

## Liste des figures

Figure 1: Fleur bleue de <i>Linum usitatissimum</i> (Heli et al., 2007).....	3
Figure 2: Fruit et graine de lin (Heli et al., 2007). .....	4
Figure 3: diagramme de l'utilisation du lin (Jhalla et Hall, 2010) .....	6
Figure 4: Sommité fleurie de <i>Lavandula dentata</i> (Upson, 2009) .....	10
Figure 5: Classification des polyphénols (Macheix et al., 2006) .....	12
Figure 6: Activités biologiques des polyphénols .....	13
Figure 7: Structure de base des flavonoïdes .....	13
Figure 8: Squelette de base des flavonoïdes.....	14
Figure 9: Représentation des principales classes et sous-groupes des flavonoïdes au niveau de l'hétérocycle C. ....	15
Figure 10: Structure des tanins condensés (Peronny, 2005). ....	16
Figure 11: Structure des tanins hydrolysables et des acides associés (Peronny, 2005). .....	17
Figure 12: Boutons floraux <i>Lavandula dentata</i>	
Figure 13: Graines <i>Linum usitatissimum</i> .....	23
Figure 14: protocole de préparation de l'extrait méthanolique .....	27
Figure 15: protocole d'extraction et de fractionnement des flavonoïdes (Merghem et al., 1995) .....	30
Figure 16: Réduction du radical DPPH.....	31
Figure 17: Composition du milieu PBS. ....	32
Figure 18: Teneur en sucres totaux chez <i>L. dentata</i> et <i>L. usitatissimum</i> .....	35
Figure 19: Teneur en polyphénols totaux chez <i>L. dentata</i> et <i>L. usitatissimum</i> . ....	37
Figure 20: Teneur en polyphénols totaux chez <i>L. dentata</i> et <i>L. usitatissimum</i> . ....	38
Figure 21: Inhibition du DPPH par l'acide ascorbique et les extraits de <i>L. dentata</i> et <i>L. usitatissimum</i> . ....	40
Figure 22: Inhibition du DPPH par les différentes fractions des flavonoïdes de <i>L. dentata</i> ... 42	
Figure 23: Inhibition du DPPH par les différentes fractions des flavonoïdes de <i>L. usitatissimum</i> . ....	42
Figure 24: Inhibition du DPPH par les huiles fixes de <i>L. dentata</i> .....	44
Figure 25: Inhibition du DPPH par les huiles fixes de <i>L. usitatissimum</i> .....	44
Figure 26: Test d'héماغglutination des hématies du rat par l'extrait total de <i>L. usitatissimum</i> (observation à l'œil nu). ....	46
Figure 27: Test d'héماغglutination des hématies du rat par l'extrait total de <i>L. dentata</i> (observation à l'œil nu). ....	46
Figure 28: Témoin positif par la Concanavaleine A (T <sup>+</sup> ) et négatif (T <sup>-</sup> ) du test d'héماغglutination des hématies du rat (observation à l'œil nu). ....	46
Figure 29: Observation microscopique d'héماغglutination des hématies du rat par l'extrait total de par l'extrait total de <i>L. usitatissimum</i> (Gx40).....	47
Figure 30: Observation microscopique d'héماغglutination des hématies du rat par l'extrait total de par l'extrait total de <i>L. dentata</i> (Gx40).....	47
Figure 31: Limite d'agglutination de <i>Linum usitatissimum</i> (observation à l'œil nu).....	48

## *Lise des tableaux*

Tableau I: Composition chimique (%) des grains de lin (Rubilar et <i>al.</i> , 2010) .....	5
Tableau II: Acides gras de l'huile de lin (Ganorkar et Jain, 2013) .....	5
Tableau III: Les principales espèces ERO et ERA générées dans les systèmes biologiques (Bartosz, 2003) .....	18
Tableau IV: Récapitulatif des structures tridimensionnelles des lectines. ....	21
Tableau V: Teneur en eau et en éléments étrangers chez <i>L. dentata</i> et <i>L. usitatissimum</i> . ....	34
Tableau VI: Teneur en mucilage chez <i>L. dentata</i> et <i>L. usitatissimum</i> . ....	35
Tableau VII: Teneur en mucilage chez <i>L. dentata</i> et <i>L. usitatissimum</i> . ....	38
Tableau VIII: Valeur de CI50 de l'acide ascorbique et des extraits de <i>L. dentata</i> et <i>L.</i> <i>usitatissimum</i> . ....	40
Tableau IX: Valeur de CI50 de différentes fractions des flavonoïdes de <i>Lavandula dentata</i> et <i>Linum usitatissimum</i> . ....	43
Tableau X: Valeur de CI50 des huiles fixes de <i>L. dentata</i> et <i>L. usitatissimum</i> . ....	44
Tableau XI: Agglutination des hématies du rat par l'extrait total de <i>L. dentata</i> et <i>L.</i> <i>usitatissimum</i> . ....	45
Tableau XII: Activité de la limite d'hémagglutination des extraits de <i>L. dentata</i> et <i>L.</i> <i>usitatissimum</i> . ....	48

# Sommaire

INTRODUCTION.....	1
PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE .....	3
I- Données sur <i>Linum usitatissimum</i> .....	3
1- Généralités .....	3
2- La famille des <i>linaceae</i> .....	3
3- Place de <i>Linum usitatissimum</i> dans la systématique .....	4
4- Description botanique.....	4
5- Composition et molécules bioactives .....	5
6- Utilisation thérapeutique.....	5
7- Effet sur les performances zootechniques .....	8
II- Données sur <i>Lavandula dentata</i> .....	8
1- La famille des <i>Lamiaceae</i> .....	8
2- Le genre <i>Lavandula</i> .....	8
3- Place de <i>Lavandula dentata</i> dans la systématique.....	9
4- Description botanique.....	9
5- Composition chimique.....	10
6- Usage de la lavande .....	10
III- Composés phénoliques .....	11
1- Le métabolisme secondaire .....	11
2- Les polyphénols .....	12
3- Les flavonoïdes.....	13
4- Les tanins.....	16
IV- Activité antioxydante .....	18
1- Le stress oxydant .....	18
2- Notion de radicaux libres et d'antioxydants .....	18
3- Définition de l'activité antioxydante .....	19
V- Activité hémagglutinante des lectines des plantes .....	19
1- Plantes et effets immunostimulants .....	19
2- Les lectines .....	20
MATERIEL ET METHODES .....	23
I- Matériel végétal .....	23

II- Méthodes expérimentales .....	23
1- Pureté de la drogue végétale .....	23
2- Teneur en eau et perte à la dessiccation .....	23
3- Extraction des mucilages .....	24
4- Extraction et dosage des sucres totaux .....	24
5- Extraction des huiles fixes .....	25
6- Extraction des huiles essentielles .....	25
7- Dosage des polyphénols et tanins .....	25
8- Dosage des flavonoïdes .....	27
9- Extraction liquide-liquide des flavonoïdes .....	28
10- Test de l'activité anti oxydante .....	31
11- Test d'hémagglutination .....	32
12- Analyse statistique .....	33
RESULTATS ET DISCUSSION .....	34
I- Pureté et perte à la dessiccation de la drogue végétale .....	34
II- Teneur en mucilages .....	34
III- Teneur en sucres totaux .....	35
IV- Rendement en huiles essentielles .....	36
V- Teneur en polyphénols et tanins .....	36
1- Teneur en polyphénols .....	36
2- Teneur en tanins condensés .....	38
VI- Teneur en flavonoïdes .....	38
VII- Activité anti oxydante .....	39
1- Extrait méthanolique brut .....	39
2- Fractions de flavonoïdes .....	41
3- Huiles fixes .....	43
VIII- Activité hémagglutinante .....	45
1- Test de phytohémagglutination .....	45
2- Limite d'hémagglutination .....	47
CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....	49
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	50

## ***ANNEXES***

## Résumé

Dans la présente étude, il s'agit d'investiguer la composition chimique ainsi que le pouvoir antioxydant et immunostimulant de deux plantes aromatiques et médicinales "*Linum usitatissimum* L." et "*Lavandula dentata* L.", largement utilisées en médecine traditionnelle marocaine.

Une analyse quantitative à travers les dosages phytochimiques, a révélé la richesse de *Lavandula dentata* en huiles essentielles (rendement de 1%), en sucres totaux en tanins condensés, et en polyphénols totaux avec une teneur allant jusqu'à 27,43 mg EAG/g. Alors que *Linum usitatissimum* renferme la plus grande teneur en huiles fixes (rendement de 32.5%), en flavonoïdes et en mucilages dont la quantité était de 44,6mg/g.

Les extraits des deux plants possèdent une activité antioxydante importante *in vitro*, surtout celui de *Lavandula dentata* (CI<sub>50</sub> = 233,1µg/ml). La fraction de l'acétate d'éthyle renfermant les flavonoïdes aglycones ou flavonoïdes mono-O-glycosides et partiellement di-O-glycosides pour *Lavandula dentata*, et celle du n-butanol contenant les flavonoïdes di-O-glycosides et tri-glycosides et C-glycosides pour *Linum usitatissimum*, semblent être les plus performantes en termes de pouvoir antioxydant.

Le test d'hémagglutination a démontré l'effet immunostimulant de *Linum usitatissimum* à travers sa richesse en lectines.

**Mots clés :** *Lavandula dentata*, *Linum usitatissimum*, phytochimie, activité antioxydante, immunostimulant.

## Abstract

In this study, we investigate the chemical composition as well as the antioxidant and immunostimulatory power of two aromatic and medicinal plants "*Linum usitatissimum* L." and "*Lavandula dentata* L.", widely used in traditional Moroccan medicine.

Quantitative analysis through phytochemicals, revealed the richness of *Lavandula dentata* in essential oils (1% yield), in total sugars, in condensed tanins, and in total polyphenols with a content of up to 27.43 mg EAG/g. While *Linum usitatissimum* contains the highest fixed oil content (32.5% yield), flavonoids and mucilages with an amount of 44.6 mg/g.

The extracts of the two plants have an important antioxidant activity *in vitro*, especially that of *Lavandula dentata* (IC<sub>50</sub> = 233.1µg/ml). The ethyl acetate fraction containing aglyconic flavonoid or mono-O-glycoside and partially di-O-glycoside flavonoids for *Lavandula dentata*, and that of the n-butanol containing the di-O-glycosides, tri-glycosides and C-glycosides flavonoids for *Linum usitatissimum*, appear to be the most effective in terms of antioxidant power.

The haemagglutination test demonstrated the immunostimulatory effect of *Linum usitatissimum* through its lectin richness.

**Key words :** *Lavandula dentata*, *Linum usitatissimum*, phytochemistry, antioxidant activity, immunostimulant.

## INTRODUCTION

Aujourd'hui, les plantes médicinales retrouvent leur place dans notre vie quotidienne. Ces plantes ont toujours occupé une place importante en médecine, dans la composition des parfums et dans les préparations culinaires. Leur efficacité et leur innocuité sont recherchées et intensément étudiées. En Afrique, jusqu'à 80% de la population utilise les plantes médicinales pour répondre à ses besoins de soins et de santé primaire (OMS, 2003). Les plantes synthétisent un grand nombre de substances chimiques appelés métabolites secondaire.

Les métabolites secondaires font l'objet de nombreuses recherches basées sur les cultures *in vivo* et *in vitro* de tissus végétaux. Ceci est notamment le cas des polyphénols des végétaux qui sont largement utilisés en thérapeutique comme vasculoprotecteurs, anti inflammatoires, inhibiteurs enzymatiques, antioxydants et antiradicalaires. Ils sont présents dans toutes les parties des végétaux supérieurs, et sont impliqués dans de nombreux processus physiologiques comme la croissance cellulaire, la rhizogenèse, la germination des graines ou la maturation des fruits. Les plus représentés sont les anthocyanes, les flavonoïdes et les tanins (Kanoun, 2011).

La richesse des plantes aromatiques et médicinales en composés chimiques tels que les sucres, les mucilages, les lipides, les protéines, les lectines, les huiles essentielles, ainsi qu'en métabolites secondaires, leur confère d'énormes propriétés biologiques tels que l'activité antioxydante à travers le piégeage des radicaux libres dans l'organisme, l'activité antimicrobienne, ainsi que des activités immunostimulantes qui renforcent et stimulent le système immunitaire.

Par sa position géographique et grâce à sa richesse écologique, climatique et édaphique, le Maroc recèle d'un patrimoine végétal important dans lequel les plantes aromatiques et médicinales (PAM) occupent une large place et jouent un grand rôle dans l'économie nationale. Faisant partie de cette panoplie des plantes aromatiques et médicinales marocaines les plus connues, les graines de lin et la lavande dentée sont très utilisées en médecine traditionnelle dans le Maroc, grâce à leurs bienfaits sur la santé humaine et leur richesse en biomolécules d'intérêt.

Actuellement, grâce au développement des méthodes d'extraction et des techniques d'analyses physico-chimiques et biologiques, les scientifiques se trouvent devant l'obligation de chercher de nouveaux moyens de lutte contre les infections et les maladies.

C'est dans ce contexte, que notre travail va s'inscrire vu l'implication de notre laboratoire (Molécules bioactives) dans cet axe de recherche. Il se veut une contribution à l'étude phytochimique et l'évaluation biologique de plantes médicinales appartenant à notre flore. Dans notre cas il s'agit de *Lavandula dentata* et *Linum usitatissimum*, dont on va essayer de faire le dosage de plusieurs principes actifs ainsi que tester l'activité antioxydante et phytohémagglutinante de ces plantes, justifiant ainsi scientifiquement leurs usage répandu dans notre pays.

Notre choix repose sur le fait que ces deux plantes médicinales sont d'une part douées d'activités biologiques et d'autre part ce sont des excellents accumulateurs de molécules de polyphénols.

# PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

## I-Données sur *Linum usitatissimum*

### 1-Généralités

Lin ou flax ou linseed, est une des plus anciennes plantes cultivées pour son huile et sa fibre. Le nom botanique, *Linum usitatissimum* a été donné par Linnaeus en 1857 dans son livre "Species Plantarum"(Cité par Jhalla et Hall, 2010). La figure 1 montre une plante fleurie de *Linum usitatissimum*.



Figure 1: Fleur bleue de *Linum usitatissimum* (Heli et al., 2007)

L'homme a utilisé le lin depuis plus de 30000 ans. La plante est originaire d'Asie, de l'Ouest et de la Méditerranée (Millam et al., 2005). Cette plante médicinale, cultivée comme source de fibre depuis au moins 5000 ans avant JC, est devenue principalement cultivée pour son huile (Oomah, 2001). Donc son nom latin « *Linum usitatissimum* » (lin de tous les usages) est amplement mérité.

C'est une plante rare à l'état spontané, elle est cultivée en qualité de plante textile ou oléagineuse en fonction de la variété considérée (Diederichsen et al., 2003). Dans le monde, il y a environ 10 000 lignées pures ou écotypes conservés dans des collections. Il y a plus de 200 variétés cultivées dans la liste de l'organisation du commerce et développement économique (OCDE), destinée au commerce international.

La production annuelle de lin est de 3,06 millions de tonnes. Le Canada est le plus grand producteur de lin, environ 38% de la production mondiale, suivie par la Chine, les Etats Unis, l'Inde et l'Union Européen (Jhalla et Hall, 2010).

### 2-La famille des *linaceae*

La famille des *Linaceae*, dans laquelle on peut citer le lin cultivé (genre *Linum*), est constituée de plantes dicotylédones, elle comprend une petite centaine d'espèces réparties en 8 à 15 genres. Ce sont des plantes herbacées, des arbustes et parfois des arbres. C'est une famille cosmopolite des zones froides à tropicales.

### 3-Place de *Linum usitatissimum* dans la systématique

C'est une plante qui appartient à la famille des Linaceae et au genre *Linum* (Bloedon et Szapary, 2004).

**Règne** : Plantae  
**Sous règne** : Tracheobionta  
**Division** : Magnoliophyta  
**Classe** : Magnoliopsida  
**Sous-classe** : Asteridae  
**Ordre** : Linales  
**Famille** : Linaceae  
**Genre** : *Linum*  
**Espèce** : *Linum usitatissimum* L.

### 4-Description botanique

- ❖ **Nom populaire** : Lin ou flax ou linseed
- ❖ **Nom latin** : *Linum usitatissimum* L.
- ❖ **Nom arabe** : Zerriat al kettane (زريعة الكتان)

Le lin est une plante annuelle, bisannuelle ou vivace, dicotylédone autogame d'une extrême finesse, assez peu profondément enracinée (racine pivotante) car le lin est arraché, il n'est pas fauché (Bernard, 2001).

Cette plante pousse à une hauteur maximale de 60 cm, aux formes élancées et des tiges très fibreuses, feuilles lancéolées ayant trois veines, jusqu'à 4 cm de long et 4 mm de large et ses fleurs bleu vif ont jusqu'à 3 cm de diamètre (Pradhan et al., 2010).

Les capsules de fruits sphériques contiennent deux graines dans chacune des cinq compartiments. La graine est plate et ovale avec une extrémité pointue (figure 2). Elle possède une surface lisse et brillante. Sa couleur varie du brun foncé au jaune. La texture de la graine de lin est croquante et moelleuse possédant un goût agréable de noisette (Carter, 1996).



Figure 2: Fruit et graine de lin (Heli et al., 2007).

## 5-Composition et molécules bioactives

La graine contient environ 40% de lipides, 30% de fibres alimentaires et 20% de protéines (Tableau I). Elle est riche en lipides, essentiellement des huiles insaturées : l'acide alphalinolenique (ALA) ou omega-3 (Annexe 1).

La composition chimique varie selon les variétés et dépend aussi des conditions de l'environnement dans lesquelles la plante est cultivée. Les cotylédons contiennent 75% de lipides, et 76% des protéines est trouvée dans les semences. L'endosperme contient seulement 23% des lipides et 16% de protéines (Oomah, 2003).

**Tableau I: Composition chimique (%) des grains de lin (Rubilar et al., 2010)**

Humidité	Protéine	Lipide	Fibre	Cendre	Références
7,4	23,4	45,2	-	3,5	Mueller et al (2010)
4-8	20-25	30-40	20-25	3-4	Coskuner et Karababa (2007)

L'huile de lin est composée de 73% d'acides gras polyinsaturés, de 18% d'acides gras monoinsaturés et seulement 9% d'acides gras saturés (Tableau II). Elle est également connue comme étant la source la plus riche en oméga-3 : l'acide alphalinolenique (ALA), qui comprend 55% des acides gras totaux (Annexe 2).

**Tableau II: Acides gras de l'huile de lin (Ganorkar et Jain, 2013)**

Paramètres	Pourcentage (%)
Acide Gras Saturé	9
AG Mono insaturé	18
Acide Linoléique (omega-6)	16
Acide $\alpha$ -Linolenique (omega-3)	57

## 6-Utilisation thérapeutique

Les acides gras polyinsaturés oméga-3 ont deux grands axes de valorisations:

- Le premier réside dans leur importance quantitative et leur rôle dans le cadre de la mise en place et du maintien de divers organes, surtout le cerveau.
- Le second réside dans la prévention de diverses pathologies et des maladies cardiovasculaires (Bloedon et Szapary, 2004).

L'huile de lin et les graines de lin sont redécouvertes comme de véritables aliments indispensables pour la santé. Le lin n'est pas un nouvel aliment, Il est en fait un des plus anciens et peut-être, un des aliments originaux «précieux en raison de ses propriétés de guérison », c'est une plante millénaire aux vertus médicinales (Halligudi, 2012).

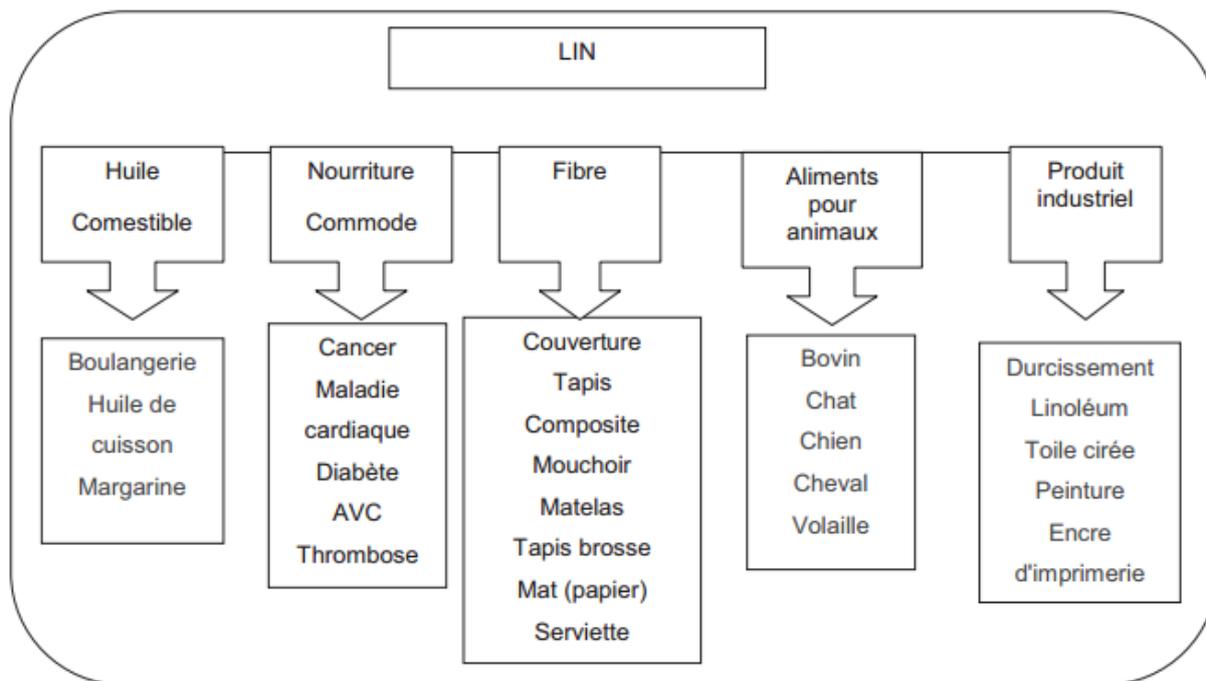


Figure 3: diagramme de l'utilisation du lin (Jhalla et Hall, 2010)

### 6.1-Utilisation des graines

En tant que polysaccharides qui gonflent en milieu humide ; Les mucilages de la graine de lin sont responsables de ses capacités laxatives et émoullientes citées dans de nombreux travaux.

Notamment en cas de constipation chronique sous forme concassée, ses graines absorbent les liquides intestinaux (Blumenthal et *al.*, 2000). Les mucilages favorisent le drainage du colon et contribuent à ramollir les selles et à faciliter leur évacuation. Aussi grâce aux mucilages, ses graines prodiguent un effet calmant et anti-inflammatoire réduisant l'irritation du colon dans des affections comme les colites, l'inflammation intestinale et les hémorroïdes (Iserin, 2001 ; Halligudi, 2012).

Le lin contient également des lignanes qui appartiennent à la famille des phytoœstrogènes ; ces lignanes sont douées des propriétés anti oxydantes et anticancéreuses (Thompson, 2003). L'ingestion de la graine comme prévention du cancer du sein, utérin, de la prostate et éventuellement une protection contre une récurrence (Halligudi, 2012).

La graine est également considérée comme efficace en cas de troubles respiratoires et urinaires (Iserin, 2001). Elle calme les douleurs pulmonaires et à un moindre degré l'irritation de l'appareil urinaire. Elle s'avère efficace contre la toux chronique ou aiguë, la bronchite, l'emphysème et la cystite chronique, également comme une prévention utile contre l'angine de poitrine, le rhume et l'artériosclérose. Ainsi pour réduire les taux de glycémie postprandiale et du cholestérol (Halligudi, 2012).

En usage externe, un cataplasme de graines concassées ou de farine de lin appliquée sur les furoncles et les anthrax, calme les ulcérations et draine le pus (Iserin, 2001). Dans le temps, les femmes bouillaient les graines de lin dans l'eau et utilisaient le lin sous forme de gel pour adoucir leurs cheveux (Halligudi, 2012).

Enfin, il est nécessaire de ne pas utiliser les graines de lin immatures car elles peuvent être toxiques (Iserin, 2001). La graine de lin contient également des facteurs antinutritionnels destinés à les défendre des oiseaux ; ces facteurs appartiennent à la famille des cyanogènes (Hermier et *al.*, 2004).

## 6.2-Usage de l'huile

L'huile de lin ou huile de graines de lin est une huile de couleur jaune d'or, tirée des graines mûres du lin cultivé, pressées à froid et/ou à chaud ; parfois elle est extraite par un solvant, en vue de l'usage industriel ou artistique, principalement comme siccatif, ou huile auto siccative en tant que mastic pour le calfatage et l'étanchéité. L'huile de lin est utilisée pour peindre et vernir, pour saturer la matière des ardoises, pour mettre au point le savon noir et pour protéger les pièces de monnaie de même que l'acier rouillé. Elle est imprègne et protège le bois à l'intérieur comme à l'extérieur : protection contre l'humidité, les champignons et les insectes et contre la poussière par son caractère antistatique. L'huile de lin a une texture qui va d'épaisse à liquide, sa teinte est claire (Bloedon et Szapary, 2004).

Elle est conseillée chez les personnes souffrant de sclérose en plaque ou de diabète. Elle a aussi un effet sur les systèmes hormonal et immunitaire. L'utilisation quotidienne d'huile de lin protège la membrane gastrique et urinaire. L'huile de lin convient aussi pour le visage, le corps (massages et soins corporels). En usage externe l'huile obtenue à partir des graines est reconnue pour ses propriétés adoucissantes et émoullientes. Elle protège et adoucit la peau irritée (Halligudi, 2012).

L'huile de graine de lin est également utilisée dans les régimes alimentaires pour animaux de compagnie, y compris les chiens, les chats et les chevaux. Les acides gras essentiels (Acide  $\alpha$ -Linoléique et Acide Linoléiques) présents dans les graines de lin contribuent à un pelage lustré, aident à prévenir la peau sèche et les pellicules et aussi aident à réduire les problèmes digestifs et de peau chez les animaux (Jhalla et Hall, 2010). Elle est employée aussi pour le traitement des cuirs, pour nourrir les sabots des chevaux (Bloedon et Szapary, 2004). L'huile de lin ne constitue pas une source intéressante d'apport en oméga-3, même si les huiles sont considérées comme anti-oxydées et conservées dans les emballages opaques à l'abri de la lumière ; elles seraient rapidement beta-oxydées une fois ingérées (Nelson et Chamberlain, 1995). Il faut noter que la même quantité d'huile de lin issue soit de graines extrudées

(cuisson modérée et action mécanique reproduisant les modes de préparations traditionnelles), soit du mélange tourteau et huile procure des effets contraires (hypercholestérolémiant pour le tourteau et l'huile ; hypocholestérolémiant pour la graine extrudée).

L'huile de lin a une activité antimicrobienne contre *Staphylococcus aureus* ; *Streptococcus agalactiae*, *Enterococcus faecalis*, *Micrococcus luteus*, *Bacillus subtilis* et *Candida albicans* (Kaithwas et al, 2011).

## **7-Effet sur les performances zootechniques**

La graine de lin cuite introduite en nutrition animale améliore les paramètres de santé et de fertilité animale. Des études cliniques montrent que son intérêt ne se limite pas à l'amélioration de l'état sanitaire des animaux, mais confère aux produits animaux consommés par l'homme une meilleure qualité nutritionnelle : viandes, beurre, lait, fromages et œufs (Renouard, 2011).

## **II-Données sur *Lavandula dentata***

### **1-La famille des *Lamiaceae***

Les espèces du genre *Lavandula* appartiennent à la famille des *Lamiaceae*. Cette dernière qui regroupe 7200 espèces réparties dans 236 genres se caractérise généralement par des plantes à tige quadrangulaire, aux feuilles opposées et décussées et au calice persistant entourant, à maturité, un tétrakène. La famille des *Lamiaceae* est subdivisée en 7 sous familles.

Les *Lamiaceae* sont réparties sur l'ensemble de la surface de la planète, bien qu'elles soient plus présentes en climats tempérés et surtout le pourtour méditerranéen (Gaby ,1988).

### **2-Le genre *Lavandula***

Généralement, les lavandes regroupent le plus souvent des plantes herbacées annuelles ou le plus souvent des arbustes ligneux, touffus et vivaces hauts de 40 à 80 cm à feuilles persistantes opposées qui peuvent être entières ou dentées (Baillere, 1984), largement répandues autour du monde mais particulièrement dans les régions tempérées et méditerranéennes.

La morphologie des feuilles dans le genre *Lavandula* est très variable. La structure de l'inflorescence est un caractère commun à l'ensemble des lavandes. Les fleurs de lavande sont organisées en une inflorescence mixte ressemblant à un épi de cymes appelé encore thyrses spiciforme. L'inflorescence principale ressemble donc à un épi plus ou moins lâche. L'inflorescence secondaire est une cyme (Guitton, 2010).

Actuellement, au sein du genre *Lavandula* on peut reconnaître 39 espèces différentes réparties en trois sous-genres *Fabricia*, *Sabaudia* et *Lavandula* et huit sections (Upson et Andrews 2004).

### 3-Place de *Lavandula dentata* dans la systématique

*Lavandula dentata* est classée dans le règne végétal selon la systématique suivante :

**Règne** : Plantae  
**Sous règne** : Tracheobionta  
**Division** : Magnoliophyta  
**Classe** : Magnoliopsida  
**Ordre** : Lamiales  
**Famille** : Lamiacées  
**Sous-famille** : Nepetoideae  
**Genre** : *Lavandula*  
**Espèce** : *Lavandula dentata* L.

### 4-Description botanique

- ❖ **Nom populaire** : Lavande dentée, lavande des Alpes, lavande anglaise ...
- ❖ **Nom latin** : *Lavandula dentata* L.
- ❖ **Nom arabe** : Khzama (الخبزامة)

*Lavandula dentata* est un pseudo arbuste qui forme des touffes avec des tiges quadrangulaires, ligneuses, feuilletées au fond et lattées sous les pointes florales. Les feuilles persistantes sont très étroites, avec des bords enroulés, dentés et crénelés.

La lavande se caractérise aussi par une abondante floraison bleu violet clair observée en saison printanière. Les fleurs et les bractées sont bleuâtres. La corolle monopétale est renversée, à tube plus long que calice et à limbe partagé en cinq lobes inégaux, arrondis, imparfaitement divisés en deux lèvres. Le fruit est tétrachène.

Cette chamaephyte se développe sur un sol rocheux et une garrigue des régions arides de la méditerranée ou du Sahara (Beloued, 1999). Elle se rencontre aussi au niveau de la végétation présente dans les littorales et les basses montagnes dans le Haut-Atlas, Anti-Atlas et le Rif.



**Figure 4: Sommité fleurie de *Lavandula dentata* (Upson, 2009)**

### **5-Composition chimique**

La production annuelle des huiles essentielles (HE) de la Lavande a été estimée à 462 tonnes (Lawrence, 1992). C'est pour cette raison que la détermination de la composition chimique de *Lavandula dentata* est plus spécifiée aux HEs présentes chez cette plante.

La composition de l'huile essentielle de *Lavandula dentata* varie plus au mois selon l'environnement d'une région à l'autre (Annexe 3). Les HE isolées sont des mélanges complexes d'hydrocarbures monoterpéniques, alcools, aldéhydes, cétones, époxydes, phénols et esters et sont caractérisées par la prédominance des hydrocarbures monoterpéniques (Bettaieb, 2017).

Ainsi le 1,8-cinéole (41,3%) et le sabinène (13,9%), le sabinol (6,8%) et le myrténique (5,1%) ont été les principaux constituants de l'huile *Lavandula dentata* du Maroc (Imelouane, 2009). De même, le 1,8-cinéole (33,5%), le camphre (18,9%) et le fenchone (8,4%) étaient des composants majeurs présents dans l'huile de *Lavandula dentata* en provenance de Tunisie (Touati, 2011). *Lavandula dentata* du Yémen avait des concentrations élevées de monoterpénoïdes oxygénés (51,8%), d'hydrocarbures de sesquiterpène (13,9%) et de sesquiterpénoïdes oxygénés (22,5%) (Mothana, 2012).

### **6-Usage de la lavande**

Les vertus thérapeutiques et les applications des lavandes et leurs huiles essentielles sont décrites dans des ouvrages depuis l'antiquité et le moyen âge.

L'infusé de la partie aérienne est utilisé contre les troubles digestifs, la lithiase rénale, les règles abondantes. C'est aussi une boisson tonifiante. Le décocté des feuilles est un réchauffant pour la femme après accouchement. Le décocté de la partie aérienne est utilisé

pour traiter les maux d'estomac, l'hépatite et l'infection microbienne. Les tisanes des sommités fleuries sont utilisées contre la toux, l'asthme, la cystite et le ballonnement.

La lavande est également employée en herboristerie, en aromathérapie et est considérée comme une plante médicinale pour l'action de son huile. En effet, celle-ci est utilisée pour soigner des plaies et brûlures superficielles et présente des effets sédatifs, antibactériens, antifongiques, antidépressifs (Cavanagh et Wilkinson 2002) et anti-inflammatoire (Sosa, Altinier et *al.*, 2005). Cette huile est utilisée aussi dans l'industrie de la lessive et de la savonnerie, ainsi qu'en parfumerie. Les propriétés médicinales et le parfum des huiles essentielles de lavandes sont principalement attribués aux composés organiques volatils de la famille des terpènes, surtout les monoterpènes et les sesquiterpènes qui donnent à la lavande son parfum caractéristique (Flores et *al.*, 2005) et à ces huiles leurs propriétés. La production d'essences aromatiques par cette plante a un grand intérêt économique (Guitton, 2010).

Dans la médecine populaire des pays arabes, les espèces de *Lavandula* ont été largement utilisées comme diurétiques, antiseptiques et pour les bronches pulmonaires (Ghazanfar, 1994). *Lavandula dentata* a été traditionnellement utilisé dans la médecine folklorique yéménite pour le traitement des plaies, carminatif et pour traiter les rhumatismes (Mothana et *al.*, 2009).

Au Maroc *Lavandula dentata* est largement utilisée en médecine traditionnelle pour guérir les coliques, les flatulences, les douleurs de la rate, les maux de tête, l'insomnie, la nervosité, le refroidissement, la fatigue, la bronchite, la grippe, les menstruations douloureuses, la tension, la fièvre et les infections (Mikou et *al.*, 2015).

### **III-Composés phénoliques**

#### **1-Le métabolisme secondaire**

La plante est le siège d'une intense activité métabolique aboutissant à la synthèse de principes actifs les plus divers. Ce processus métabolique est lié aux conditions mêmes de vie de la plante qui doit s'engager dans la concurrence pour les éléments nutritifs et faire face à de multiples agressions de l'environnement dans lequel elle vit : prédateurs, microorganismes pathogènes, etc. On conçoit donc que la plante puisse développer un métabolisme particulier autre que le métabolisme primaire (glucides, protéines et lipides) lui permettant de synthétiser diverses substances pour s'adapter et se défendre : les métabolites secondaires.

Actuellement plus de 100000 métabolites secondaire ont été identifiés, ils appartiennent à trois classes principales qui sont les terpènes (un groupe des lipides), les alcaloïdes (dérivés d'acides aminés), et les composés phénoliques (dérivés de glucides) (Benamor, 2008).

## 2- Les polyphénols

### 2.1- Généralités

Les polyphénols constituent une famille de molécules très largement répandues dans le règne végétal. On les trouve dans les plantes, depuis les racines jusqu'aux fruits. Les Polyphénols sont des métabolites secondaires, ce qui signifie qu'ils n'exercent pas de fonctions directes au niveau des activités fondamentales de l'organisme végétal, comme la croissance, ou la reproduction. Ils sont présents dans les vacuoles des tissus, participent aux réactions de défense face à différents stress biotiques ou abiotiques (pathogènes, rayonnements UV...). L'expression (composés phénoliques) est utilisée pour toutes substances chimiques possédant dans sa structure un noyau aromatique, portant un ou plusieurs groupements hydroxyles (Skoula, 1996).

Un nombre considérable de ces composés sont formés de deux noyaux benzéniques A et B reliés par un hétérocycle de type pyrane. Ces composés diffèrent les uns des autres par la position des substitutions sur les noyaux A et B, par la nature de l'élément central et par la composition, la nature et le nombre de molécules de sucre fixées ainsi que par la nature de la liaison hétérosidique (Nkhili, 2009).

Les Polyphénols sont des produits de la condensation de molécules d'acétylcoenzyme A et de phénylalanine. Cette biosynthèse a permis la formation d'une grande diversité de molécules qui sont spécifiques d'une espèce de plante, d'un organe ou d'un tissu (Figure5).

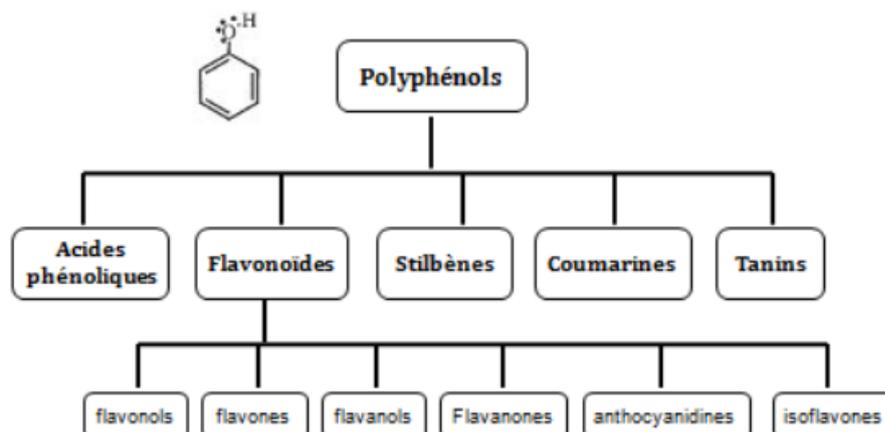


Figure 5: Classification des polyphénols (Macheix et al., 2006)

Les composés phénoliques (acides phénoliques, tanins et flavonoïdes) forment le groupe des composés phytochimiques le plus important des plantes (Beta et al., 2005). Deux grands groupes de polyphénols feront l'objet des prochains paragraphes, les tanins et les flavonoïdes.

## 2.2-Propriétés biologiques des polyphénols

Les recherches récentes sur les composés phénoliques en général et les flavonoïdes en particulier sont très poussées en raison de leurs diverses propriétés physiologiques, ils sont doués d'activité antiallergique, anti-inflammatoire, hépatoprotective, antimicrobienne, antivirale, antibactérienne, anticarcinogénique, anti-thrombotique, cardioprotective et vasodilatatoire (Ksouri *et al.*, 2007) (Figure 6).

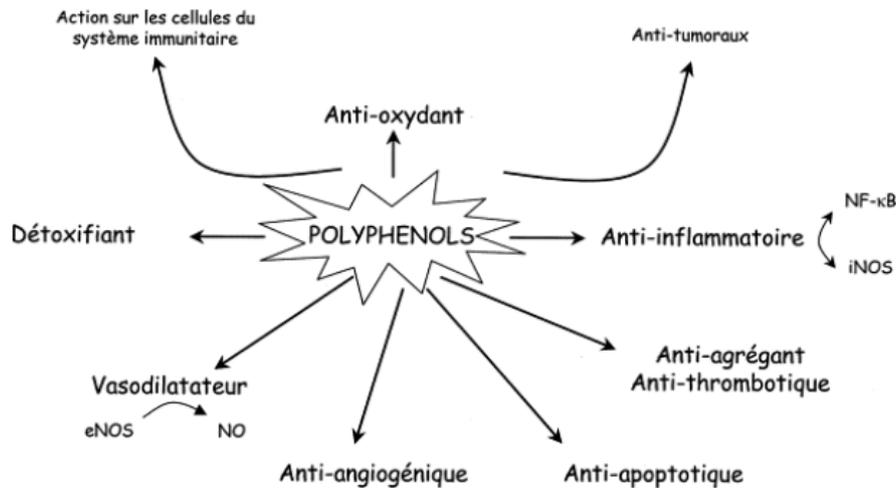


Figure 6: Activités biologiques des polyphénols

## 3-Les flavonoïdes

### 3.1-Généralités

Le nom flavonoïde est dérivé du mot grec «*FLAVUS*» qui veut dire jaune. Les flavonoïdes sont des constituants caractéristiques du règne végétal chlorophyllien, à l'exception des algues. Ils sont responsables de la coloration des fleurs, des fruits et parfois des feuilles (Nkhili, 2009).

Les flavonoïdes sont des dérivés du noyau flavone ou 2-phenyl chromone portant des fonctions phénols libres, éthers ou glycosides. Le noyau flavone est lui même un dérivé du noyau flavane de base (Figure7).

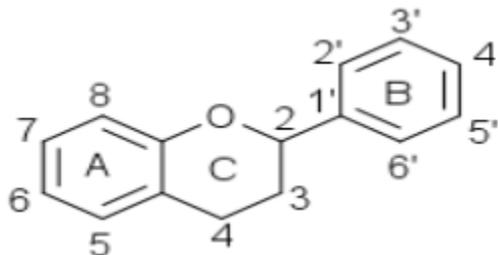


Figure 7: Structure de base des flavonoïdes

Les flavonoïdes sont donc des polyphénols complexes dont la structure est constituée de deux noyaux aromatiques (noyaux A et B) et d'un hétérocycle oxygéné (cycle C) (Benguerba, 2008).

Les flavonoïdes représentent une très large gamme de composés naturels appartenant à la famille des polyphénols. Ils sont considérés comme des pigments quasi universels des végétaux. Structuralement, les flavonoïdes se répartissent en plusieurs classes, dont les plus importantes sont les flavones, les flavonols, les flavanones, les dihydroflavonols, les isoflavones, les isoflavanones, les chalcones, les aurones, les anthocyanes et les tanins.

Ces divers composés se rencontrent à la fois sous forme libre ou sous forme de glycosides. On les trouve, d'une manière très générale, dans toutes les plantes vasculaires, où ils peuvent être localisés dans divers organes : racines, tiges, bois, feuilles, fleurs et fruits (Middleton, 1993).

### 3.2-Biosynthèse

De nos jours, plus de 4000 flavonoïdes ont été identifiés. Ils ont une origine biosynthétique commune et par conséquent, possèdent tous un même squelette de base à quinze atomes de carbone, constitué de deux unités aromatiques, deux cycles en C<sub>6</sub> (A et B), reliés par une chaîne en C<sub>3</sub> (Bruneton, 1999) (Figure 8).

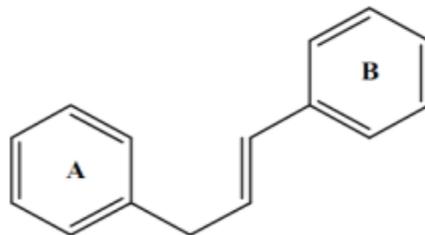
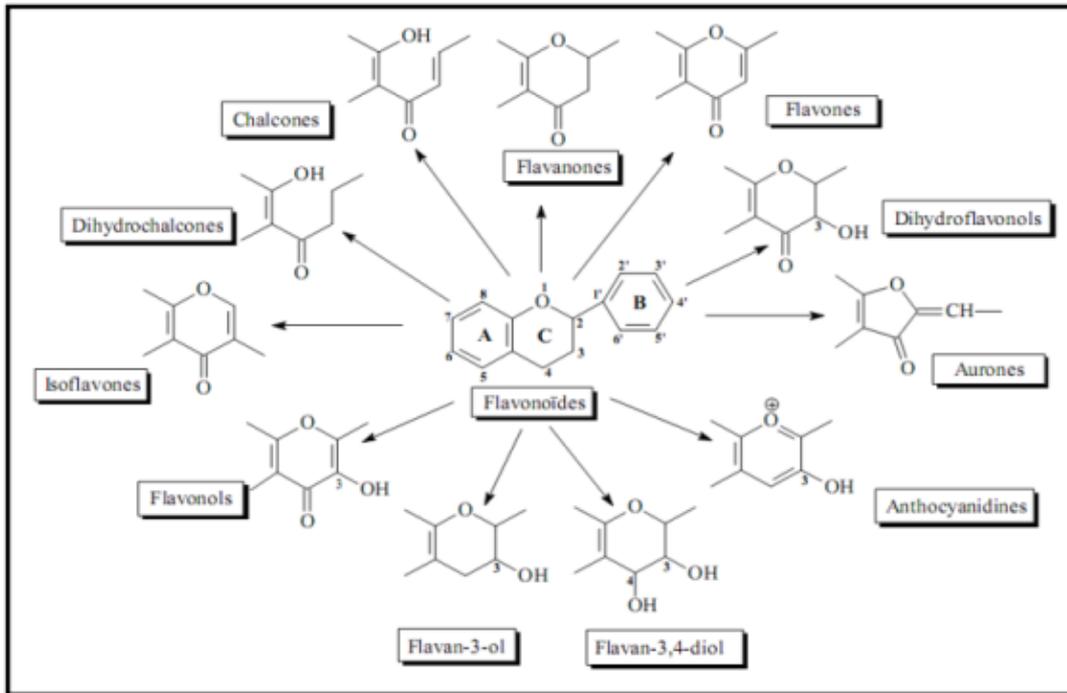


Figure 8: Squelette de base des flavonoïdes

### 3.3-Sous-classes des flavonoïdes

Selon les modifications du cycle-C<sub>3</sub> les flavonoïdes peuvent être divisés en différentes classes structurales tels que les flavonols, les flavones, les isoflavones, les flavanones, les flavanols, les catéchines et les anthocyanidines (Bovy et al., 2007) (Figure 9).



**Figure 9: Représentation des principales classes et sous-groupes des flavonoïdes au niveau de l'hétérocycle C.**

### 3.4-Rôle dans les plantes et intérêt pharmacologique

Les flavonoïdes ont suscité l'intérêt scientifique depuis plusieurs décennies. D'abord à cause de leur importance dans la physiologie des plantes et de leurs rôles dans la pigmentation, mais aussi parce qu'ils sont impliqués dans la croissance et la reproduction des plantes (Rodolphe et *al.*, 2004). Ils ont également pour fonction de protéger ces dernières contre les pathogènes d'origine virale ou bactérienne, les prédateurs comme les insectes (Quezel et Santa, 1963). Ainsi que la protection contre les rayons ultraviolets (UV).

Les flavonoïdes sont connus pour de remarquables activités pharmaco-biologiques. De nombreux travaux semblent indiquer qu'ils possèdent des propriétés antioxydantes, anti inflammatoires, antitumorales (spécialement lorsqu'ils sont utilisés conjointement avec d'autres agents chimiothérapeutiques), antiviraux, antibactériens et antiallergiques.

En effet, ils sont capables d'inactiver et de stabiliser les radicaux libres grâce à leur groupement hydroxyle fortement réactif. Ils inhibent aussi l'oxydation du cholestérol LDL et, de ce fait, peuvent prévenir l'athérosclérose et diminuer les risques de maladies cardiovasculaires (Merghem, 2009).

## 4- Les tanins

### 4.1-Généralités

Les tanins sont des composés phénoliques complexes, hydrosolubles ayant un poids moléculaire compris entre 500 et 3000 Da. Tous les organes végétaux peuvent en renfermer (l'écorce, le bois, les feuilles, les fruits, les racines, les grains) (Khanbaba et Ree, 2001).

Ils représentent un groupe hétérogène assez difficile à définir de façon rigoureuse et concise car il n'y a pas de structure chimique de base. Leurs structures chimiques sont en effet variées et rassemblées en familles en fonction d'activités communes.

Leur structure chimique leur confère une capacité très développée de se fixer sur des molécules telles que les alcaloïdes, la gélatine, les polysaccharides, et essentiellement les protéines (Mahmoudi, 1982).

Les tanins sont synthétisés à partir de la phénylalanine par la voie dite de l'acide shikimique (Swain, 1979).

### 4.2-Classification des tanins

Sur la base de leur caractéristique structurale, il est possible de diviser les tanins en 2 groupes, les tanins hydrolysables et les tanins condensés :

➤ **Les tanins condensés:** ce sont des oligomères ou des polymères de flavanes- 3 ol dérivés de la (+) catéchine ou de ses nombreux isomères (La zerat, 2009). Ils sont aussi désignés aussi sous le nom de « tanins catéchiques » et ne sont hydrolysables que dans des conditions fortement acides.

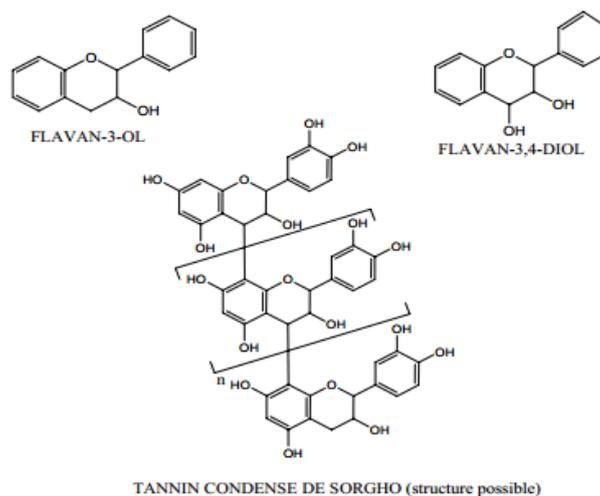
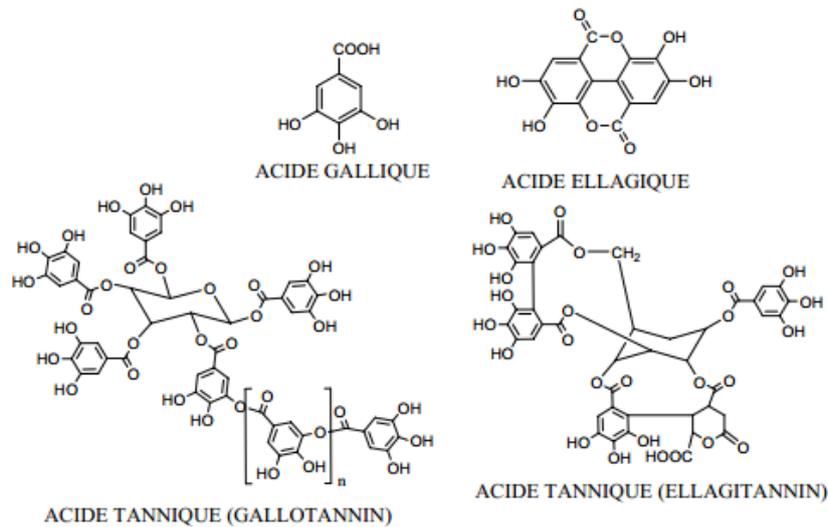


Figure 10: Structure des tanins condensés (Peronny, 2005).

➤ **Les tanins hydrolysables:** ce sont des esters de glucose et d'acide gallique Ils sont d'abord caractérisés par le fait qu'ils peuvent être dégradés par l'hydrolyse chimique (enzymatique). Ils libèrent alors une partie non phénolique (Souvent du glucose) et une

partie phénolique qui peut être soit de l'acide gallique, Soit un dimère de ce même acide – l'acide ellagique (Mahmoudi, 1982).



**Figure 11: Structure des tanins hydrolysables et des acides associés (Peronny, 2005).**

#### 4.3-Rôle et utilisation des tanins

Les tanins sont d'efficaces moyens de défense contre les herbivores, mais on suppose que leur rôle majeur dans l'évolution était de protéger les plantes contre les attaques fongiques et bactériennes (Swain, 1979). Cela est soutenu par le fait que la plus forte concentration de tannin dans les angiospermes et gymnospermes actuels se trouve dans l'écorce des arbres. Les feuilles de ces derniers contiennent de moindres quantités de tanins, bien que leur concentration augmente avec le temps.

Du point de vue plan biologique, Les tanins sont des molécules douées d'activités pharmacologiques remarquables avec des effets signifiants sur la santé humaine. Grâce à leurs capacités anti-oxydantes, ils ont la particularité d'inhiber la peroxydation des lipides, en agissant comme donneurs de protons et accepteurs de radicaux libres, stoppant ainsi le mécanisme d'autres oxydations.

Les tanins ont de grandes capacités anti-oxydantes dues à leurs noyaux phénol. Du fait que l'efficacité anti-oxydative des polyphénols dépend de leur structure chimique : les tanins hydrolysables et condensés sont 15 à 30 fois plus efficaces que les phénols simples. Ainsi le comportement alimentaire à travers la consommation de plantes à tanins peut influencer le parasitisme intestinal (action antiparasitaire). De nombreuses études ont montré l'effet antimicrobien des tanins sur différents bactéries, virus et champignons (Peronny, 2005).

Les tanins condensés ont la propriété de coaguler les protéines du derme, d'où leur utilisation dans le tannage des peaux.

## IV-Activité antioxydante

### 1-Le stress oxydant

L'oxygène est indispensable à la vie des organismes aérobies où les mitochondries, de la cellule, qui en utilisent la majeure partie comme substrat de la chaîne respiratoire pour la production de l'énergie sous forme d'ATP. Ce métabolisme induit la production d'espèces réactives dérivées de l'oxygène (ERO) et de l'azote (ERA) en équilibre avec les systèmes antioxydants (Roede et Jones, 2010).

Le stress oxydant est défini comme étant le résultat d'un déséquilibre entre la production de composés pro-oxydants et leur élimination. C'est un déséquilibre de la balance oxydants/antioxydants en faveur des oxydants, entraînant des dommages cellulaires (Atamer et *al.*, 2008).

### 2-Notion de radicaux libres et d'antioxydants

Un radical libre est une espèce chimique possédant un électron célibataire sur sa couche périphérique. Dans les phénomènes de stress oxydant, les radicaux libres qui interviennent ont une propriété caractéristique commune, celle d'avoir un électron célibataire sur un atome d'oxygène. Ceci leur confère la dénomination d'espèces réactives de l'oxygène (ERO ou ROS) ou de l'azote (ERA ou RNS) (Serteyn 2002).

**Tableau III: Les principales espèces ERO et ERA générées dans les systèmes biologiques (Bartosz, 2003)**

Nom	Symbole
Anion superoxyde	$O_2\cdot^-$
Radical hydroxyle	$OH\cdot$
Monoxyde d'azote	$NO\cdot$
Peroxyde d'hydrogène	$H_2O_2$
Acide hypochlorique	$HOCl$
Oxygène singulet	$^1O_2$
Peroxynitrite	$ONOO^-$
Radical alcoxy	$RO$
Radical peroxy	$ROO^-$

L'excès de production de ces radicaux libres entraîne des conséquences cytotoxiques et des lésions tissulaires par dégradation des protéines, altération de l'ADN, des glucides et surtout des lipides constitutifs des membranes (Cadet et *al.*, 2002).

L'organisme humain pour se défendre possède des agents neutralisant les radicaux libres qui sont les enzymes et les vitamines "anti-oxydantes" (C, E, A) (Bruneton, 1999).

Des substances végétales bio-synthétisées comme les pigments végétaux et les huiles essentielles ont, également un effet protecteur neutralisant les radicaux libres.

Un antioxydant est toute substance capable de retarder ou d'inhiber l'oxydation des substrats biologiques. Ce sont des composés qui réagissent avec les radicaux libres et les rendent ainsi inoffensifs (Vansant, 2004).

### **3-Définition de l'activité antioxydante**

L'activité antioxydante consiste en l'inhibition de réactions en chaîne de production de radicaux libres et limitant ainsi leur action. Ceci à travers le piégeage direct des espèces réactives de l'oxygène (ERO), La suppression de la formation des ERO par l'inhibition de quelques enzymes ou par chélation des ions métalliques, impliqués dans leur production. Cette propriété se retrouve souvent dans les familles polyphénoliques.

## **V-Activité hémagglutinante des lectines des plantes**

### **1-Plantes et effets immunostimulants**

Les immunostimulants tendent à renforcer les défenses immunitaires naturelles lorsqu'elles sont insuffisantes ou déprimées, en l'occurrence dans la lutte contre le SIDA, la réponse aux vaccins, la résistance aux infections et dans certaines formes de cancers. Ces molécules agissent sur différents types de cellules impliquées dans le système immunitaire à savoir les macrophages, les lymphocytes B et T et sur les cellules NK.

Plusieurs plants, dans les travaux de recherche, ont manifesté un effet immunostimulant remarquable. A ce propos on peut signaler l'extrait de racines de la plante *Eleutherococcus senticosus* de la famille des Araliacées qui a montré un effet immunomodulateur marqué chez des personnes ayant pris un extrait d'*éleuthérocoque* (Bohn et al., 1997). D'autre part les chercheurs pensent que quelques préparations de la pharmacopée chinoise à partir de la racine de l'astragale (*Astragalus membranaceus*) de la famille des Fabacées, peut permettre au corps de fabriquer de l'interféron, ce qui permettrait d'accroître les taux d'anticorps dans les sécrétions nasales (Upton et al., 1999). Il semble aussi que cette plante ait le pouvoir de rétablir l'activité des lymphocytes T chez les cancéreux, chez qui cette fonction immunitaire est supprimée (Sun, 1983).

D'autres substances chez les plantes possèdent également des propriétés immunostimulantes en particulier, les lectines qui sont des protéines aux effets mitogènes sur les cellules du système immunitaire.

## 2- Les lectines

### 2.1-Définition

Les lectines sont des protéines d'origine non immunitaire capables de reconnaître des glucides complexes de manière spécifique et réversible. Ces protéines ne montrent aucune activité enzymatique vis-à-vis de leur ligand (Lis and Sharon, 1998).

Les lectines initialement connues sous le nom d'hémagglutinines, sont des protéines qui possèdent la propriété d'agglutiner les globules rouges du sang, cette faculté s'explique par leur capacité d'établir des liaisons croisées avec les résidus glucidiques de plusieurs globules rouges. Cette caractéristique très importante des lectines est due au fait que ces protéines sont généralement multivalentes, car elles possèdent au moins deux sites de reconnaissance par molécule, ce qui permet d'expliquer pourquoi elles vont précipiter des polysaccharides, des glycoprotéines ou des glycolipides et induire l'agglutination de cellules diverses (Liener *et al.*, 1986).

Les lectines sont relativement petites, leurs masses moléculaires étant comprises entre 50 et 120 KD, Ubiquitaires qui se trouvent chez toutes les classes d'organismes vivants (animaux, végétaux, bactéries et champignons).

Chez les plantes on peut les extraire de différentes parties, surtout les graines et les racines où elles sont très répandues.

### 2.2-Classes des lectines

En 1980, les études de biochimie structurale ont mis en évidence l'oligomérisation des lectines. Certaines sous-unités sont responsables de la reconnaissance glycanique et d'autres ont une activité catalytique cytotoxique. Ces avancées scientifiques ont permis de commencer à classer les lectines selon leur structure quaternaire (Van Damme *et al.*, 1998) :

- ❖ Les mérolectines (monovalentes et donc non agglutinantes).
- ❖ Les hololectines (di ou multivalentes, concernent la plupart des lectines végétales).
- ❖ Les chimérolectines (protéine de fusion ayant une activité de reconnaissance glycanique et une activité cytotoxique).
- ❖ Les superlectines (oligomères polyspécifiques constitués de plus de quatre monomères).

La banque de lectines comprend ainsi 48 familles structurales différentes dont 6 d'origine végétale, 10 d'origine bactérienne, 18 d'origine animale, 5 d'origine virale, 8 d'origine fongique et 1 de la famille d'algues (Tableau IV) (Aragão, 2008).

**Tableau IV: Récapitulatif des structures tridimensionnelles des lectines.**

<b>Origine</b>	<b>Exemple de lectines</b>	<b>Native</b>	<b>Complexé</b>	<b>total</b>
<b>Plantes</b>	Concanavoline A Ricine	106	201	<b>307</b>
<b>Bacteries</b>	PA-IL de pseudomonas toxine de cholera	37	79	<b>116</b>
<b>Animaux</b>	E-selectin Helix pomatia agglutinin	80	152	<b>232</b>
<b>Virus</b>	Hemagglutinin de virus	43	25	<b>68</b>
<b>Champignons</b>	Lectine de mousseron	17	23	<b>40</b>
<b>Algues</b>	Griffithsin	2	7	<b>9</b>
<b>Total</b>		285	487	<b>772</b>

### **2.3-Rôle et intérêt pour l'homme**

Les lectines jouent des rôles clé dans une multitude de processus de reconnaissance moléculaire et de signalisation cellulaire :

- Chez les animaux les lectines semblent impliquées dans plusieurs processus à savoir l'adhésion des lymphocytes sur la paroi interne des vaisseaux sanguins, la reconnaissance entre la spermadhesine du spermatozoïde et un glycoconjugué des ovocytes...
- Les lectines bactériennes peuvent contribuer à la virulence de la bactérie elle-même et contribuent à son adhésion sur les cellules hôtes.
- Le rôle des lectines des plantes est probablement la défense contre les phytopathogènes (Aragão, 2008).

Les lectines peuvent interagir avec des systèmes biologiques et développer une diversité d'événements et fonctions dans ses organismes vivants. Ces interactions ont une grande importance car elles se retrouvent impliquées dans des processus biologiques ainsi que dans des processus pathologiques (Lis and Sharon, 1998). Aujourd'hui les lectines sont largement utilisées comme outils dans la recherche et dans le secteur biomédical :

- De par leur spécificité, les lectines immobilisées sur colonne peuvent être utilisées pour l'identification, la purification de glycoconjugués aussi bien que pour leur caractérisation.
- Certaines lectines reconnaissent spécifiquement les antigènes des groupes sanguins humains et sont utilisées pour leur identification dans des banques de sang.

- Certaines lectines purifiées à partir des graines de légumineuses tropicales présentent des propriétés anti-inflammatoires.
- Certaines lectines purifiées à partir d'invertébrés terrestres ou marins sont employées comme marqueurs histo-chimiques puisque certaines maladies tel le cancer sont associées à une modification des glycannes présents sur les cellules (Aragão, 2008).

# MATERIEL ET METHODES

## I-Matériau végétal

Le matériau végétal utilisé dans notre étude est originaire des alentours de la ville de Fès (Maroc), il est représenté par : les sommités fleuries séchées de *Lavandula dentata*, et les graines de *Linum usitatissimum*, qui sont achetés auprès d'un herboriste de la ville de Fès. Les parties choisies de chaque plante sont les plus utilisées en médecine traditionnelle dans la région ce qui explique notre choix.



Figure 12: Boutons floraux *Lavandula dentata*



Figure 13: Graines *Linum usitatissimum*

Une partie de chaque drogue végétale est broyée à l'aide d'un broyeur électrique afin d'être utilisée par la suite. Ensuite la poudre obtenue ainsi que la drogue végétale ont été conservées dans des flacons à l'abri de la lumière jusqu'à leur utilisation.

## II-Méthodes expérimentales

### 1-Pureté de la drogue végétale

La pureté de la drogue végétale consiste à rechercher les éléments étrangers et les parties étrangères par rapport à la drogue étudiée.

Donc pour évaluer le pourcentage des éléments étrangers, une prise d'essai de 5g de chacune des deux drogues étudiées est débarrassée de tout élément étranger, ces derniers sont ensuite pesés pour déterminer leur pourcentage par la formule suivante :

$$\% \text{ des éléments étrangers} = (m/M) \times 100$$

m : masse (en g) des éléments étrangers.

M : masse (en g) de la prise d'essai au départ de la drogue végétale.

### 2-Teneur en eau et perte à la dessiccation

Afin de déterminer les taux de pertes pour avoir une idée sur le séchage et la possibilité de conservation, une prise d'essai de 1g exactement pesée de chaque drogue végétale est séchée dans une étuve réglée à une température de 100-105°C, pendant 2 heures.

La teneur en eau est déterminée selon la formule suivante :

$$H(\%) = [(m_1 - m_2) / m_1] \times 100$$

H(%) : teneur en eau (humidité).

m<sub>1</sub> : masse (en g) de la prise d'essai avant séchage.

m<sub>2</sub> : masse (en g) de la prise d'essai après séchage.

### 3-Extraction des mucilages

L'extraction est faite selon le protocole décrit par (Ameena et al., 2010). 5g de graines de *Linum usitatissimum* et des sommités fleuries de *Lavandula dentata* est mise à macération dans 50ml d'eau distillée pendant 6h. Le mélange est porté par la suite à ébullition pendant 30min et mis à repos pendant une heure pour la libération complète de mucilages. Il est par la suite filtré sur un tissu en mousseline.

L'acétone (3 fois le volume du filtrat) est ajoutée au filtrat pour précipiter les mucilages. Après centrifugation, les mucilages séparés du surnageant sont passés au four pour être séchés à une température de 45°C. Recueillis en poudre par la suite et pesés pour calculer le rendement, avant d'être stockés au réfrigérateur.

Le rendement des mucilages est calculé par la formule suivante :

$$\text{Rendement (\%)} = (m_m / M_v) \times 100$$

M<sub>m</sub> : masse (en g) des mucilages obtenus.

M<sub>v</sub> : masse (en g) de la matière végétale de départ.

### 4-Extraction et dosage des sucres totaux

#### 4.1-Extraction

L'extraction ainsi que le dosage des sucres sont effectués selon le protocole adapté de (Oomah et al., 1995).

1g de poudre végétale est mise à macération dans 50ml d'eau distillée à 85°C pendant 2h. Le mélange est ensuite centrifugé à 4000 rpm pendant 10min. enfin on récupère le surnageant qui contient le mélange des sucres totaux à doser.

#### 4.2-Dosage

Le dosage est réalisé à partir de 0.5ml de surnageant récupéré auquel est ajouté 0.5ml de solution aqueuse de phénol à 5% et 2ml d'acide sulfurique concentré à 98%. Après homogénéisation au vortex, les tubes sont placés au bain-marie à 90°C pendant 5min. Les tubes sont ensuite conservés à l'obscurité 30 min pour refroidir le mélange avant lecture de l'absorbance de la solution au spectrophotomètre à 492nm. Le blanc est constitué de 0.5ml d'eau distillée auquel tous les réactifs du dosage ont été ajoutés.

La quantification des sucres totaux est réalisée par une gamme d'étalonnage externe préparée à partir d'une solution mère de glucose et qui s'étend de 5µg/ml à 100 µg/ml.

## 5-Extraction des huiles fixes

20g de chacune des deux poudres étudiées est mise à macérer dans 100ml de chloroforme sous agitation pendant une heure à température ambiante. Le mélange est ensuite filtré, et le filtrat est évaporé à 60°C dans l'étuve pour récupérer les huiles fixes.

$$R\% \text{ (ml/100g)} = [(V/ms) \times 100]$$

R% (ml/100g) : rendement en huiles fixes exprimé en ml/100g

ms : masse (en g) de la plante à l'état sec

V : volume récupéré de l'huile (en ml)

## 6-Extraction des huiles essentielles

Le principe de cette méthode consiste à exploiter la volatilité des constituants de l'huile essentielle (HE).

L'extraction des huiles essentielles à partir du matériel végétal choisi est réalisée par hydrodistillation à l'aide d'un appareil de type Clevenger durant 3 heures à raison de 150 g du matériel végétal (*Lavandula dentata* et *Linum usitatissimum*) pour 500 ml d'eau distillée. Les huiles essentielles récupérées sont stockées à une température de 4°C à l'abri de la lumière. Le rendement est calculé selon la formule suivante :

$$R\% \text{ (ml/100g)} = [(V/ms) \times 100]$$

R% (ml/100g) : rendement en huiles essentielles exprimé en ml/100g

ms : masse (en g) de la plante à l'état sec

V : volume récupéré de l'huile essentielle (en ml)

## 7-Dosage des polyphénols et tanins

### 7.1-Extraction

La qualité alimentaire ou thérapeutique d'un extrait naturel est liée à l'efficacité et à la sélectivité du procédé d'extraction utilisé. D'après plusieurs travaux effectués l'éthanol est parmi les solvants les plus employés pour extraire les polyphénols.

1g de chacune des deux poudres végétales est mise à macérer dans 10ml d'éthanol 50 % (solution hydro alcoolique). Le mélange est maintenu sous agitation pendant une nuit. L'extrait est par la suite centrifugé à 5000 rpm pendant 5min. Deux phases ont été séparées. A l'aide d'une micropipette on aspire le surnageant qui contient les composés phénoliques.

Les extraits obtenus seront utilisés pour le dosage des polyphénols et des tanins.

## 7.2-Dosage des polyphénols

Le principe du dosage repose sur la méthode utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu, ce réactif de couleur jaune au départ est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et d'acide phosphomolybdique ( $H_3PMo_{12}O_{40}$ ). L'oxydation des phénols réduit ce réactif en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène. L'intensité de la couleur est proportionnelle au taux de composés phénoliques oxydés dans l'extrait végétal (Ghazi et Sahraoui, 2005).

Le protocole utilisé est celui de (Marigo, 1973) : Après avoir effectué des dilutions de 1/10 pour *Linum usitatissimum* et 1/50 pour *Lavandula dentata*, 0,5ml de chacun des deux extraits dilués est ajouté à 3ml d'eau distillée et 0,5ml de  $Na_2CO_3$  20%. L'ensemble est mélangé au vortex et 0,5ml de réactif de Folin-Ciocalteu est ajouté après 3min. Les tubes sont placés dans une étuve à 40°C pendant 30min. L'absorbance est lue par la suite à 760nm.

La teneur en composés phénoliques, est déterminée grâce à une gamme étalon d'acide gallique effectuée dans les mêmes conditions. Cette gamme est effectuée à partir d'une solution d'acide gallique de 1g/l, à partir duquel on prépare les dilutions suivantes 100mg/l, 50mg/l, 25mg/l, 12,5mg/l et 6,25mg/l.

Les résultats obtenus représentent une moyenne de 9 valeurs correspondant à 3 extractions et 3 dosages.

## 7.3-Dosage des tanins condensés

Il est basé sur la propriété que les tanins se transforment en anthocyanes par chauffage en milieu acide (Ribereau et Stronestreet, 1975).

Sur deux séries de tubes, on met 3 ml de l'extrait éthanolique auquel on rajoute 3 ml de HCl concentré. Pour la série 1, les tubes sont placés dans le bain marie à 100°C pendant 30 minutes, suivis d'un refroidissement rapide sous un jet d'eau ; et pour la série 2, les tubes sont maintenus à température ambiante. Sur les deux séries, on rajoute 0.5ml d'éthanol concentré, la lecture est réalisée au spectrophotomètre à 550 nm. Les calculs sont rapportés à la relation suivante:

$$\text{Teneur en tanins condensés (g/l)} = (DO1 - DO2) \times 19.33$$

DO1 : densité optique des tubes de la série 1.

DO2 : densité optique des tubes de la série 2.

## 8-Dosage des flavonoïdes

### 8.1-Extraction

Cette étape consiste à extraire le maximum de molécules polyphénoliques (flavonoïdes) contenues dans les parties aériennes de la plante en utilisant des solvants organiques qui accélèrent et augmentent le rendement d'extraction. Pour une plus haute récupération de flavonoïdes (polyphénols), le méthanol est le solvant approprié (Falleh et *al.*, 2008).

Les extraits méthanoliques des deux plantes étudiées (*Lavandula dentata* et *Linum usitatissimum*) ont été préparés à partir de 1g de poudre végétale qui est mélangée avec 90ml de méthanol. Après agitation pendant 10 min le mélange est chauffé à reflux pendant 50 min. Ensuite la solution est filtrée sur papier filtre sous vide. Le filtrat est complété jusqu'à 100ml avec du méthanol pour constituer finalement l'extrait méthanolique.

De cet extrait méthanolique, on a prélevé 1ml et on a complété jusqu'à 10ml avec de l'eau distillée pour avoir la solution mère qui sera utilisée pour le dosage des flavonoïdes.

Le reste de notre extrait méthanolique est concentré sous vide à l'aide d'un évaporateur rotatif, à une température de 40°C. Le résidu obtenu est récupéré avec 10ml de méthanol et conservé au congélateur jusqu'à son utilisation pour l'activité antioxydante (Figure 14).

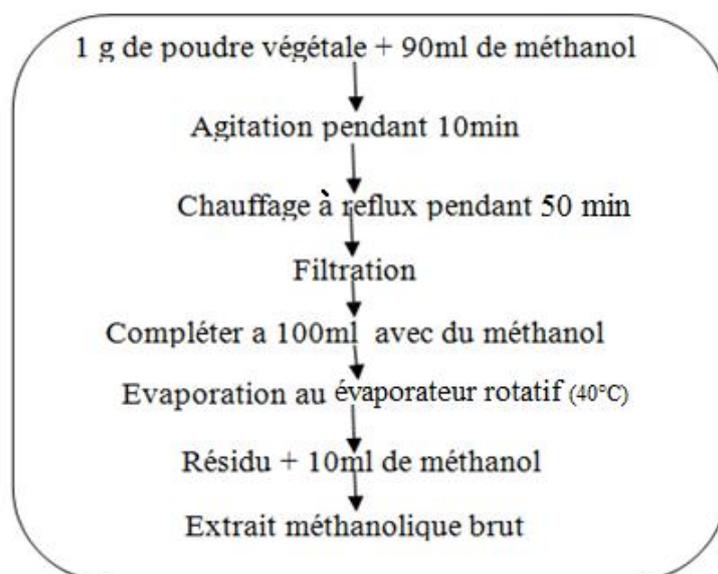


Figure 14: protocole de préparation de l'extrait méthanolique

### 8.2-Dosage

Le dosage des flavonoïdes est effectué selon la méthode de trichlorure d'aluminium ( $\text{AlCl}_3$ ) (Bahorum, 1996). A 2ml de la solution mère préparée à partir de chaque extrait des deux plantes étudiées on ajoute 2ml de la solution d' $\text{AlCl}_3$  à 20g/L (préparée dans le méthanol).

Après 15 minutes d'incubation, l'absorbance est effectuée à 425nm contre un blanc (solution de compensation) qui ne contient que 2ml de la solution mère + 2ml de méthanol.

Le calcul de la teneur en flavonoïdes totaux exprimés en rutoside et en quercitine se fait à l'aide de deux gammes étalon :

- Une gamme d'étalonnage déjà établie avec le rutoside, dont l'absorbance spécifique (à 1% 1cm) de ce dernier à 425nm est égale à 370 :

$$\text{Concentration (mg/g de matière sèche)} = (\text{DO}/370) \times 10000$$

- Une deuxième gamme établie avec différentes concentration de la quercitine.

- Tous les dosages sont réalisés en 3 essais.

## 9-Extraction liquide-liquide des flavonoïdes

Cette technique permet de fractionner les flavonoïdes en affrontant l'extrait végétal avec des solvants à polarité différente dont chacun va extraire un type donné de flavonoïdes. Les fractions obtenues vont subir un test d'activité antioxydante après avoir déterminé leur rendement.

### 9.1-Préparation de l'extrait brut :

Suivant le protocole d'extraction adapté décrit par (Merghem et *al.*, 1995), le matériel végétal sec broyé (5g) est soumis à une extraction dans le mélange méthanol/eau (85/15 : v/v) pendant 48 heures sous agitation avec renouvellement de solvant au bout de 24 heures.

Les macérats sont réunis puis filtrés sur un papier filtre. Le filtrat est évaporé à sec au moyen d'un évaporateur rotatif dans le but d'éliminer le solvant.

### 9.2-Fractionnement de l'extrait brut :

L'extrait brut est repris dans 50 ml d'eau distillée. Après une décantation de toute une nuit on récupère la phase limpide qui va être lavée trois fois par l'hexane (délipidation des extraits et élimination des impuretés) puis épuisée (v/v) successivement par 3 solvants: le chloroforme, l'acétate d'éthyle et le n-butanol. Pour chaque solvant utilisé un contact de 30 min est respecté.

Les phases organiques chargées de molécules spécifiques sont évaporées dans un évaporateur rotatif et sont reprises dans 10ml d'eau distillée.

La série d'extraction permet d'obtenir cinq fractions :

- l'extrait brut hydro-méthanolique (EBr) ;
- la fraction d'hexane (EHex) ;
- la fraction du chloroforme (ECh) ;
- la fraction d'acétate d'éthyle (EAcOEt) ;

➤ la fraction du n-butanol (En-BuOH).

La **Figure 15**, résume les étapes de fractionnement de l'extrait brut. Les extraits sont conservés à température de 4°C.

Le rendement de chaque fraction est calculé par la formule suivante :

$$\text{Rendement (\%)} = (m_r/M_v) \times 100$$

$m_r$  : masse (en g) du résidu après évaporation du solvant.

$M_v$  : masse (en g) de la matière végétale de départ.

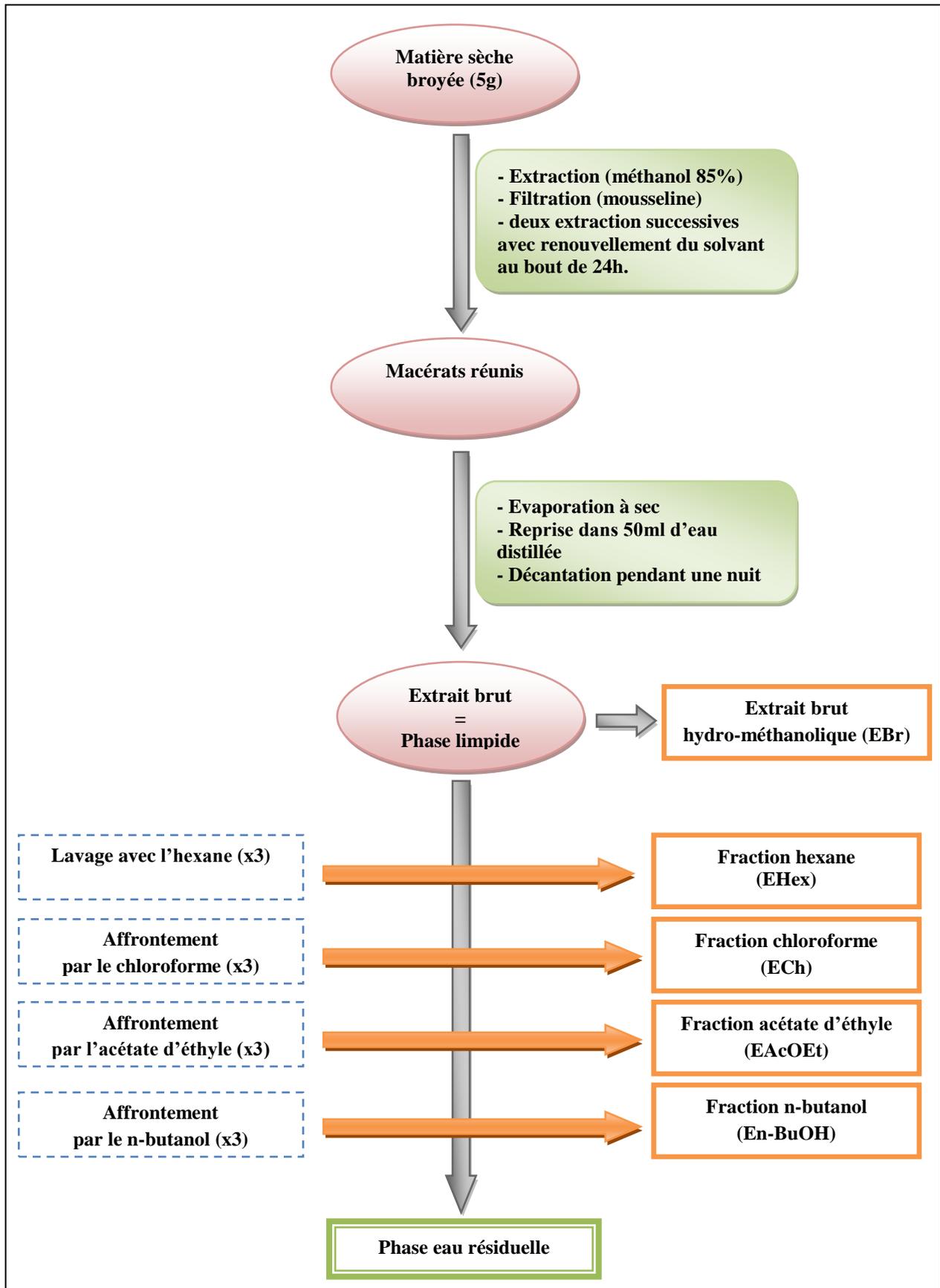


Figure 15: protocole d'extraction et de fractionnement des flavonoïdes (Merghem et al., 1995)

## 10- Test de l'activité anti oxydante

Plusieurs méthodes sont utilisées pour mesurer l'activité antioxydante des extraits volatils des plantes aromatiques. Dans notre cas l'activité antiradicalaire des extraits de *Linum usitatissimum* et *Lavandula dentata* a été évaluée par la capacité de balayage du radical libre DPPH.

Dans ce test, le substrat est un radical stable qui, en réagissant avec une molécule antioxydante, se transforme en DPPH-H (2,2-diphényl-1-picrylhydrazine) avec perte de son absorbance caractéristique à 517 nm. Les réactions ont lieu à température ambiante et en milieu méthanolique, qui permet une bonne solubilisation de la plupart des antioxydants. Ce test est très utilisé, car il est rapide, facile et non couteux (Hadbaoui, 2012). (Figure 16).

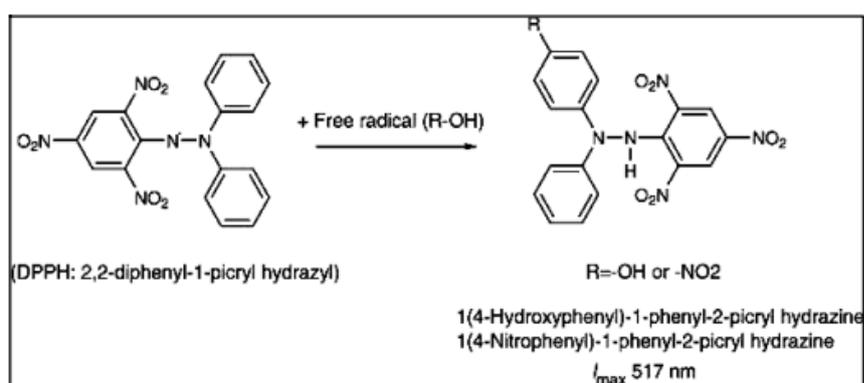


Figure 16: Réduction du radical DPPH

La réduction du radical libre DPPH par un antioxydant peut être suivie par spectrophotométrie UV-visible, en mesurant la diminution de l'absorbance à 517nm provoquée par la présence des extraits. Le DPPH est initialement de couleur violette, se décolore lorsque l'électron célibataire s'apparie. Cette décoloration est représentative de la capacité des extraits à piéger ces radicaux libres indépendamment de toutes activités enzymatiques (Hadbaoui, 2012).

Le protocole utilisé est celui décrit par (Chen et *al.*, 2004). 2.5 ml de différentes concentrations des extraits (gamme de concentration de 0-400  $\mu\text{g/ml}$ ) des deux plantes étudiées sont additionnés à 2.5ml d'une solution de DPPH (100 $\mu\text{M}$ ) préparé dans le méthanol. Le mélange réactionnel a été agité immédiatement, puis maintenu à l'obscurité pendant 30min à température ambiante (25°C). L'absorbance du milieu réactionnel a été mesurée à 517 nm contre un blanc qui ne contient que du méthanol. Le contrôle est constitué d'un mélange réactionnel contenant 2.5ml de DPPH et 2.5ml de méthanol.

Le même test a été réalisé avec un anti-oxydant de référence qui est l'acide ascorbique.

Les mesures de l'absorbance du DPPH des différentes substances antioxydantes (les extraits et l'acide ascorbique) permettent de déterminer le pourcentage d'inhibition **PI** en appliquant la formule suivante :

$$\text{PI (\%)} = (1 - (\text{Abs}_{\text{test}} / \text{Abs}_{\text{control}})) \times 100$$

Où:

**Abs control** : Absorbance du contrôle à la longueur d'onde 517nm.

**Abs test** : Absorbance du radical après 30 minutes de contact à l'obscurité avec l'antioxydant à la longueur d'onde 517nm.

Les pourcentages d'inhibition ainsi déterminés, nous permettent de calculer la valeur du paramètre **CI50** (concentration inhibitrice) qui représente la concentration de la substance (extrait ou acide ascorbique) nécessaire pour diminuer de 50% les radicaux libres dans le milieu réactionnel. Les valeurs **CI50** ont été calculées par la régression linéaire où l'abscisse est représentée par la concentration des composés testés et l'ordonnée par le pourcentage d'inhibition (PI%).

## 11- Test d'hémagglutination

Ce test a porté sur les hématies du rat. Il se base sur l'observation de l'agglutination ou la précipitation des érythrocytes en présence de lectines afin d'affirmer leur présence. Dans ce cas on confirme que l'extrait analysé possède une activité hémagglutinante.

### 11.1-Préparation de l'extrait total

20g de chacune des deux poudres végétales est mise en suspension dans le milieu PBS (Figure 17) à raison de 10% pour *Linum usitatissimum* et 4% pour *Lavandula dentata*. Le mélange est agité pendant 2h, puis centrifugé à 3000 rpm pendant 15min. le surnageant obtenu est ensuite filtré, pour récupérer le filtrat qui représente l'extrait total de la plante, qui sera conservé finalement à 4°C jusqu'à son utilisation.

<b>PBS</b> <b>(Phosphate Buffered Saline)</b>	
<b>NaCl</b>	<b>8g/l</b>
<b>kCl</b>	<b>0.2g/l</b>
<b>Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub></b>	<b>1.44g/l</b>
<b>KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub></b>	<b>0.24g/l</b>
<b>H<sub>2</sub>O</b>	<b>1 L</b>

Le pH est fixé à 7,4.

**Figure 17: Composition du milieu PBS.**

### 11.2-Préparation des hématies

Le sang est récupéré dans un tube à essai hépariné pour éviter sa coagulation. Trois lavages des hématies par centrifugations successives (15min à 3000rpm) sont effectués en utilisant de l'eau physiologique (NaCl 0.9%), le surnageant est jeté, le culot restant représente les hématies. Ces dernières sont ensuite diluées à raison de 3% avec NaCl 0.9%.

### 11.3-Technique de l'hémagglutination

Le test de phytohémmagglutination est réalisé sur des plaques de 96 puits à fond rond.

- **Pour l'échantillon de la plante** : 25µl de chacun des deux extraits totaux de *Linum usitatissimum* et *Lavandula dentata* ou du témoin positif sont déposés dans chaque puit, avec 50µl de NaCl 0.9% et 25µl de la suspension érythrocytaire à 3%.
- **La concanavoline** : est une lectine de l'haricot rouge connue par son effet agglutinant, utilisée comme témoin positif dans ce test.
- **Le blanc (témoin négatif)** : 75µl de NaCl 0.9% + 25µl de la suspension érythrocytaire à 3%.

La plaque est ensuite couverte puis incubée à l'étuve à 37°C pendant 30min, avant la lecture des résultats.

Un test de limite d'hémagglutination est réalisé afin de déterminer la concentration minimale de l'extrait qui provoque l'agglutination des érythrocytes. Le même Protocole cité au-dessus est utilisé mais avec cette fois-ci une gamme de dilutions pour chaque extrait qui s'étend de 1/5 jusqu'à 1/2000 fois.

## 12- Analyse statistique

Les dosages des sucres, des polyphénols, des flavonoïdes et des tanins ont fait l'objet d'une analyse statistique (calcul des moyennes, analyses de la variance ANOVA, écart type) pour rechercher la variabilité existant entre les différents extraits et dosages. Les données ont été traitées à l'aide du logiciel « SYSTAT 12 ». Un test de comparaison des moyennes a été fait chaque fois qu'il y avait un effet significatif de facteur étudié par l'ANOVA.

Les résultats des analyses obtenues sont représentés dans les annexes 6,7,8 et 9.

## RESULTATS ET DISCUSSION

### I-Pureté et perte à la dessiccation de la drogue végétale

D'après les résultats obtenus (Tableau V), les deux drogues étudiées contiennent une très petite quantité d'éléments étrangers, montrant ainsi une pureté de l'ordre de 99.56% et de 99.44% respectivement pour *Linum usitatissimum* et *Lavandula dentata*. Ceci laisse à dire que les deux drogues étudiées sont de bonne qualité.

De même pour la teneur en eau (taux d'humidité), les deux drogues ont enregistré une perte à la dessiccation inférieure à 15%, d'où la conclusion que les drogues de *Linum usitatissimum* et *Lavandula dentata* ont été bien séchées, et peuvent être conservées sans crainte de risque de contamination par les microorganismes. Notant ici que plusieurs facteurs pourraient influencer la teneur en eau et en matière sèche des plantes comme la nature des fibres, l'âge des plantes, l'état du sol et la durée de conservation du végétal après récolte (Bachiri et al., 2016).

**Tableau V: Teneur en eau et en éléments étrangers chez *L. dentata* et *L. usitatissimum*.**

	% des éléments étrangers	Teneur en eau (%H)
<i>Linum usitatissimum</i>	0,44% ± 0,013	6,30% ± 0,60
<i>Lavandula dentata</i>	0,56% ± 0,016	10,85% ± 0,65

### II-Teneur en mucilages

En termes de mucilages, *Linum usitatissimum* est riche en ce type de polysaccharides avec un rendement de 4.46 %, et dont la teneur est de l'ordre de 44.6 mg/g de matière végétale. Résultat proche de celui trouvé par Fedeniuk et Biliaderis, (1994) où le rendement était de l'ordre de 3.6%, bien que ce dernier augmente considérablement lorsque la température et le temps d'extraction augmentent, et il peut arriver jusqu'au 9.4%. Ceci est confirmé par les travaux de Mazza and Biliaderis, (1989).

*Lavandula dentata* ne contient que 25.60mg/g de mucilage, dont le rendement de l'extraction est de 2.56 %. Aucun travail de recherche auparavant n'a porté sur l'extraction des mucilages de cette plante, bien que celui de *Lavandula stoechas* était effectué en 2015 par Yassine et ses collaborateurs, qui ont trouvé un rendement en mucilages de 1.5%, et donc inférieur à celui que nous avons trouvé. Il faut noter ici que la teneur en mucilages varie en fonction de l'organe concerné par l'extraction chez la plante, ainsi que l'environnement de chaque région.

Les résultats obtenus n'ont qu'à renforcer l'idée d'utilisation de ces deux plantes en médecine traditionnelle, puisque l'analyse de la littérature met en lumière des polysaccharides hydrosolubles (mucilages) extraits de plantes médicinales comme des composés multifonctionnels, avec plusieurs activités pharmacologiques; antitumorales, antioxydantes, anti-virales, anticoagulantes, anti-compléments, anti-inflammatoires, anti-ulcéreuses, hypoglycémiantes, etc. (Boual, 2014).

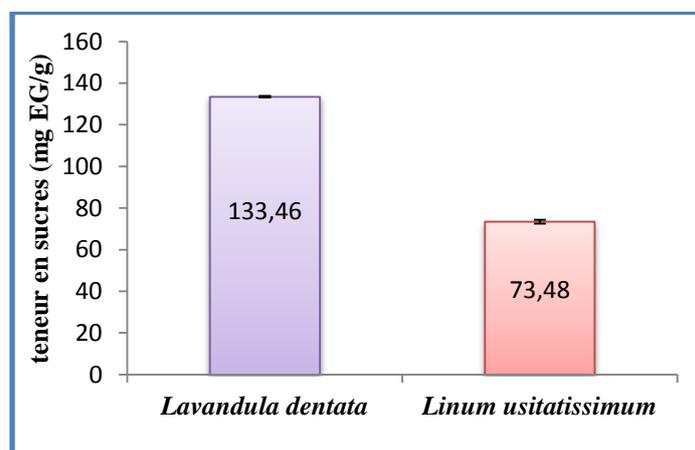
**Tableau VI: Teneur en mucilage chez *L. dentata* et *L. usitatissimum*.**

	<b>Teneur en mucilage</b> (mg/g de matière sèche)	<b>Rendement (%)</b>
<i>Linum usitatissimum</i>	44,6 ± 1,43	4,46 %
<i>Lavandula dentata</i>	25,60± 1.01	2,56 %

### III-Teneur en sucres totaux

Puisque les résultats du dosage des mucilages ont montré des teneurs importants de ce type de polysaccharides, nous avons pensé à quantifier les sucres totaux présents chez *Lavandula dentata* et *Linum usitatissimum*.

Le dosage est effectué selon le protocole adapté de (Oomah *et al.*, 1995), en utilisant comme standard le glucose (annexe 3). Les teneurs en sucres sont exprimées en mg EG/g de matière sèche.



**Figure 18: Teneur en sucres totaux chez *L. dentata* et *L. usitatissimum*.**

Au vu des résultats, les sucres totaux représentent une teneur importante de l'ordre de 133,46 mg EG/g de matière végétale chez *Lavandula dentata*. Ceci peut expliquer pourquoi les abeilles sont beaucoup attirées par cette plante aromatique, dont les recherches de Bogdanov *et al.*, (1999), ont montré une teneur allant jusqu'à 15% dans le miel monofloral de *Lavandula*.

Pour *Linum usitatissimum* la quantité des sucres totaux est inférieure par rapport à *Lavandula dentata*. Elle est de l'ordre de 73.48 mg EG/g. Wanasundara, (1992) a trouvé chez le lin une teneur en sucres plus importante de l'ordre de 7.69%. La plupart des sucres de cette plante constituent des fibres alimentaires dont la teneur varie entre 20 et 25% (Rubilar et al., 2010).

En comparaison avec les mucilages trouvés chez *Lavandula dentata* et *Linum usitatissimum*, ce résultat des sucres totaux représente l'inverse entre les deux plantes. Cela trouve son explication dans la différence structurale des sucres, puisque les mucilages sont des polysaccharides, alors que les sucres renferment d'autres classes autres que les polysaccharides, à savoir les monosaccharides, les hétérosides, Les glucosinolates (Leme, 2013). Donc la richesse en sucres totaux ne reflète pas obligatoirement une richesse en mucilages et vis versa.

## **IV-Rendement en huiles essentielles**

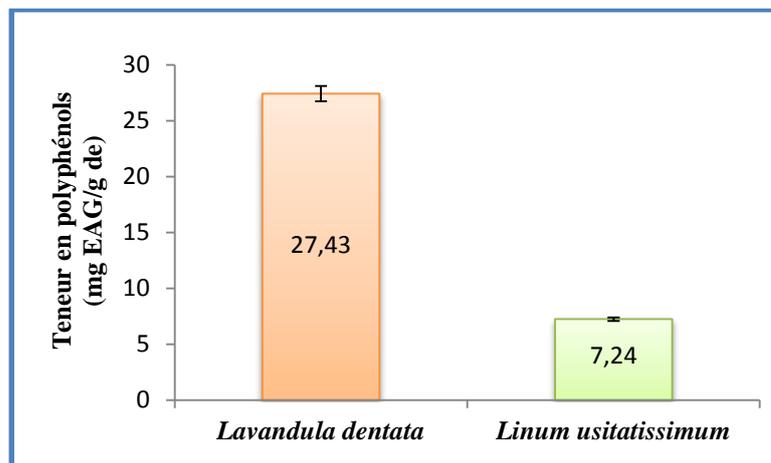
L'évaluation quantitative de la teneur en huiles essentielles des sommités fleuries de *Lavandula dentata* nous a permis d'obtenir une huile, dont le rendement est de 1%, avec une densité relative de l'ordre de 0.624g/ml, une couleur jaune vert pâle et odeur fraîche caractéristique. Ce résultat est légèrement supérieur à celui de Gamez et al., (1990) qui a trouvé un rendement de 0.8%. D'autres chercheurs ont travaillé sur d'autres organes que les sommités fleuries, ainsi ils ont trouvé que les feuilles de *Lavandula dentata* fournissent un rendement en huile essentielle estimé à 0.89 %, et 0.68 % pour les tiges. Enfin, la racine qui renferme 0.22% (Bettaiebet al., 2017). Les différences des rendements en huiles essentielles entre les espèces, peuvent être dues à diverses conditions, notamment, l'environnement, le génotype et l'origine géographique de la plante (Smallfield, 2001).

Pour *Linum usitatissimum* l'hydrodistillation qui a duré 3h n'a pas donné d'huiles essentielles. Il semble que les graines de cette plante ne contiennent pas assez de composés volatils pour engendrer une quantité remarquable d'huile essentielle dans nos conditions expérimentales.

## **V-Teneur en polyphénols et tanins**

### **1-Teneur en polyphénols**

Le dosage des polyphénols totaux a été effectué par la méthode spectrophotométrique de Folin-Ciocalteu, en utilisant comme standard l'acide gallique (annexe 4). Les teneurs en polyphénols totaux sont exprimées en mg EAG/g de matière sèche.



**Figure 19: Teneur en polyphénols totaux chez *L. dentata* et *L. usitatissimum*.**

L'examen des résultats du dosage des polyphénols totaux dans les deux extraits de *Linum usitatissimum* et *Lavandula dentata* divulgue une forte différence des teneurs en polyphénols totaux entre les deux plantes.

Les résultats ainsi obtenus montrent que *Lavandula dentata* contient une teneur en polyphénols allant jusqu'à 27,43 mg EAG/g de matière sèche. Bettaieb et al, (2017) a trouvé une teneur en polyphénols totaux plus élevée (42,57 mg EAG/ g) chez la racine de *Lavandula dentata* par rapport aux feuilles (39,58 mg EAG/g) et aux tiges (16,17 mg EAG/g). Par ailleurs, une teneur plus élevée en polyphénols totaux (184,02 mg EAG/g) est enregistrée dans le macéré aqueux de la lavande dentée marocaine testée par (Bachiri et al., 2016).

De l'autre côté, *Linum usitatissimum* contient une faible teneur en polyphénols par rapport à la lavande, il ne dépasse pas 7,24 mg EAG/g. Ce résultat est plus élevé par rapport à celui trouvé par Veliouglu et al, en 1998 (5 mg EAG/g) dans l'extrait hydrométhanolique 80% des graines de lin, alors que 3 mg EAG/g de polyphénols sont trouvés par Anwar et Przybylski, (2012) lorsque l'éthanol éthylique à 80% est utilisé. La comparaison de nos données avec la littérature publiée est assez difficile car des variations ont été observées pour le contenu phénolique total qui pourrait être attribué aux différentes variétés de graines de lin, à l'extraction du solvant, à la température d'extraction et à la technique utilisée (Kasote et al., 2011).

Il est maintenant largement admis que les polyphénols attirent beaucoup d'intérêt public et scientifique en raison de leurs multiples activités biologiques. Mais la teneur phénolique d'une plante dépend d'un certain nombre de facteurs intrinsèques (génétique) et extrinsèques (origine géographique, conditions climatiques, les pratiques culturelles, la maturité à la récolte et les conditions de stockage) (Amaral et al., 2010).

## 2-Teneur en tanins condensés

Les tanins condensés sont dosés selon la méthode de (Ribereau et Stronestreet, 1975). Elle est basée sur la transformation des tanins en anthocyanes par chauffage en milieu acide.

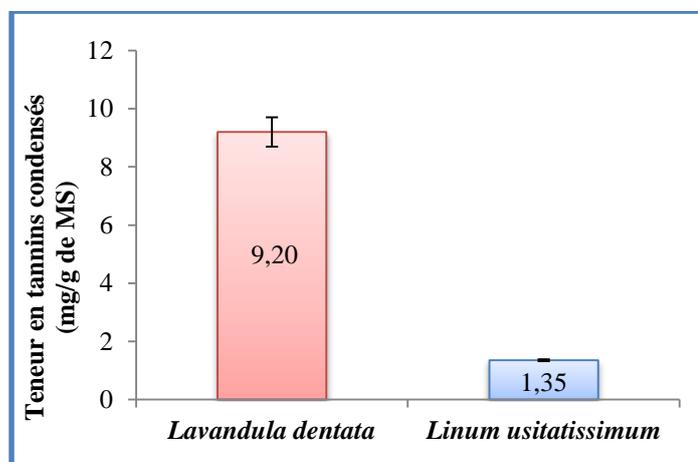


Figure 20: Teneur en tanins condensés chez *L. dentata* et *L. usitatissimum*.

A l'issu des résultats, *Lavandula dentata* est la plus riche en tanins par rapport au lin, avec une teneur allant jusqu'à 9,20mg/g de matière sèche. Ce résultat est inférieur à celui trouvé par Bachiri et al, (2016), enregistrant ainsi une teneur en tanins condensés de 21.56mg/g dans le macéré aqueux, et 17.53mg/g dans l'infusé. Cette différence des résultats semble due à la méthode d'extraction ainsi que la polarité du solvant utilisé.

*Linum usitatissimum* dans nos résultats comprend 1.35mg/g de tanins condensés. Ce résultat est proche de celui trouvé par Wanasundara, (1992), qui est de l'ordre de 1.36mg/g de matière végétale.

## VI-Teneur en flavonoïdes

Le dosage des flavonoïdes dans les extraits méthanoliques brutes du lin et de la lavande a été réalisé selon la méthode utilisant l' $AlCl_3$ . Le tableau VII présente les teneurs en flavonoïdes dans les extraits de chaque plante étudiée.

Les teneurs en flavonoïdes sont exprimées en fonction de deux standards le rutoside (mg ER/g de matière sèche) et la quercétine (mg EQ/g de matière sèche).

Tableau VII: Teneur en mucilage chez *L. dentata* et *L. usitatissimum*.

	Flavonoïdes	
	mg EQ/g de matière sèche	mg ER/g de matière sèche
<i>Lavandula dentata</i>	20,62 ± 0,840	1,41 ± 0,057
<i>Linum usitatissimum</i>	60,49 ± 1,782	4,16 ± 0,122

Selon ces résultats, *Linum usitatissimum* est plus riche en flavonoïdes avec une teneur de 60,49 mg EQ/g exprimée en quercétine et 4,16 mg ER/g exprimée en rutoside. Notre résultat est largement supérieur à celui trouvé par Oomah et *al*, (1996) variant de 0,302 à 0,835 mg /g. Anwar et Przybylski, (2012) qui ont trouvé dans l'extrait méthanolique brut du lin des teneurs entre 1,9 et 4,8mg EC/g en utilisant la catéchine comme standard.

Concernant la teneur en flavonoïdes totaux de la lavande dentée, Il est bien repérable à partir du tableau VIII que les sommités fleuris de cette plante contiennent une teneur en flavonoïdes de l'ordre de 20,62 mg EQ/g exprimée en quercétine et 1,41 mg ER/g exprimée en rutoside. Une valeur largement supérieur est trouvée dans le macéré de *Lavandula dentata* testée par Bachiri et *al*, (2016). Une teneur aussi plus élevée en flavonoïdes est enregistrée chez la lavande dentée dans les travaux de Bettaieb et al, (2017), elle était de l'ordre de 30.06 mg EC/g dans la racine face à 17,36 mg EC/g dans la feuille, et 10.74 mg EC/g dans la tige.

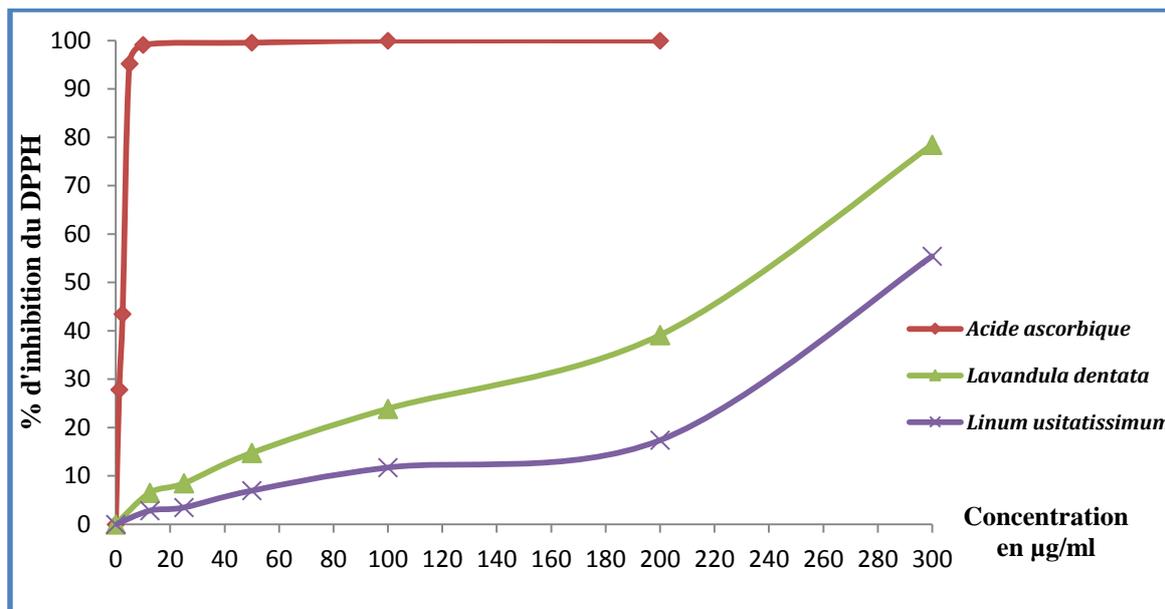
Nos résultats montrent que même *Lavandula dentata* est moins riche en flavonoïdes par rapport à *Linum usitatissimum*, pourtant elle contient la teneur la plus élevée en polyphénols totaux dosés auparavant. D'où la conclusion que la lavande est obligatoirement riche en d'autres familles des composés phénoliques en particulier les tanins condensés.

## VII-Activité anti oxydante

Dans ce test on a essayé d'évaluer le pouvoir anti oxydant de l'extrait méthanolique brut, et des différentes fractions de flavonoïdes préparées, ainsi que les huiles fixes. Ceci à travers la méthode spectrophotométrique au DPPH. Il possède une coloration violette foncée qui va se transformer en jaune pâle, ce qui diminue son absorbance à 517nm, lorsqu'il est réduit par les composés antioxydants en lui donnant un proton ou un électron.

### 1-Extrait méthanolique brut

- **La figure 21** représente le développement de l'inhibition du radical libre DPPH par l'acide ascorbique et par les extraits méthanoliques de *Lavandula dentata* et *Linum usitatissimum*.



**Figure 21:** Inhibition du DPPH par l'acide ascorbique et les extraits de *L. dentata* et *L. usitatissimum*.

Selon ces résultats illustrés par la figure 21, l'effet anti-radicalaire des différents extraits testés diminue selon l'ordre suivant : Vitamine C utilisée comme standard > extrait de *Lavandula dentata* > extrait de *Linum usitatissimum*.

A la concentration de 100µg/ml, par exemple, l'inhibition résultante est de 100, 23.91, et 11.74% respectivement. Cela montre que il ya une déférence importante entre les trois extraits en terme d'inhibition des radicaux libres.

- **Le tableau VIII** représente les valeurs de la **CI<sub>50</sub>** de l'acide ascorbique et des extraits méthanoliques de *Lavandula dentata* et *Linum usitatissimum*.

**Tableau VIII:** Valeur de **CI<sub>50</sub>** de l'acide ascorbique et des extraits de *L. dentata* et *L. usitatissimum*.

	Rendement (%)	Valeur de <b>CI<sub>50</sub></b> (µg/ml)
<i>Acide ascorbique</i>	---	3,1
<i>Linum usitatissimum</i>	41.3 % ± 1,17	287,4
<i>Lavandula dentata</i>	82.1 % ± 2.03	233,1

D'après les résultats illustrés dans le tableau ci-dessus l'acide ascorbique est un excellent piègeur de radicaux libres (**CI<sub>50</sub>**=3,1µg/ml). Ainsi, les extraits de la lavande denté et du lin ont aussi un bon effet anti-radicalaire avec des faibles valeurs de la concentration inhibitrice (**CI<sub>50</sub>**) : 233,1µg/ml pour *Lavandula dentata*, et 287,4µg/ml pour l'extrait de *Linum usitatissimum*.

Donc la lavande dentée est douée d'un pouvoir antioxydant plus important que celui du lin. Ceci trouve son explication dans la richesse en composés piégeurs de radicaux libres, en particulier les polyphénols qui sont largement présents chez *Lavandula dentata*. En général et d'après la bibliographie, l'effet anti-radicalaire augmente avec l'augmentation de la concentration des polyphénols dans l'extrait. Falleh et ses collaborateurs, (2008) ont montré qu'il existe une corrélation très significative entre la teneur en polyphénols (polyphénols totaux, flavonoïdes et tanins condensés) et l'activité anti-radicalaire contre les radicaux DPPH, de l'extrait méthanolique de *Cynara cardunculus*, une plante de la famille des Astéracées. L'effet antioxydant d'un extrait peut aussi différer selon la qualité des polyphénols y présents tels les flavonoïdes qui ont montré des activités antioxydantes (Wang et Mazza, 2002).

Selon des travaux récents, l'hydrolyse de protéines alimentaires à l'aide d'enzymes génère certains peptides possédant des propriétés antioxydantes. Cela a notamment été démontré sur des protéines contenues dans les oléagineux tels les graines de lin (Marambe et al., 2008).

Les travaux similaires concernant l'activité antioxydante ont démontré un pouvoir antioxydant plus important chez la lavande dentée testée par Bettaieb et al, (2017) dont la  $CI_{50}$  ne dépassant pas 50.36  $\mu\text{g/ml}$ . Quant'à *Linum usitatissimum* les travaux de Anwar et Przybylski, (2012) ont montré une activité antioxydante importante de l'extrait méthanolique du lin allant jusqu'à 83.6% d'inhibition du DPPH.

## 2-Fractions de flavonoïdes

- Les figures 22 et 23 représentent le développement de l'inhibition du radical libre DPPH par les différentes fractions des flavonoïdes de *Lavandula dentata* et *Linum usitatissimum*.

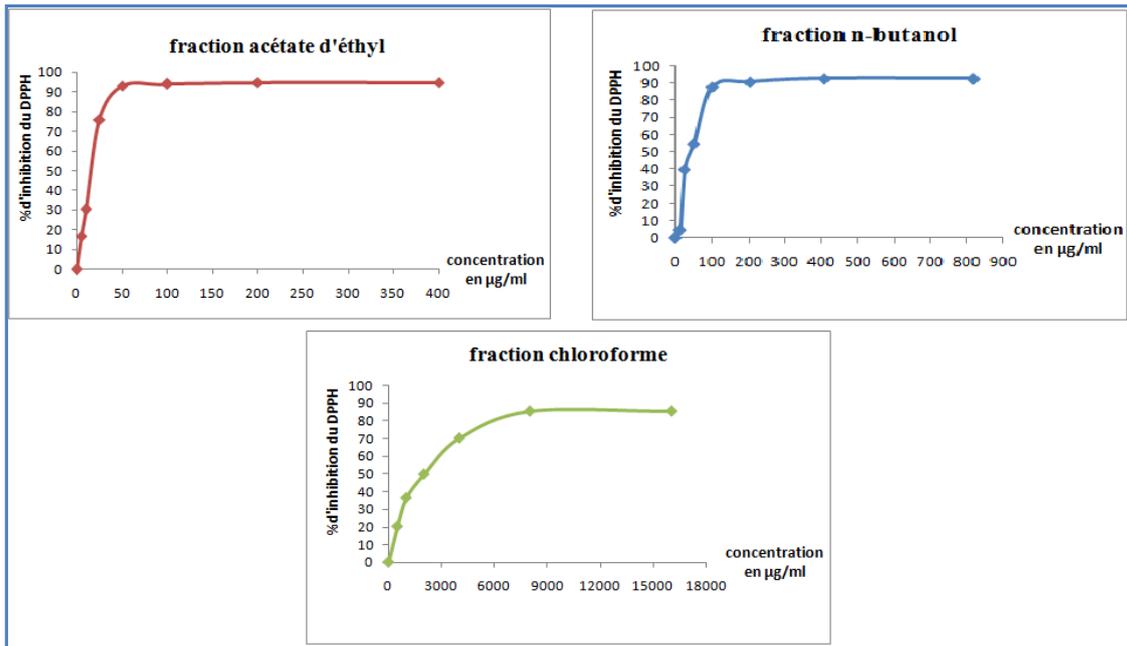


Figure 22: Inhibition du DPPH par les différentes fractions des flavonoïdes de *L. dentata*.

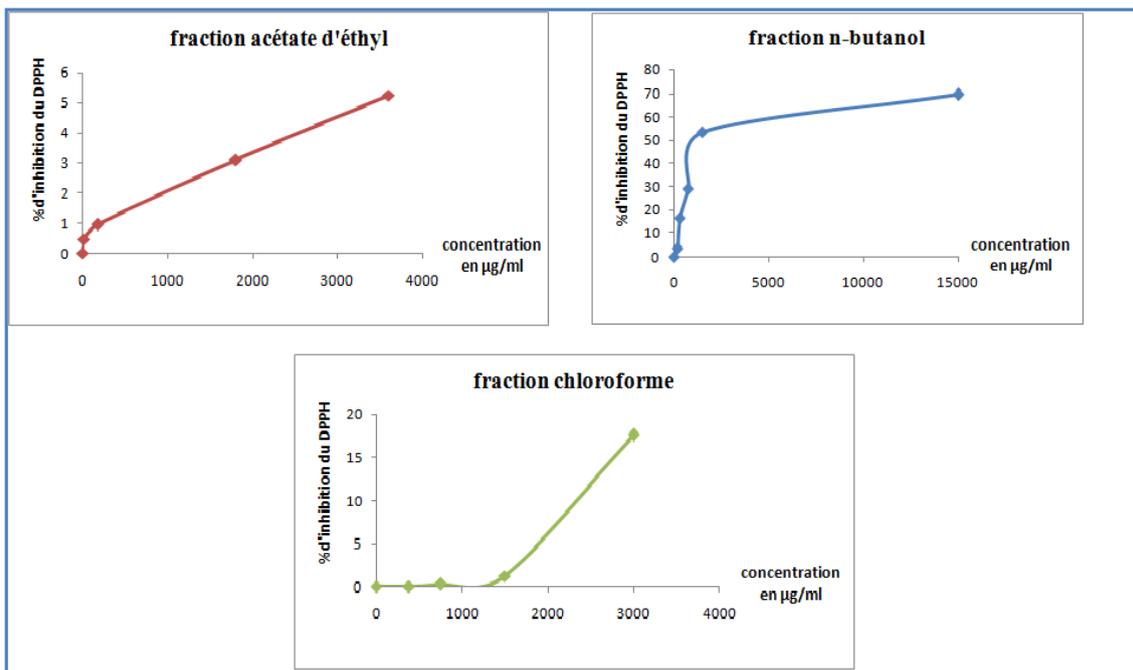


Figure 23: Inhibition du DPPH par les différentes fractions des flavonoïdes de *L. usitatissimum*.

Selon les figures ci-dessus la fraction la plus performante en termes de pouvoir antioxydant dans le cas de *Lavandula dentata* est celle de l'acétate d'éthyle, suivie par celle du n-butanol et enfin la fraction du chloroforme.

Pour *Linum usitatissimum* la fraction n-butanol est la seule marquant un potentiel anti oxydant important.

- Le **tableau IX** représente les valeurs de la **CI<sub>50</sub>** de différentes fractions des flavonoïdes de *Lavandula dentata* et *Linum usitatissimum*.

**Tableau IX: Valeur de CI<sub>50</sub> de différentes fractions des flavonoïdes de *Lavandula dentata* et *Linum usitatissimum*.**

		Rendement (%)	Valeur de CI <sub>50</sub> (µg/ml)
<i>Lavandula dentata</i>	Fraction chloroforme	3.2%	2050
	Fraction acétate d'éthyle	8%	16
	Fraction n-butanol	8.2%	42
<i>Linum usitatissimum</i>	Fraction chloroforme	0.6%	---
	Fraction acétate d'éthyle	3.6%	---
	Fraction n-butanol	3%	1290

Les valeurs de la CI<sub>50</sub> viennent confirmer nos constats, la fraction de l'acétate d'éthyle pour *Lavandula dentata* enregistre la valeur de CI<sub>50</sub> la plus petite (16 µg/ml). Pour *Linum usitatissimum*, seule la fraction du n-butanol a marqué une CI<sub>50</sub> élevée allant jusqu'à 1290 µg/ml.

Le chloroforme permet l'extraction d'une phase organique contenant les flavonoïdes aglycones et aglycones méthoxylés. Le n-butanol est utilisé pour l'extraction des flavonoïdes di-O-glycosides et tri-glycosides et C-glycosides. Tandis que l'acétate d'éthyle est utilisé pour l'extraction des flavonoïdes aglycones ou flavonoïdes mono-O-glycosides et partiellement di-O-glycosides, (Benkiki, 2006).

En tenant compte, de la sélectivité de chaque solvant utilisé pour le fractionnement, on admet que les fractions d'acétate d'éthyle et de n-butanol contenant les flavonoïdes mono, di, et tri-glycosides, représentent les classes de flavonoïdes qui influencent et augmentent le plus le pouvoir antioxydant chez la lavande dentée et le lin.

D'un autre côté, la fraction phénolique n'incorpore pas tous les antioxydants et les interactions synergiques entre les antioxydants dans un mélange fait que l'activité antioxydante dépend non seulement de la concentration, mais également de la structure et la nature des antioxydants (Falleh et al., 2008). Ce qui devrait être pris en considération dans l'activité biologique.

### 3-Huiles fixes

- Les **figures 24 et 25** représentent le développement de l'inhibition du radical libre DPPH par les huiles fixes de *Lavandula dentata* et *Linum usitatissimum*.

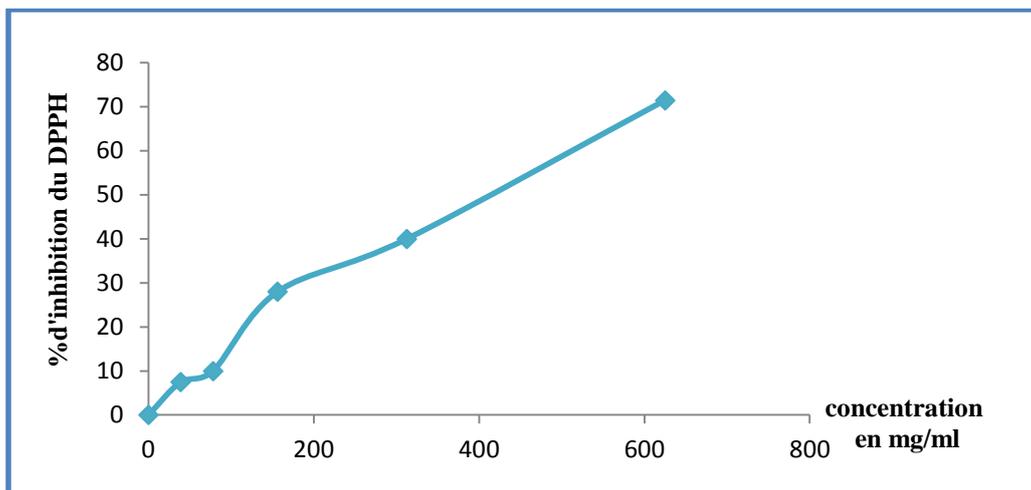


Figure 24: Inhibition du DPPH par les huiles fixes de *L. dentata*

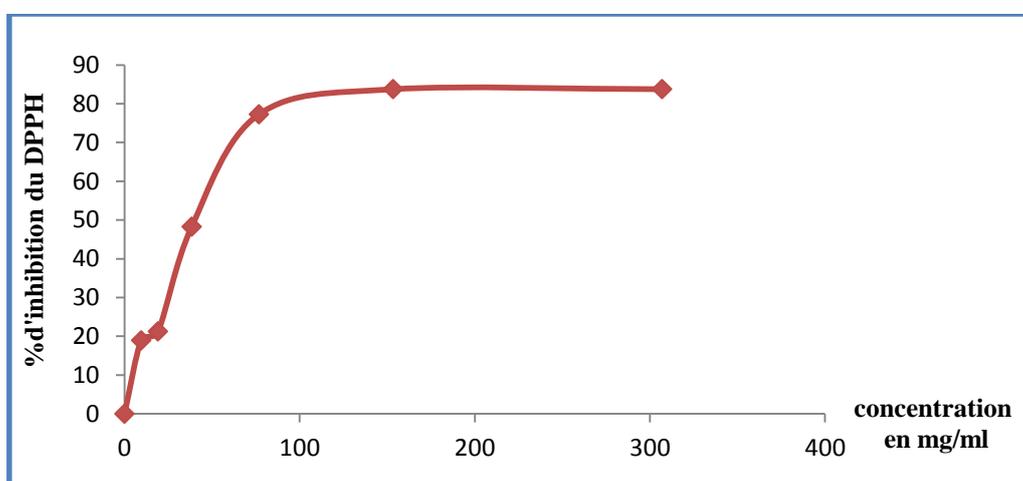


Figure 25: Inhibition du DPPH par les huiles fixes de *L. usitatissimum*

Selon les résultats présentés dans les figures ci-dessus, les deux huiles fixes de *Lavandula dentata* et *Linum usitatissimum*, manifestent une activité anti-radicalaire par l'inhibition du DPPH, avec un avantage cette fois-ci pour l'huile de lin.

- Le tableau X représente les valeurs de la **CI<sub>50</sub>** des huiles fixes de *Lavandula dentata* et *Linum usitatissimum*.

Tableau X: Valeur de **CI<sub>50</sub>** des huiles fixes de *L. dentata* et *L. usitatissimum*

	Densité (g/ml)	Rendement (%)	Valeur de <b>CI<sub>50</sub></b> (mg/ml)
<i>Linum usitatissimum</i>	0.798g/ml	32.5% ± 1,03	39,5
<i>Lavandula dentata</i>	0.744g/ml	8% ± 0.7	414

Au vu du tableau, l'huile fixe de *Linum usitatissimum* dont le rendement est de 32.5% présente une activité antioxydante importante reflétée par sa  $CI_{50}$  qui ne dépasse pas les 39,5 mg/ml, face à 414 mg/ml pour la  $CI_{50}$  de *Lavandula dentata*.

Des travaux effectués sur l'huile fixe de *Pistacia lentiscus* ont dévoilé une activité antioxydante proche de celle de l'huile de la lavande dentée, avec une  $CI_{50}$  allant jusqu'à 304,379 mg/ml (Bensaci et Hadj Mokhnache, 2015).

## VIII-Activité hémagglutinante

Ce test se base sur l'observation de l'agglutination ou la précipitation des érythrocytes en présence de lectines afin d'affirmer leur présence.

### 1-Test de phytohémagglutination

- Le tableau XI représente l'agglutination des hématies du rat par l'extrait total de *Lavandula dentata* et *Linum usitatissimum*.

**Tableau XI: Agglutination des hématies du rat par l'extrait total de *L. dentata* et *L. usitatissimum*.**

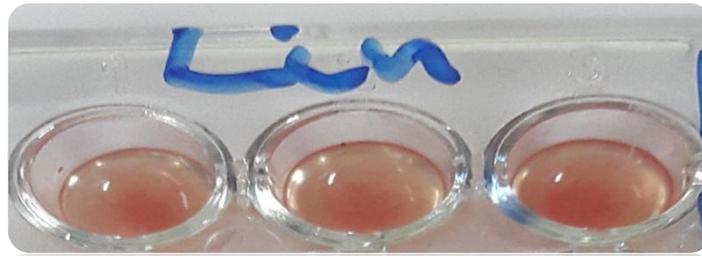
	Test d'agglutination
<i>Lavandula dentata</i>	-
<i>Linum usitatissimum</i>	++

++ : Forte agglutination ;

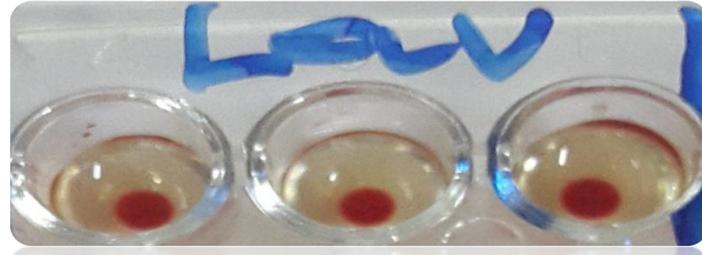
- : Absence d'agglutination ;

L'extrait total de *Linum usitatissimum* montre une très forte agglutination vis-à-vis des hématies du rat. Cette agglutination a été observée à la fois à l'œil nu et au microscope ce qui prouve que cette plante contient des lectines. L'interaction entre les lectines et les globules rouges, se manifeste généralement lors du dépôt des lectines au niveau du puits contenant les hématies, ces dernières vont sédimenter au fond du puits dès leur dépôt ; alors que les lectines vont interagir avec elles, formant ainsi un amas homogène sous forme d'une phase gélatineuse : c'est le phénomène d'hémagglutination (Figure 26).

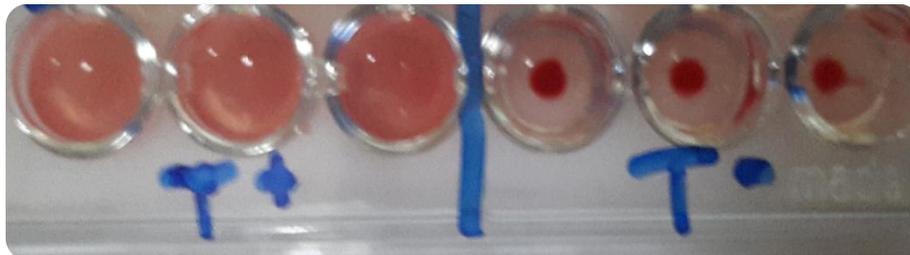
Par contre l'extrait de *Lavandula dentata* n'a montré aucune agglutination vis-à-vis des hématies du rat, même lors de l'observation au microscope ce qui prouve que cette plante ne contient pas des lectines (Figure 27).



**Figure 26: Test d'hémagglutination des hématies du rat par l'extrait total de *L. usitatissimum* (observation à l'œil nu).**

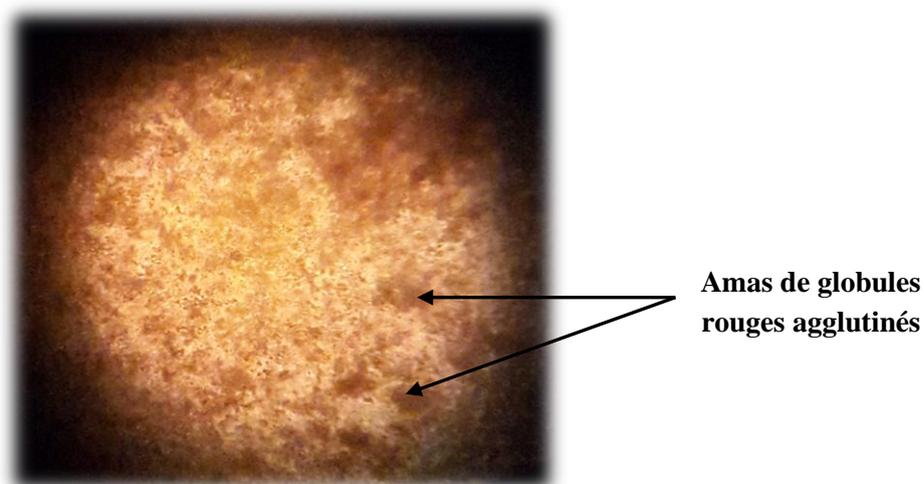


**Figure 27: Test d'hémagglutination des hématies du rat par l'extrait total de *L. dentata* (observation à l'œil nu).**



**Figure 28: Témoin positif par la Concanavale A ( $T^+$ ) et négatif ( $T^-$ ) du test d'hémagglutination des hématies du rat (observation à l'œil nu).**

La lectine au niveau de la plante s'attache au récepteur sur la surface des hématies, et parce qu'elle est polyvalente, il se forme un réseau de globules rouges qui se déposent en couche fine, rosée. Ce résultat est observé au microscope: on parle d'hémagglutination positive (Figure 29). En absence de lectines, les cellules se précipitent au fond des puits où elles s'accumulent en un bouton rouge dense: l'hémagglutination est dite négative dans ce cas (Figure 30).



**Figure 29: Observation microscopique d'hémagglutination des hématies du rat par l'extrait total de *L. usitatissimum* (Gx40).**



**Figure 30: Observation microscopique d'hémagglutination des hématies du rat par l'extrait total de *L. dentata* (Gx40).**

Le potentiel d'hémagglutination des lectines a été étudié en utilisant des érythrocytes natifs du rat. Le résultat est positif pour *Linum usitatissimum* qui a montré une bonne hémagglutination. Ce résultat est similaire à ceux des lectines extraites des racines des plantes comme *Moringa G* et *Moringa M* et qui ont montré de très fortes agglutinations lors de l'addition de la suspension d'érythrocytes de lapin (Necib et *al.*, 2014).

## **2-Limite d'hémagglutination**

La limite d'hémagglutination est exprimée en fonction du rapport de dilution pour lequel on observe une hémagglutination. Le tableau XII et la Figure 31 montrent les résultats obtenus lors du test de la limite d'hémagglutination.

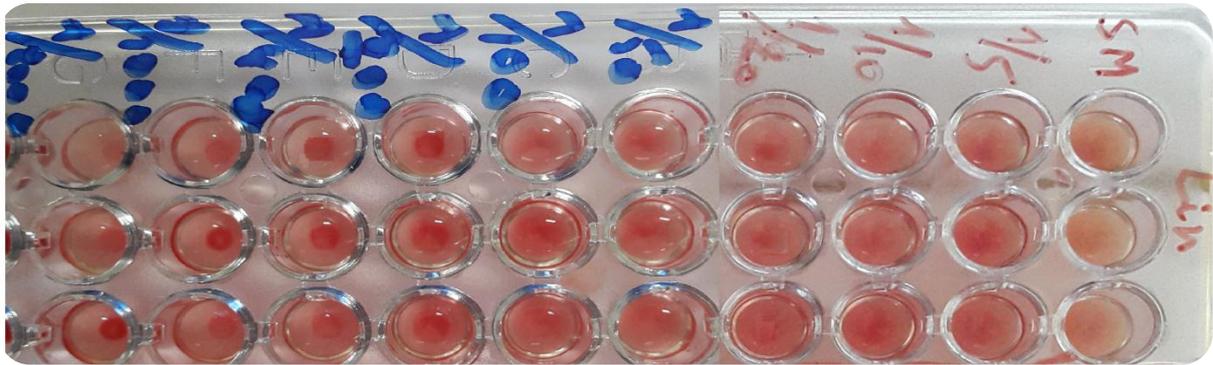
**Tableau XII: Activité de la limite d'hémagglutination des extraits de *L. dentata* et *L. usitatissimum*.**

	Dilutions									
	1/5	1/10	1/20	1/50	1/100	1/200	1/400	1/1000	1/2000	
<i>Lavandula dentata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Linum usitatissimum</i>	++	++	++	+	+	-	-	-	-	-

++ : Forte agglutination ;

+ : Faible agglutination ;

- : Absence d'agglutination ;



**Figure 31: Limite d'agglutination de *Linum usitatissimum* (observation à l'œil nu).**

L'extrait de *Linum usitatissimum* a montré une forte agglutination vis-à-vis des globules rouges lors de sa dilution au niveau des 4 premiers puits, alors qu'elle diminue au niveau des 2 puits qui suivent, et disparaît complètement au niveau des puits restants. Dans ce cas la limite d'agglutination est représentée par la concentration de (100 UH.ml<sup>-1</sup>) qui correspond à une concentration de l'extrait de l'ordre de 2mg/ml. La plante *Terfezia bouderei* a montré une forte agglutination allant jusqu'à la dilution 128 UH.ml<sup>-1</sup> (Zitouni et al., 2014). Alors que l'absence d'agglutination au niveau des autres puits est due à la dilution effectuée.

Par contre l'extrait de *Lavandula dentata* n'a montré aucun effet agglutinant quel que soit la dilution effectuée. Il semble que sommités fleuries de cette plante ne contiennent pas de lectines. La plupart des lectines des végétaux supérieurs sont localisés dans la graine : elles se forment au cours de la maturation et disparaissent au cours de la germination. Elles sont surtout fréquentes chez les Fabacées (arachide, soja, lentille, canavalia, haricot etc.)(Bruneton, 1993).

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans le présent travail, on s'est intéressé à la valorisation de deux plantes aromatiques et médicinales très utilisées en médecine traditionnelle marocaine, il s'agit de *Lavandula dentata* et *Linum usitatissimum*. Notre travail consistait à doser les principes actifs les plus importants chez ces plantes médicinales, à savoir la teneur en composés phénoliques, les mucilages et les sucres totaux, le rendement en huiles essentielles et huiles fixes, ainsi que deux activités biologiques, celle de l'activité antioxydante et l'activité hémagglutinante des hématies.

Les résultats des dosages phytochimiques montrent que *Lavandula dentata* est plus riche en tanins condensés, en polyphénols totaux et en sucres totaux. Alors que *Linum usitatissimum* renferme la plus grande teneur en flavonoïdes et en mucilages.

*Lavandula dentata* élabore un rendement important en huiles essentielles, alors que la richesse en huiles fixes est enregistrée chez *Linum usitatissimum*. Ces deux types d'huiles sont douées d'activités biologiques.

Par ailleurs, les deux extraits du lin et de la lavande dentée possèdent une activité antioxydante importante *in vitro*. Les deux extraits montrent une inhibition importante vis-à-vis du radical DPPH, surtout celui de *Lavandula dentata*. Le fractionnement des flavonoïdes par des solvants à polarité croissante, a dévoilé que, la fraction de l'acétate d'éthyle renfermant les flavonoïdes aglycones ou flavonoïdes mono-O-glycosides et partiellement di-O-glycosides pour *Lavandula dentata*, et celle du n-butanol contenant les flavonoïdes di-O-glycosides et tri-glycosides et C-glycosides pour *Linum usitaissimum*, semblent être les plus performantes en termes de pouvoir antioxydant.

Le test d'hémagglutination a témoigné la richesse de *Linum usitatissimum* en lectines, qui attribuent à cette plante un effet immunostimulant en faveur du système immunitaire. Ces lectines sont absentes dans les sommités fleuries de la lavande dentée.

Enfin, cette étude témoigne sur la richesse de ces deux plantes médicinales en principes actifs qui leurs confèrent un potentiel antiradicalaire contre les radicaux libres, ainsi qu'une activité immunostimulante importante. Ce qui donne une explication à leurs utilisations en médecine traditionnelle.

### **En perspectives :**

*Linum usitatissimum* et *Lavandula dentata* constituent une source prometteuse d'agents antioxydants et immunostimulants, ce qui est expliqué par la nature des composés présents dans ces plantes. D'autres études concernant l'identification des molécules bioactives, la confirmation de la capacité antioxydante par des tests *in vivo*, ainsi que l'évaluation d'autres activités biologiques intéressantes telle que l'activité antimicrobienne des huiles essentielles et des extraits de ces plantes sont recommandées afin de les valoriser d'avantage.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Amaral, J. S., Valentão, P., Andrade, P. B., Martins, R. C., & Seabra, R. M. (2010).** Phenolic composition of hazelnut leaves: Influence of cultivar, geographical origin and ripening stage. *Scientia horticultrae*, 126(2), 306-313.
- Ameena, K., Dilip, C., Saraswathi, R., Krishnan, P. N., Sankar, C., & Simi, S. P. (2010).** Isolation of the mucilages from *Hibiscus rosasinensis* linn, and Okra (*Abelmoschus esculentus* linn.) and studies of the binding effects of the mucilages. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 3(7), 539-543.
- Anwar, F., & Przybylski, R. (2012).** Effect of solvents extraction on total phenolics and antioxidant activity of extracts from flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). *ACTA Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 11(3), 293-302.
- Aragão, K. S. (2008).** *Etudes structure-fonction de lectines (DiscI et DiscII) de Dictyostelium discoideum* (Doctoral dissertation, Université Joseph-Fourier-Grenoble I).
- Atamer, A., Bilici, A., Yenice, N., Selek, S., Ilhan, N., & Atamer, Y. (2008).** The importance of paraoxonase 1 activity, nitric oxide and lipid peroxidation in hepatosteatosis. *Journal of International Medical Research*, 36(4), 771-776.
- Bachiri, L., Echchegadda, G., Ibjibjen, J., & Nassiri, L. (2016).** Etude Phytochimique Et Activité Antibactérienne De Deux Espèces De Lavande Autochtones Au Maroc: «*Lavandula stoechas* L. et *Lavandula dentata* L.». *European Scientific Journal, ESJ*, 12(30).
- Bahorun, T., Gressier, B., Trotin, F., Brunet, C., Dine, T., Luyckx, M., & Pinkas, M. (1996).** Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparations. *Arzneimittel-forschung*, 46(11), 1086-1089.
- Baillere, J.B., (1984).** Arbres et arbustes d'ornementation. *Diffusion Lavoisier, Tec. Et Doc. pp.68-125.*
- Bartosz, G. (2003).** Generation of reactive oxygen species in biological systems. *Comments on Toxicology*, 9(1), 5-21.
- Bartosz, G. (2003).** Generation of reactive oxygen species in biological systems. *Comments on Toxicology*, 9(1), 5-21.
- Beloued, A. (1999).** Encyclopédie des plantes utiles: flore d'Algérie et du Maghreb; substances végétales des régions d'Afrique, d'orient et d'occident. *Libraires Modernes: Rouïba, Algérie.*
- Benguerba, A. (2008).** Etude phytochimique et de la phase butanolique de l'espece *Inula crithmoides* L. *Mémoire magister, Université mentouri-constantine*, 5-14.
- Benkiki, N. (2006).** Etude phytochimique des plantes médicinales algériennes: *Ruta montana*, *Matricaria pubescens* et *Hypericum perforatum* (Doctoral dissertation, Université El Hadj Lakhdar de Batna 1).
- Bensaci, M., Hadj Mokhnache, M. (2015).** Evaluation de l'activité antioxydante et antibactérienne de l'huile fixe de *Pistacia lentiscus*. *Master dissertation.*
- Bernard B. (2001).** Plantes médicinales du monde, 2ieme Edition.
- Beta T., Nam S., Dexter J.E. and Sapirstein H.D. (2005)** Phenolic content and antioxidant activity of pearled wheat and Roller-Milled fractions. *Cereal Chemistry*. **82**, 390-393.
- Bettaieb Rebey, I., Bourgou, S., Saidani Tounsi, M., Fauconnier, M. L., & Ksouri, R. (2017).** Etude de la composition chimique et de l'activité antioxydante des différents extraits de la Lavande dentée (*Lavandula dentata*). *Journal of New Sciences Agri & Biotech*, 39(2), 2096-2105.
- Bloedon, L. T., & Szapary, P. O. (2004).** Flaxseed and cardiovascular risk. *Nutrition Reviews*, 62(1), 18-27.
- Blumenthal, M., Goldberg, A., & Brinckmann, J. (2000).** *Herbal Medicine. Expanded Commission E monographs.* Integrative Medicine Communications.

- Bogdanov, S., Lullman, C., & Martin, P. (1999).** Qualité du miel et norme internationale relative au miel. Rapport de la Commission Internationale du miel. *Bee world*, 80, 61-69.
- Bohn, B., Nebe, C. T., & Birr, C. (1987).** Flow-cytometric studies with eleutherococcus senticosus extract as an immunomodulatory agent. *Arzneimittel-Forschung*, 37(10), 1193-1196.
- BOUAL, Z. (2014).** Caractérisation physico-chimique des polysaccharides de quelques plantes spontanées à caractère médicinal récoltées dans la région de Ghardaïa (Sahara Septentrional Est algérien): Activité biologique (*Doctoral dissertation, Thèse de Doctorat De l'Université Kasdi Merbah-Ouargla, Algerie. 2p*).
- Bovy, A., Schijlen, E., & Hall, R. D. (2007).** Metabolic engineering of flavonoids in tomato (*Solanum lycopersicum*): the potential for metabolomics. *Metabolomics*, 3(3), 399.
- Bruneton, J. (1993).** Elément de Phytochimie et de Pharmacognosie, 2 ème Ed. *Lavoisier, Londre, Paris, New York*.
- Bruneton, J. (1999).** Pharmacognosie Phytochimie plantes médicinales. 3ème édition, Tec & Doc, Paris.
- Cadet, J., Bellon, S., Berger, M., Bourdat, A. G., Douki, T., Duarte, V., ... & Sauvaigo, S. (2002).** Recent aspects of oxidative DNA damage: guanine lesions, measurement and substrate specificity of DNA repair glycosylases. *Biological chemistry*, 383(6), 933-943.
- Carter, J. F. (1996).** Sensory evaluation of flaxseed of different varieties. In *Proc. Flax Inst* (Vol. 56, pp. 201-203).
- Cavanagh, H. M. A., & Wilkinson, J. M. (2002).** Biological activities of lavender essential oil. *Phytotherapy Research*, 16(4), 301-308.
- Chen C.N, Weng M.S. Wu C.L. et Lin J.K. (2004).** Comparison of Radical Scavenging Activity, Cytotoxic Effects and Apoptosis Induction in Human Melanoma Cells by Taiwanese Propolis from Different Sources. *Evid Based Complement Alternat Med*, Vol1(2), 175-185.
- Diederichsen, A., & Richards, K. (2003).** Cultivated flax and the genus *Linum* L. *Flax: the genus Linum*, 22-54.
- Falleh, H., Ksouri, R., Chaieb, K., Karray-Bouraoui, N., Trabelsi, N., Boulaaba, M., & Abdelly, C. (2008).** Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. organs, and their biological activities. *Comptes Rendus Biologies*, 331(5), 372-379.
- Fedeniuk, R. W., & Biliaderis, C. G. (1994).** Composition and physicochemical properties of linseed (*Linum usitatissimum* L.) mucilage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(2), 240-247.
- Flores, G., Blanch, G. P., Ruiz del Castillo, M. L., & Herraiz, M. (2005).** Enantiomeric composition studies in *Lavandula* species using supercritical fluids. *Journal of separation science*, 28(17), 2333-2338.
- Gaby, A. (1988).** Deglycyrrhinated liquorice treatment of peptic ulcer. *journal of food chemistry* 56, 150-160.
- Gamez, M. J., Jimenez, J., Navarro, C., & Zarzuelo, A. (1990).** Study of the essential oil of *Lavandula dentata* L. *Pharmazie*, 45(1), 69-70.
- Ganorkar, P. M., & Jain, R. K. (2013).** Flaxseed—a nutritional punch. *Int Food Res J*, 20(2), 519-525.
- Ghazanfar, S. A. (1994).** *Handbook of Arabian medicinal plants*. CRC press.
- Ghazi, F., & Sahraoui, S. (2005).** Evolution des composés phénoliques et des caroténoïdes totaux au cours de la maturation de deux variétés de dattes communes: Tantboucht et Hamraïa. *Mémoire d'ingénieur. Institut national d'agronomie. Alger*.
- Guitton, Y. (2010).** Diversité des composés terpéniques volatils au sein du genre *Lavandula*: aspects évolutifs et physiologiques. (*Doctoral dissertation, Université Jean Monnet-Saint-Etienne*).

- Hadbaoui, Z. (2012).** Evaluation de l'activité antioxydante des fractions lipidiques, protéiques et phénoliques de sorgho et de mil locaux. (*Thèse de Doctorat : Université de Kasdi Merbah OUARGLA-ALGERIE*).
- Halligudi, N. (2012).** Pharmacological properties of flax seed: Review *Hygeia: journal for drugs and medicines vol 4 (2)*, 70-77.
- Hermier, D., Morise, A., Ferezou, J., Riottot, M., Fénart, E., & Weill, P. (2004).** Influence de la forme d'apport des lipides de la graine de lin sur le métabolisme du cholestérol chez le hamster. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 11(3), 230-236.
- Imelouane, B., Elbachiri, A., Ankit, M., Benzeid, H., & Khedid, K. (2009).** Physico chemical compositions and antimicrobial activity of essential oil of eastern Moroccan *Lavandula dentata*. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11(2), 113-118.
- Iserin, P. (2001).** Encyclopedie des plantes médicinales, identification, préparation, soin, 2ème édition Ed Larousse/ VUEF, 13- 16, 250, 291- 296.
- Jhala, A. J., & Hall, L. M. (2010).** Flax (*Linum usitatissimum* L.): current uses and future applications. *Aust J Basic Appl Sci*, 4(9), 4304-4312.
- Kaithwas, G., Mukerjee, A., Kumar, P., & Majumdar, D. K. (2011).** *Linum usitatissimum* (linseed/flaxseed) fixed oil: antimicrobial activity and efficacy in bovine mastitis. *Inflammopharmacology*, 19(1), 45-52.
- Kanoun, K. (2011).** Contribution à l'étude phytochimique et activité antioxydante des extraits de *Myrtus communis* L. (Rayhane) de la région de Tlemcen (Honaine).
- Kasote, D. M., Hegde, M. V., & Deshmukh, K. K. (2011).** Antioxidant activity of phenolic components from n-butanol fraction (PC-BF) of defatted flaxseed meal. *Am J Food Tech*, 6(7), 604-612.
- Khanbaba, K., & Ree, T.R. (2001).** Tanins : classification and Definition. *Journal of royal society of chemistry*, 18,641-649.
- Ksouri, R., Megdiche, W., Debez, A., Falleh, H., Grignon, C., & Abdelly, C. (2007).** Salinity effects on polyphenol content and antioxidant activities in leaves of the halophyte *Cakile maritima*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 45(3), 244-249.
- La zerat, V. (2009).** Secrets de Bafranier. *Lucien souny Ed .Saint .Paul*, 125.
- Lawrence, B. M. (1992).** Chemical components of Labiatae oils and their exploitation. *Advances in Labiatae science*, 399-436.
- Leme, M. S. (2013).** Rôles de la phytothérapie et de la micronutrition dans le soutien de l'animal cancéreux (*Doctoral dissertation*).
- Liener, I. E., Sharon, N. & Goldstein, I.J. (1986).** The Lectins: Properties, Functions, and Applications in Biology and Medicine. *Academic Press, Orlando, FL*, 600.
- Lis, H., & Sharon, N. (1998).** Lectins: carbohydrate-specific proteins that mediate cellular recognition. *Chemical reviews*, 98(2), 637-674.
- Macheix J.J., Fleuriet A., Sarni-Manchado P., (2006).** Les Polyphénols en agroalimentaire, *Lavoisier*, 1-28.
- Mahmoudi, Y. (1990).** La thérapeutique par les plantes communes en Algérie. *Palais du livre, Blida*, 10.
- Marambe, P., Shand, P. J., & Wanasundara, J. P. D. (2008).** An In-vitro Investigation of Selected Biological Activities of Hydrolysed Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) Proteins. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 85(12), 1155- 1164.
- Marigo, G. (1973).** Sur une méthode de fractionnement et d'estimation des composés phénoliques chez les végétaux. *Analisis*, 2(2), 106-110.
- Mazza, G., & Biliaderis, C. G. (1989).** Functional properties of flax seed mucilage. *Journal of Food Science*, 54(5), 1302-1305.

- Mazza, G., & Oomah, B. D. (1995).** Flaxseed, dietary fiber, and cyanogens. *Flaxseed in human nutrition*, 56-81.
- Merghem, R. (2009).** Élément de biochimie végétale, 1ère édition. *Edition Bahaeddine*, 149-158.
- Merghem, R., Jay, M., Viricel, M. R., Bayet, C., & Voirin, B. (1995).** Five 8-C-benzylated flavonoids from *Thymus hirtus* (Labiatae). *Phytochemistry*, 38(3), 637-640.
- Middleton Jr, E., & Kandaswami, C. (1994).** The impact of plant flavonoids on mammalian biology: implications for immunity, inflammation and cancer. *The flavonoids*. London: Chapman and Hall.
- Mikou, K., Rachiq, S., Oulidi, A. J., & Beniaich, G. (2016).** Étude ethnobotanique des plantes médicinales et aromatiques utilisées dans la ville de Fès au Maroc. *Phytothérapie*, 1-9.
- Millam, S., Obert, B., & Pret'ová, A. (2005).** Plant cell and biotechnology studies in *Linum usitatissimum*—a review. *Plant cell, tissue and organ culture*, 82(1), 93-103.
- Mothana, R. A. A., Gruenert, R., Bednarski, P. J., & Lindequist, U. (2009).** Evaluation of the in vitro anticancer, antimicrobial and antioxidant activities of some Yemeni plants used in folk medicine. *Die Pharmazie-An International Journal of Pharmaceutical Sciences*, 64(4), 260-268.
- Mothana, R. A., Alsaid, M. S., Hasoon, S. S., Al-Mosaiyb, N. M., Al-Rehaily, A. J., & Al-Yahya, M. A. (2012).** Antimicrobial and antioxidant activities and gas chromatography mass spectrometry (GC/MS) analysis of the essential oils of *Ajuga bracteosa* Wall. ex Benth. and *Lavandula dentata* L. growing wild in Yemen. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(15), 3066-3071.
- Necib, Y., Bahi, A., Merouane, F., Bouadi, H. & Boulahrouf, K. (2014).** Comparative Study of a new lactin extracted from roots of plants: *Cyperus rotundus*, *Pistacia lentiscus* and *Ruta Graveolens*. *Volume 4, Issue 1*, 1720-1733.
- Nelson, G.J., & Chamberlain, G. (1995).** The effect of dietary alpha-linolenic Acid on blood lipids and lipoproteins in human, In: Cunnane S, Thompson LU (Eds) *Flaxseed in human nutrition*. American Oil Chemists' Society Press, Champaign, Illinois, 56-81.
- Nkhili, E. Z. (2009).** Polyphénols de l'Alimentation: Extraction, Interactions avec les ions du Fer et du Cuivre, Oxydation et Pouvoir antioxydant (*Doctoral dissertation, Thèse de doctorat, Montpellier 2009*).
- Oomah, B. D. (2001).** Flaxseed as a functional food source. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(9), 889-894.
- Oomah, B. D. (2003).** Processing of flaxseed fiber, oil, protein, and lignan. *Flaxseed in human nutrition*, 2, 363-386.
- Oomah, B. D., Kenaschuk, E. O., Cui, W., & Mazza, G. (1995).** Variation in the composition of water-soluble polysaccharides in flaxseed. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(6), 1484-1488.
- Oomah, B.D., Mazza, G., & Kenaschuk, E. O. (1996).** Flavonoid content of flaxseed. Influence of cultivar and environment. *Euphytica*, 90(2), 163-167.
- Peronny, S. (2005).** La perception gustative et la consommation des tanins chez le maki (*Lemur catta*) (*Doctoral dissertation, Museum national d'histoire naturelle-MNHN PARIS*).
- Pradhan, R. C., Meda, V., Rout, P. K., Naik, S., & Dalai, A. K. (2010).** Supercritical CO<sub>2</sub> extraction of fatty oil from flaxseed and comparison with screw press expression and solvent extraction processes. *Journal of Food Engineering*, 98(4), 393-397.
- Quezel, P. S. (1963).** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales (No. 581.965 Q8).
- Renouard, S. (2011).** Régulation transcriptionnelle de la biosynthèse des lignanes du lin (*Linum usitatissimum* et *Linum flavum*) et amélioration de l'extraction des lignanes (*Doctoral dissertation, Orléans*).

- Ribereau-Gayon, J., Stronestreet, E. (1975)** Le dosage des anthocyanes dans le vin rouge. *Bull. Soc Chim. France* 9, 2649- 2655.
- Rodolphe, E., Savolainen, M., Daniel, J. (2004)** .botanique systématique des plantes à fleurs, p322, p124.
- Roede, J. R., & Jones, D. P. (2010).** Reactive species and mitochondrial dysfunction: Mechanistic significance of 4-hydroxynonenal. *Environmental and molecular mutagenesis*, 51(5), 380-390.
- Rubilar, M., Gutiérrez, C., Verdugo, M., Shene, C., & Sineiro, J. (2010).** Flaxseed as a source of functional ingredients. *Journal of soil science and plant nutrition*, 10(3), 373-377.
- Serteyn, D., Mouithys-Mickalad, A., Franck, T., Grulke, S., Lamy, M., Deby, C., & Deby-Dupont, G. (2002).** La nature chimique et la réactivité de l'oxygène. In *Annales de médecine vétérinaire* (Vol. 146, No. 3, pp. 137-153). Université de Liège, Faculté de médecine vétérinaire.
- Skoula, C., Abidi, E., KOKkalou. (1996).** *Biochem.Syste.Ecol* 24, 255.
- Smallfield, B. (2001).** Introduction to growing herbs for essential oils, medicinal and culinary purposes. *Crop & Food Research* (45), 1-4.
- Sosa, S., Altinier, G., Politi, M., Braca, A., Morelli, I., & Della Loggia, R. (2005).** Extracts and constituents of *Lavandula multifida* with topical anti-inflammatory activity. *Phytomedicine*, 12(4), 271-277.
- Sun, V., Hersh, E. M., Talpaz, M., Lee, S. L., Wong, W., Loo, T. L., & Mavligit, G. M. (1983).** Immune restoration and/or augmentation of local graft versus host reaction by traditional Chinese medicinal herbs. *Cancer*, 52(1), 70-73.
- Swain, T. (1979).** tanins and lignins. *Herbivores: their interactions with secondary plant metabolites.* (Ed. par Rosenthal, G. A. et Janzen, D. H.), 637-682. New York : Academic Press.
- Thompson, L.U. (2003)** . Flaxseed in human nutrition, *2nd Edition, AOCS Press, Champaign, Illinois*, p458.
- Touati, B., Chograni, H., Hassen, I., Boussaïd, M., Toumi, L., & Brahim, N. B. (2011).** Chemical composition of the leaf and flower essential oils of Tunisian *Lavandula dentata* (Lamiaceae). *Chemistry & Biodiversity*, 8(8), 1560-1569.
- Upson, T. (2009).** The Monograph, an overview: new classification and future prospects. First international Lavender conference, *Cambridge university botanic garden and Clare college.*
- Upson, T., & Andrews, S. (2004).** The Genus *Lavandula*. Portland, Timber Press.
- Upton, R. (1999).** Astragalus Root: Analytical, quality control, and therapeutic monograph. *Santa Cruz, CA: American Herbal Pharmacopoeia*, 1-25.
- Van-Damme, E. J., Peumans, W. J., Barre, A., & Rougé, P. (1998).** Plant lectins: a composite of several distinct families of structurally and evolutionary related proteins with diverse biological roles. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 17(6), 575-692.
- Vansant, G. (2004).** Radicaux libres et antioxydants: principes de base. In *Symposium «Antioxydants et alimentation».* Institut Danone.
- Velioglu, Y. S., Mazza, G., Gao, L., & Oomah, B. D. (1998).** Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of agricultural and food chemistry*, 46(10), 4113-4117.
- Wanasundara, J. P. D. (1992).** Characteristics of solvent extracted flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) meals (*Doctoral dissertation, Memorial University of Newfoundland*).
- Wang, J., & Mazza, G. (2002).** Effects of anthocyanins and other phenolic compounds on the production of tumor necrosis factor  $\alpha$  in LPS/IFN- $\gamma$ -activated RAW 264.7 macrophages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(15), 4183-4189.
- Yassine, H. M., Boyington, J. C., McTamney, P. M., Wei, C. J., Kanekiyo, M., Kong, W. P., & Lingwood, D. (2015).** Hemagglutinin-stem nanoparticles generate heterosubtypic influenza protection. *Nature medicine*, 21(9), 1065-1070.
- Zitouni, A., Bahi, A., Necib, Y. (2015)** Immunomodulatory Activity of Lectins Extracted from *Terfezia bouderei*. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research* 50, 285-287.

## ANNEXES

**ANNEX1** : Composition des graines de lin / Valeur nutritionnelle moyenne pour 100g.  
(Source : Souci, Fachmann, Kraut : La composition des aliments. Tableaux des valeurs nutritives, 7e édition, 2008, MedPharm Scientific Publishers / Taylor & Francis).

Apport énergétique		Principaux composants		Minéraux & Oligo-éléments (mg)		Vitamines (mg)		Acides gras (mg)	
Joules (KJ)	1558	Glucides 0 g - Amidon 0 g - Sucres 0 g		Calcium	198	Vit B1	0,170	Acide palmitique	1840
(Calories)(Kcal)	376			Chrome	0,00581	Vit B2	0,160	Acide stéarique	1110
				Cobalt	0,0056	Vit B3 (ou PP)	1,4	Acide oléique	5620
		Fibres alimentaires	38,6 g	Cuivre	1,2	Vit K	0,005	Acide linoléique	4200
		Protides	24,4 g	Fer	8,2			Acide alpha-linolénique	16700
		Lipides	30,9 g	Manganèse	2,6				
		- Saturés	2950 mg	Nickel	0,190				
		- Oméga-3	16700 mg	Phosphore	662				
		- Oméga-6	4200 mg	Potassium	725				
		- Oméga-9	5620 mg	Sodium	607				
		Eau	6,10 g	Zinc	5,5 mg				

### ANNEXE 2 : Composition de l'huile de lin

Composé	Famille d'acide gras	Teneur pour 100 g
Vitamine K	-	-
Vitamine E	-	17,5 mg
Total acides gras saturés	-	9,4 g
Total acides gras poly-insaturés	-	66 g
Total acides gras mono-insaturés	-	20,2 g
Acides gras trans	-	0,019 g
Acide érucastique (mono-insaturé)	$\omega$ -9	0,13 g
Acide stéarique (saturé)	-	3,428 g
Acide pentadécanoïque (saturé)	-	0,014 g
Acide palmitoléique (mono-insaturé)	$\omega$ -7	0,046 g
Acide palmitique (saturé)	-	6,047 g
Acide oléique (mono-insaturé)	$\omega$ -9	18,115 g
Acide myristique (saturé)	-	0,041 g
Acide linoléique (poly-insaturé)	$\omega$ -6	15,553 g
Acide lignocérique (saturé)	-	0,078 g
Acide heptadécanoïque (saturé)	-	0,046 g
Acide cétoléique (mono-insaturé)	$\omega$ -11	0,068 g
Acide béhénique (saturé)	-	0,068 g
Acide arachidique (saturé)	-	0,146 g
Acide alpha-linolénique (poly-insaturé)	$\omega$ -3	56,018 g

- La composition en acides gras des **triglycérides** de l'huile de lin est la suivante:

- acide  $\alpha$ -linoléique: 45 - 70 %
- acide linoléique : 12 - 24 %
- acide oléique: 10 - 21 %
- acides gras saturés : 6 - 18 %

- L'analyse nutritionnelle, pour 5ml d'une huile de lin alimentaire typique, est la suivante:

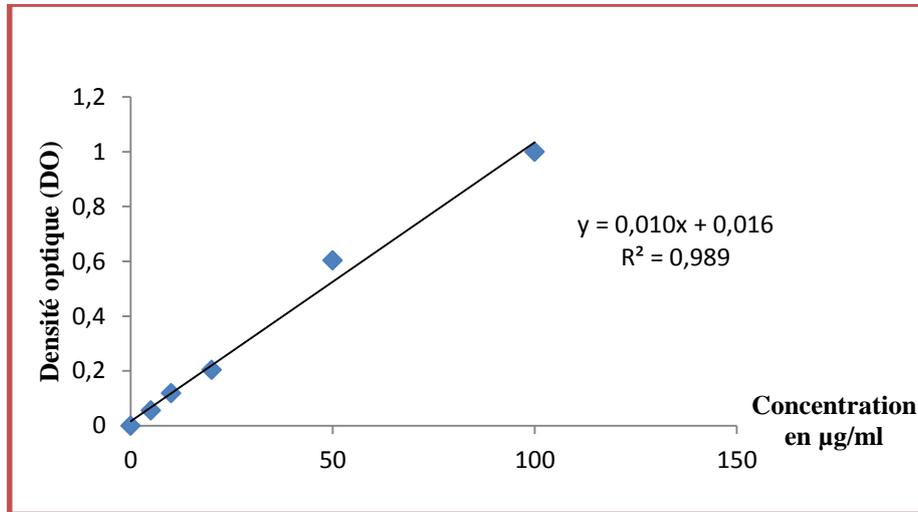
Énergie	Protéines (g)	Lipides (g)	Glucides (g)
42 Cal	0	4,7	0
176 KJ		Dont Acides gras: <ul style="list-style-type: none"> <li>• saturés : 0,4 g</li> <li>• monoinsaturés : 0,8 g</li> <li>• polyinsaturés : 3,5 g</li> <li>• linoléique : 0,6 g</li> </ul>	

### ANNEXE 3: Composition de l'huile essentielle des différents organes

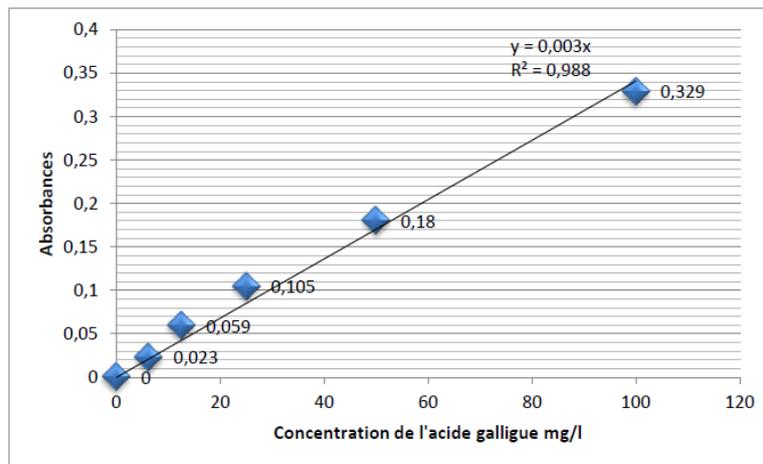
*Lavandula dentata* (Bettaieb, 2017)

Composés	Identification	%		
		Feuille	Tige	Racine
$\alpha$ -Pinène	TR, GC/MS	0.39±0.02	1.01±	-
$\beta$ -Phellandrière	TR, GC/MS	0.35±0.03	-	-
$\beta$ -Pinène	TR, GC/MS	2.99±0.01	1.88±0.05	-
Limonène	TR, GC/MS	-	14.91±0.03	1.49±0.03
1,8-Cinéole	TR, GC/MS	22.90±1.25	7.44±0.05	3.22±0.03
p-Menth-8-en-1-ol	TR, GC/MS	0.29±0.01	-	-
Oxyde de linalool	TR, GC/MS	0.60±0.01	-	-
$\gamma$ -Terpinène	TR, GC/MS	-	1.98±0.01	-
$\alpha$ -Thujone	TR, GC/MS	2.06±0.05	-	-
Linalool	GC/MS	5.25±0.03	1.17±0.05	-
Fenchone	GC/MS	0.42±0.01	0.72±0.05	-
$\alpha$ -Campholénal	TR, GC/MS	0.48±0.05	-	-
Heptane-2-one	TR, GC/MS	1.22±0.01	0.67±0.01	-
Trans-pinocarveol	TR, GC/MS	4.51±0.01	2.13±0.01	1.31±0.01
Camphre	TR, GC/MS	26.52±0.06	9.59±1.69	4.44±0.05
Pinocarvone	GC/MS	3.29±0.01	1.35±0.02	1.01±
Bornéol	TR, GC/MS	2.97±0.01	1.38±0.01	-
Terpinène-4-ol	TR, GC/MS	0.30±0.02	-	-
Cryptone	GC/MS	0.84±0.01	-	-
3-Cyclohexane-1-methanol	GC/MS	1.04±0.01	-	-
Myrrénol	TR, GC/MS	5.65±0.22	2.09±	1.92±0.05
Acétate de Bornyle	GC/MS	-	1.69±0.01	-
Hept-3-en-2-one	TR, GC/MS	0.57±0.01	-	-
Trans-Carvéol	GC/MS	0.30±0.01	-	-
Carvone	TR, GC/MS	1.14±0.01	-	-
Germachrène-D	TR, GC/MS	0.28±0.01	-	-
$\beta$ -Selinène	GC/MS	0.36±0.01	-	1.55±0.02
1,1-Diméthyléthyl-phénol	TR, GC/MS	0.18±0.01	2.89±0.85	2.26±0.05
Cis-Calamenène	GC/MS	0.14±0.00	-	1.06±0.01
$\alpha$ -Bisabolène	GC/MS	0.57±0.00	-	1.33±0.01
Oxyde de caryophyllène	TR, GC/MS	0.24±0.01	0.52±0.03	0.92±0.05
$\alpha$ -Copaène	GC/MS	0.18±0.00	-	0.88±0.01
$\beta$ -Bisabolène	GC/MS	0.24±0.02	-	-
$\beta$ -Eudésémol	GC/MS	1.65±0.01	3.12±0.02	-
4-Méthylthioquinone	GC/MS	-	0.43±0.02	-
Pyrimidine	GC/MS	0.46±0.01	-	1.43±0.05
$\alpha$ -Bisabolol	GC/MS	0.55±0.03	1.20±0.03	3.43±0.01
Cis-Lancéol	GC/MS	0.25±0.01	-	-
$\beta$ -Citral	GC/MS	-	0.46±0.04	-
Nérol	TR, GC/MS	-	-	1.45±0.02
$\beta$ -Ocimène	TR, GC/MS	-	-	39.17±0.08
$\alpha$ -époxyde de bisabolène	TR, GC/MS	-	-	1.92±0.03
$\beta$ -Pinène	TR, GC/MS	-	14.02±0.01	1.62±0.05
Vulgarol	GC/MS	0.12±0.01	-	-
Camphène	GC/MS	9.55±0.33	0.51±0.01	-
Acide hexadécanoïque	GC/MS	-	-	1.85±0.02
Acide octadécanoïque	GC/MS	0.14±0.04	-	1.61±0.06

#### ANNEXE 4 : Gamme étalon de glucose



#### ANNEXE 5 : Gamme étalon de l'acide gallique



#### ANNEXE 6 : Analyse de la variance relative à la teneur en sucres chez *L. dantata* et *L. usitatissimum*.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	P
Espèces	5 395,681	1	5 395,681	3 586,740	<b>0,000</b>
Erreur	6,017	4	1,504		

**ANNEXE 7 :** Analyse de la variance relative à la teneur en polyphénols chez *L. dantata* et

*L. usitatissimum*.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	P
Espèces	1 834,968	1	1 834,968	831,973	<b>0,000</b>
Erreur	35,289	16	2,206		

**ANNEXE 8 :** Analyse de la variance relative à la teneur en flavonoïdes chez *L. dantata* et

*L. usitatissimum*.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	P
Espèces	4 769,502	1	4 769,502	409,09	<b>0,000</b>
Erreur	116,588	10	11,659		

**ANNEXE 9 :** Analyse de la variance relative à la teneur en tanins chez *L. dantata* et

*L. usitatissimum*.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	P
Espèces	184,772	1	184,772	236,223	<b>0,000</b>
Erreur	7,822	10	0,782		