*, 22: 1-14.

Pandey K. B. et Rizvi S.I. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2:270-278.

Penchev P., Angelov G. et Condoret J. S. (2010). Extraction des agents antioxydants (acide rosmarinique) à partir de la mélisse (*Melissa officinalis* L.). *Revue de génie industriel*, 5 : 115-123.

Price M L., Van S S. et Butler L G. (1978). Acritical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 26:1214-1218.

Prieto P., Pineda M et Aguilar M. (1999). Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of vitamin E. *Analytical Biochemistry*, (269): 337-341.

Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M et Rice-Evans C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26 (9-10): 1231-1237.

Ribéreau-Gayon. (1968). *Notions générales sur les composés phénoliques In « composés phénoliques des végétaux »*. Paris : Dunod. 1,27 p.

Ribéreau-Gayon P., Ribéreau-Gayon j., peynaud e, et sudraud p.(1982). *Notions générales sur les composés phénoliques, méthodes générales d'études des composés phénoliques. In : « Composés phénoliques des végétaux »*. Paris : Dunod. 173,201p.

Sengul M., YildizIL H., Gungor N., Cetin B., Eser Z., et Ercisli S. (2009). Total phenolic content, antioxidant and antimicrobial activities of some medicinal plants. *Pharm. Sci.*, 22: 102-106.

Swain J. et Hillis W E. (1959). The Phenolic Constituents of *Prunus domestica*. I. The Quantitative Analysis of Phenolic Constituents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 10: 63-68.

Telli A. , Mahboub N., Boudjeh S., Siboukeur O. E. K. et Moulti-mati. F. (2010). Optimisation des conditions d'extraction des polyphénols de dattes lyophilisées (*Phoenix dactylifera* L) variété Ghars. *Annales des Sciences et Technologie*, 2 : 107-114.

Yildirim A., Mavi A. et Kara AA. (2001). Determination of antioxidant and antimicrobial activities of *Rumex crispus* L. extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 9: 4083-4089.

Glossaire botanique

Plantes annuelles : sont des plantes dont le cycle de vie, de la germination jusqu'à la production de graines, ne dure qu'une année.

Plante herbacée : est une plante dont la tige est souple et tendre.

Glabre : une feuille ou une tige est glabre lorsqu'elle n'est pas couverte de poils, ni d'épines.

Feuilles alternes : des feuilles situées de chaque côté d'une tige mais pas l'une en face de l'autre.

Feuilles pennées : des feuilles composées de folioles disposées de part et d'autre d'un axe médian, à la manière des barbes d'une plume.

Feuilles foliole : Une des petites feuilles qui forment ensemble une feuille composée.

Aisselle : est un angle formé par la tige au point de rencontre avec une feuille ou un pétiole.

Bractée : une pièce florale en forme de feuille faisant partie de l'inflorescence

Silicule : une petite silique (fruit sec déhiscent) dont la longueur ne dépasse pas trois fois sa largeur.

Annexes

Annexe N°1 : liste des produits

- Acétone (C_3H_6O)
- Acide gallique ($C_7H_6O_5$)
- Acide sulfurique (H_2SO_4)
- Catéchine ($C_{15}H_{14}O_6$)
- Carbonate de sodium (Na_2CO_3)
- Chlorure d'aluminium ($AlCl_3$)
- Chlorure ferrique ($FeCl_3$)
- DPPH ($CH_{12}N_5O_6$)
- Eau distillé (H_2O)
- Ethanol (C_2H_6O)
- Ferricyanure de potassium ($K_3Fe(CN)_6$)
- Méthanol (CH_3-OH)
- Molybdate d'ammonium ($(NH_4)_6Mo_7O_{24}$)
- Persulfate de potassium ($K_2S_2O_8$)
- Phosphate de potassium
- Poudre d'ABTS ($C_{18}H_{18}N_4O_6S_4$)
- Quercitrine ($C_{15}H_{10}O_7$)
- Solution de Folin
- Vanilline ($C_8H_8O_3$)

Annexe N°2 : liste des appareils

- Agitateur électrique (vortex)
- Bain marie
- Balance électrique
- Broyeur électrique
- Etuve
- Micropipette
- Plaque agitatrice
- Ph mètre
- Rota vapeur
- Spectrophotomètre

- Tamiseur électrique

Annexe N°3 : liste de la verrerie

- Béchers
- Entonnoir
- Eprouvettes
- Erlmeyer
- Fiole jaugée
- Pissettes-
- Tube à essai

Annexe N°4 : les courbes d'étalonnage du dosage des composés phénoliques

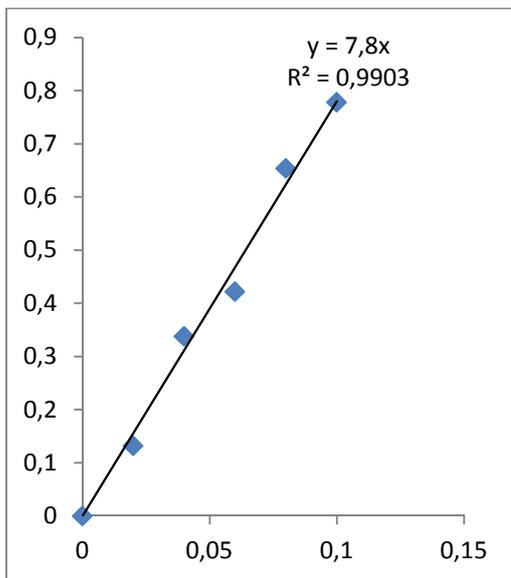


Figure 1 : courbe d'étalonnage de

L'acide gallique.

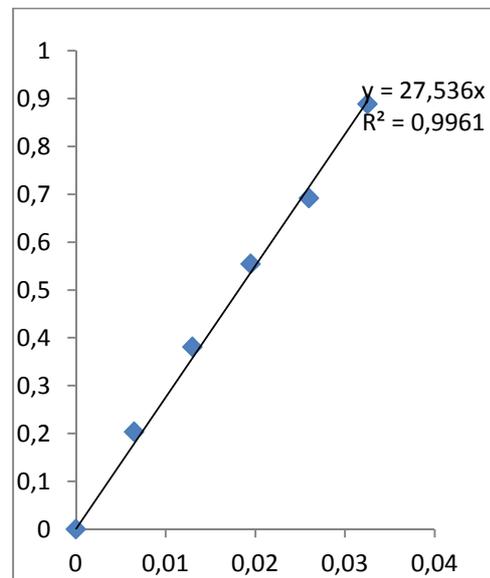


Figure 2: courbe d'étalonnage de la

Quercitine.

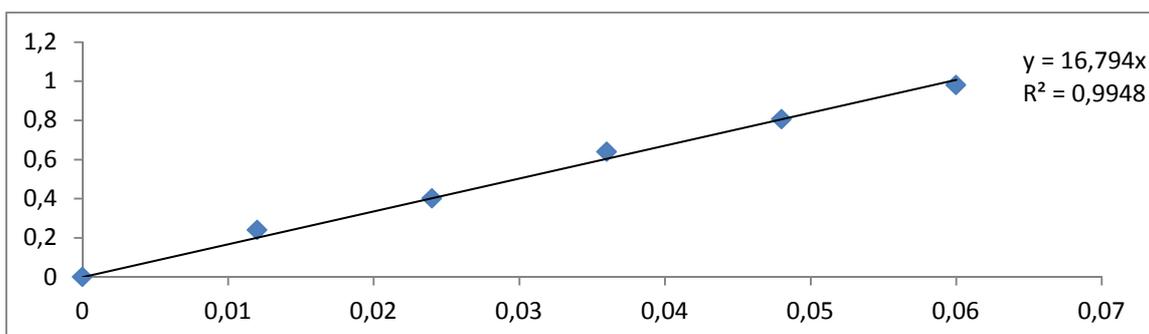


Figure 3: courbe d'étalonnage de la catéchine.

Résumé

Fumaria officinalis est une plante de la famille des Fumariacées, leurs multiples effets pharmacologiques sont dus à leur richesse en substances actives notamment en composés phénoliques. Dans ce travail s'est intéressé d'une part, à l'optimisation de l'extraction des composés phénoliques (polyphénols, flavonoïdes et tanins) en étudiant l'effet de quatre paramètres (diamètre de la poudre, la nature, la concentration du solvant d'extraction et l'effet du rapport solide/liquide). D'autre part à leurs effets sur l'activité antioxydante en utilisant quatre tests *in vitro* (l'activité « scavenger » de radical DPPH, l'activité « scavenger » de radical ABTS, pouvoir réducteur de fer et l'activité réductrice de molybdate). Les teneurs les plus élevées en polyphénols, en flavonoïdes et en tanins sont enregistrés avec le diamètre 125µm (1.62g EAG/100g MS, 0.54g EQ/100g MS et 1.05g EC/100g MS respectivement), le meilleur solvant pour extraire les polyphénols totaux et les tanins de cette plante est le méthanol 70% (2.64g EAG/100g MS, .39g EC/100g MS respectivement), le méthanol pure est attribué au flavonoïde (2.17g EQ/100g MS) ainsi que les meilleurs rapports solide/liquide sont 0.6/20 et 0.1/20. Les résultats obtenus sur les quatre tests réalisés ont permis d'affirmer l'influence des quatre paramètres étudiés sur l'activité antioxydante de *Fumaria officinalis*.

Les mots clés : *Fumaria officinalis*, composés phénoliques, activité antioxydante, solvant, diamètre, rapport solide/liquide.

Abstract

Fumaria officinalis is a plant of the family *Fumariaceae*, their multiple pharmacological effects are due to their richness in active substances including phenolic compounds. In this work we have been interested on the one hand in optimizing the extraction of phenolic compounds (polyphenols, flavonoids and tannins) by studying the effect of four parameters (diameter of the powder, the nature, the concentration of the solvent of extraction and the effect of the solid / liquid ratio). On the other hand to their effects on the antioxidant activity using four *in vitro* tests (DPPH radical scavenger activity, ABTS radical scavenger activity, iron reducing power and reducing activity of molybdate). The highest contents of polyphenols, flavonoids and tannins are recorded with 125µm diameter (1.62g EAG / 100g MS, 0.54g EQ / 100g MS and 1.05g EC / 100g MS respectively), the best solvent for extracting polyphenols total and tannins of this plant is 70% methanol (2.64g EAG/100g MS, .39g EC / 100g MS respectively), pure methanol is attributed to flavonoid (2.17g EQ / 100g MS) as well as the best solid / liquid ratios are 0.6 / 20 and 0.1 / 20. The results obtained on the four tests carried out allowed affirming the influence of the four parameters studied on the antioxidant activity of *Fumaria officinalis*.

Key words: *Fumaria officinalis*, phenolic compounds, antioxidant activity, solvent, diameter, solid / liquid ratio.

ملخص

Fumaria officinalis هو نبات العائلة *Fumariaceae*، تأثيراتها الدوائية المتعددة ترجع إلى ثرائها في المواد الفعالة بما في ذلك المركبات الفينولية. في هذا العمل تم المعنية من جهة وتعظيم الاستفادة من استخراج المركبات الفينولية (البوليفينول، الفلافونويد والعفص) من خلال دراسة تأثير أربعة معاملات (قطر مسحوق، والطبيعة، وتركيز المذيب استخراج وتأثير نسبة الصلبة / السائل). من ناحية أخرى لتأثيراتها على نشاط مضادات الأكسدة باستخدام أربعة اختبارات في المختبر (نشاط الكاسح الراديكالي DPPH، ونشاط الكاسح الجذري ABTS، وخفض طاقة الحديد وتقليل نشاط المولبيدات). يتم حفظ أعلى مستويات من مادة البوليفينول، الفلافونويد والعفص مع قطر 125µm (EAG 1.62g / 100G MS، EQ 0.54g / 100G MS و 1.05g MS EC / 100G MS على التوالي)، وأفضل مذيب لاستخراج مادة البوليفينول الكامل والعفص من هذا النبات هو الميثانول 70% (EAG 2.64g / 100G MS، EC 0.39g / 100G MS على التوالي)، ويعزى الميثانول النقي لالفلافونويد (EQ 2.17g / 100G MS) وأفضل نسب الصلبة / السائلة هي 0.6 / 20 و 0.1 / 20. النتائج التي تم الحصول عليها في الاختبارات الأربعة التي أجريت جعلت من الممكن تأكيد تأثير المعلمات الأربعة التي درست على نشاط مضادات الأكسدة من *Fumaria officinalis*.

الكلمات المفتاحية: *Fumaria officinalis*، مركبات فينولية، نشاط مضاد للأكسدة، مذيب، قطر، نسبة صلبة / سائلة.