



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de la vie
Département des sciences de la nature et de la vie
Filière : Sciences biologiques

Référence 2020/ 2021

MÉMOIRE DE MASTER

Spécialité : Biochimie Appliquée

Présenté et soutenu par :
HAFAYED Adila

Le: dimanche 4 juillet 2021

Activité antifongique des huiles essentielles de quelques espèces de la famille des Lamiaceae.

Jury:

Mme. KRIKER Soulef	MAA	Université de Biskra	Président
Dr. REDOUANE-SALAH Sara	MCA	Université de Biskra	Rapporteur
Dr. ATHAMNA Ahmed	MCB	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2020/2021

Remerciements

Tout d'abord je tiens à remercier ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la santé, la volonté, le courage et la patience pour mener à terme ma formation et pourvoir réaliser ce travail de recherche.

J'adresse mes plus vifs remerciements à mon promoteur Mme :

REDOUANE SALAH Sara pour ses orientations et aides durant la réalisation de ce mémoire.

Je tiens à remercier les membres de jury pour avoir accepté d'examiner mon mémoire.

Un grand merci à mon amie Dehina Nermine, qui m'a aidé à faire ce travail.

Enfin, je remercie toute personne qui a participé de près ou loin, directement ou indirectement à réaliser ce travail.



Dédicaces

Je dédie ce travail à :

*A mes très chers parents que j'aime et qui m'ont soutenu tout au long de
mes années d'études.*

A toute ma famille.

A tous mes amis sans exception.

*A tout la promotion 2^{ème} année Master Biochimie Fondamentale et
Appliquée 2020-2021.*



Adila H.

Table de matières

Liste des tableaux	I
Liste des figures	II
Liste des abréviations.....	III
Introduction	1

Synthèse bibliographique

Chapitre 01: Moisissures et Mycotoxines

1.1. Généralité sur les moisissures et mycotoxines	3
1.2. Principales moisissures mycotoxinogènes.....	3
1.3. Les principales classes des mycotoxines	5
1.3.1. Selon leur origine biologique (La mycotoxigénèse)	5
1.3.1.1. La voie des acides aminés.....	5
1.3.1.2. La voie des polycétoacides (polyacétates).....	5
1.3.1.3. La voie des terpènes	6
1.3.2. Selon leurs principaux effets toxiques	6
1.4. Les mycotoxines dans la chaîne alimentaire	6
1.5. Réglementation des mycotoxines à l'échelle internationale	8
1.6. Détoxification biologiques	8
1.6.1. Utilisation de plantes.....	9

Chapitre 02:

Les plantes médicinales et leurs métabolites secondaires (les HEs)

2.1. Partie 01: L'activité antifongiques de certaines plantes médicinales	10
2.1.1. Généralité sur l'utilisation des plantes médicinales.....	10
2.1.2. Activité antifongique/antimycotoxinogènes des plantes médicinales aromatiques .	10
2.1.3. Présentation de La famille des <i>Lamiaceae</i> (<i>lamiacées</i>)	11
2.1.3.1. Classification phylogénétique.....	11
2.1.3.2. Les principaux genres.....	12
2.2. Partie 02 : Les huiles essentielles (HEs)	12
2.2.1. Généralité	12

2.2.2.	Composition chimique et classification des HEs	13
2.2.2.1.	Les terpènes	13
2.2.2.2.	Phénylpropanoïdes	13
2.2.2.3.	Composés d'origine diverses	13
2.2.3.	Activités biologique des huiles essentielles	14
2.2.3.1.	Activité antibactérienne	14
2.2.3.2.	Activité antivirale	14
2.2.3.3.	Activité antioxydante	14
2.2.3.4.	Activité anticancéreuse	15
2.2.3.5.	Activité anti-inflammatoire.....	15
2.2.3.6.	Activité antifongiques	15

Partie Analyse des articles

Chapitre 03 : Matériel et Méthodes

L'objectif de travail	16
3.1. Matériel biologique	16
3.1.1. Matériel végétal	16
3.1.2. Matériel fongique	18
3.2. Méthodes	20
3.2.1. Extraction des huiles essentielles	20
3.2.2. Le rendement d'extraction	21
3.2.3. Identification des composés chimiques des huiles essentielles.....	21
3.2.4. Méthodes d'évaluation de l'activité antifongique /antimycotoxines des huiles essentielles <i>in vitro</i>	22
3.2.4.1. Les Méthodes utilisées	22
3.2.4.2. Les paramètres étudiés	23

Chapitre 04: Resultats et Discussion

4.1. Etude phytochimiques	31
4.1.1. Rendements d'extraction.....	31
4.1.2. Composition chimiques des huiles essentielles.....	32
4.2. L'activité antifongique et antimycotoxinogène des HEs	37

4.2.1.	L'activité antifongique.....	Erreur ! Signet non défini.
4.2.2.	L'activité antimycotoxinogène	50
Conclusion		56
Références bibliographiques		58

Annexes

Résumés

Liste des tableaux

Tableau 1 : Activité antifongiques de certaines plantes.....	10
Tableau 2 : Les principaux genres de la famille des <i>Lamiaceae</i> et leurs activités biologiques....	12
Tableau 3 : Les méthodes d'extraction, d'analyse des HES et les souches fongiques testées.	24
Tableau 4 : Les rendements moyens des HES.....	31
Tableau 5 : Les Principaux composants des HES des certains plantes sélectionnées.	33
Tableau 6 : Les CMI et CMF des HES/composant sélectionnés avec leurs activités antifongiques.	38
Tableau 7 : Présentation des résultats des articles étudiés sur les propriétés antimycotoxiques des huiles essentielles.	51

Liste des figures

Figure 1 : Les paramètres responsables de la mycotoxinogénèse (Guezlane-Tebibel <i>et al.</i> , 2016)	5
Figure 2 : Structures chimiques des principales mycotoxines (Agriopoulou <i>et al.</i> , 2020)	6
Figure 3 : La présence des mycotoxines dans la chaîne alimentaire et leur effet sur l'homme et l'animal (Haque <i>et al.</i> , 2020)	7
Figure 4 : Classification phylogénétique de la famille des <i>lamiaceae</i> (Boulade, 2018)	11
Figure 5 : <i>Origanum vulgare</i> (Mansouri, 2013)	17
Figure 6 : <i>Mentha piperita</i> (Boulade, 2018)	17
Figure 7 : <i>Thymus vulgaris</i> (Boulade, 2018)	18
Figure 8 : <i>Salvia officinalis</i> (Boulade, 2018)	18
Figure 9 : Observation microscopique (x400) des conidiophores d' <i>A. Flavus</i> (El Khoury <i>et al.</i> , 2017)	19
Figure 10 : Observation microscopique du mycélium de <i>penicillium</i> (Gauthier, 2016)	19
Figure 11 : Observation microscopique de l'appareil végétatif de <i>Fusarium verticillioides</i> (Gauthier, 2016)	20
Figure 12 : Observation microscopique d' <i>Alternaria alternata</i> (Gauthier, 2016)	20
Figure 13 : Extraction de l'huile essentielle par hydrodistillation (Bertella, 2019)	21
Figure 14 : Chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse (CG-MS) (Laurent, 2017)	22
Figure 15 : Structure chimique des principaux composants identifiés dans les huiles essentielles de la famille végétale des <i>Lamiaceae</i> (Ebadollahi <i>et al.</i> , 2020)	36
Figure 16 : Effet de l'huile essentielle de <i>Thymus vulgaris</i> L. (TEO) sur la production d'ergostérol par <i>Aspergillus flavus</i> (Kohiyama <i>et al.</i> , 2015)	45
Figure 17 : Effets de l'huile essentielle de <i>Thymus vulgaris</i> (TEO) contre <i>A. flavus</i> . (A) Témoin, <i>A. flavus</i> non traité à la TEO ; (B, C, D, E et F) <i>A. flavus</i> traité à la TEO à des concentrations de 50, 100, 150, 250 et 500 µg/mL, respectivement. Images obtenues par microscopie électronique à balayage (SEM) à un grossissement de × 500 (Kohiyama <i>et al.</i> , 2015)	46
Figure 18 : Observation au SEM de la morphologie des hyphes de <i>F. graminearum</i> sous traitement au thymol. Les hyphes ont été traités avec du thymol à (a,b) 0 ; (c,d) 25 ; et (e,f) 100µg ml ⁻¹ pendant 24 h. Les micrographies ont été prises au grossissement de (a,c,e) 500 X et (b,d,f) 2000 X, respectivement (Kohiyama <i>et al.</i> , 2015)	47
Figure 19 : La TEM (Transmission electron microscopy) illustre l'effet de l'HE de <i>M. spicata</i> sur la morphologie d' <i>A.flavus</i> (a témoin, b traitement avec 0,5 µL mL ⁻¹ d'HE, c Traitement avec 1,0 µL mL ⁻¹ d'HE) (Kedia <i>et al.</i> , 2015)	48
Figure 20 : La microscopie électronique à transmission (TEM) illustre l'effet de l'HE de <i>M.spicata</i> sur la structure d' <i>A.flavus</i> (a contrôle, b traitement avec 0,5 µL mL ⁻¹ d'HE, c traitement avec 1,0 µL mL ⁻¹ d'HE). PM membrane plasmique, N noyau, L lomasomes (Kedia <i>et al.</i> , 2015)	48
Figure 21 : Effet de l'huile essentielle de <i>Thymus vulgaris</i> sur l'expression des gènes liés au développement fongique chez <i>A. flavus</i> (brlA, abaA et wetA) (Tian et Chun, 2019)	49

Figure 22 : Effets de différentes concentrations d'huile essentielle de <i>Thymus vulgaris</i> (TEO), (50-500 µg/mL) sur la production d'AFB1 et d'AFB2 par <i>Aspergillus flavus</i> (Kohiyama <i>et al.</i> , 2015).....	53
Figure 23 : Effet de l'huile essentielle de <i>Thymus vulgaris</i> sur l'expression des gènes liés à la biosynthèse des aflatoxines (aflR, aflD et aflK). Inhibition complète a été observé à 20µg/mL. (Tian et Chun, 2019)	54

Liste des abréviations

AFT: Aflatoxine.

AFB1: Aflatoxine B1.

AFB2: Aflatoxine B2.

AFG1: Aflatoxine G1.

AFM1: Aflatoxine M1.

A: Aspergillus.

A: Alternaria.

COOH: Groupe Carboxyle.

CMI: Concentration Minimale Inhibitrice.

CMF: Concentration Minimale Fungicide.

CYA: Czapek Yeast Agar.

°C: Degree Celsius.

DON: Déoxinivalénol.

FB1: Fumonisine B1.

FDA: Food and Drug Administration.

FUM: Fumonisine.

F: Fusarium.

GC-FID: Chromatographie En Phase Gazeuse Couplée à Un Détecteur à Ionisation De Flamme.

M: Mentha.

MCF-7: Michigan Cancer Foundation – 7 (lignée cellulaire de cancer du sein).

MEA: Malt Extract Agar.

MMEA: Maize Meal Extract Agar.

MA: Malt Agar.

MLC: Concentration Minimale Létale.

Na₂SO₄: Sulfate De Sodium Anhydre.

NH: Groupement Amine.

OTA: Ochratoxine A.

OT: Ochratoxine.

O: *Origanum*.

P: *Penicillium*.

PDA: Potato Dextrose Agar.

PMEA: Peanut Meal Extract Agar.

S: *Salvia*.

SBA: Sabouraud Agar.

SDA: Sabouraud Dextrose Agar.

SEM: Scanning Electron Microscopy.

SMKY: Semi Synthétic Liquid Medium.

TEO: Essential Oil of *Thymus Vulgaris*.

T°: Température.

TEM: Transmission Electron Microscopy.

T: *Thymus*.

UE: Union Européenne.

USFDA: United States Food and Drug Administration.

YES: Yeast Extract Sucrose Agar.

ZEN (ZEA): Zéaralénone.

Introduction

Introduction

Les maladies d'origine alimentaire constituent à l'heure actuelle l'un des problèmes de santé publique les plus répandus à l'échelle internationale. Ces maladies sont causées par divers agents en particulier les microorganismes pathogènes (Assaoui, 2018). Les champignons filamenteux (par exemple, *Fusarium*, *Penicillium*, *Aspergillus* et *Alternaria*) possèdent une capacité remarquable à se développer sur des substrats alimentaires variés et au cours de leur développement, et dans certaines conditions, ils produisent des métabolites secondaires toxiques, nommées mycotoxines (El Khoury, 2016 ; Mutlu-Ingok *et al.*, 2020). Qui constituent un groupe de substances toxiques présentant notamment des activités mutagènes, cancérigènes, tératogènes, immunotoxinogènes, et de perturbateurs endocriniens et entraînent aussi à des défauts de qualité et de quantité des produits alimentaires (Hadjeba-Medjdoub, 2012 ; Mutlu-Ingok *et al.*, 2020).

Il semble donc impératif de développer des moyens de lutte pour prévenir la contamination des aliments par ces composés toxiques et/ou d'en limiter les effets néfastes (El Khoury, 2016). Dans ce contexte, la lutte chimique demeure la principale mesure pour réduire l'incidence des contaminations des denrées alimentaires (Ben Miri, 2019).

Cependant, L'utilisation aléatoire de fongicides chimiques entraîne divers risques pour la santé, la pollution de l'environnement et peuvent provoquer le développement de souches fongiques résistantes (Souza *et al.*, 2020).

Ces exigences ont conduit les chercheurs à étudier des composés naturels comme alternatives à l'utilisation d'agents chimiques (Jeršek *et al.*, 2014).

À cet égard, l'utilisation de différents produits végétaux, en particulier les huiles essentielles et leurs composés bioactifs, a été reconnue comme une stratégie verte et des alternatives plus sûres aux produits chimiques synthétiques (Chaudhari *et al.*, 2019).

De nombreuses études ont montré les propriétés antifongiques des HEs de *Piperaceae*, *Poaceae*, *Myrtaceae*, *Lauraceae* et *Lamiaceae* (Souza *et al.*, 2020).

La présente étude se concentre sur certaines espèces de la famille des *Lamiaceae* en raison de leur disponibilité en huiles essentielles et leur présence dans la région méditerranéenne notamment en Algérie.

L'objectif de notre travail est la collecte des informations sur l'activité antifongique et antimycotoxinogène des huiles essentielles de certaines espèces appartenant à la famille des *Lamiaceae* (*Origanum*, *Mentha*, *Salvia*, *Thymus*), concernant leur pouvoir d'inhibition de la croissance de quelques espèces de moisissures toxigènes et sur la production de leurs mycotoxines.

La présente étude comporte, une première partie consacrée à la synthèse bibliographique subdivisée en deux chapitres la première concernant les moisissures et mycotoxines et le deuxième chapitre présente les plantes médicinales et leurs métabolites secondaires (les huiles essentielles). Le troisième chapitre présente l'approche expérimentale utilisée dans les articles analysés et étudiés dans ce travail. Le quatrième chapitre est consacré à la présentation des résultats des articles analysés et leur discussion scientifique. Enfin une conclusion générale qui résume l'ensemble de l'étude.

Synthèse
Bibliographiques

Chapitre 1:

Moisissures et Mycotoxines

Chapitre 01 : Moisissures et Mycotoxines

1.1. Généralité sur les moisissures et mycotoxines

Le terme «moisissure» est communément utilisé pour désigner des champignons microscopiques filamenteux (filaments ramifiés), appelés les hyphes, dont l'ensemble est connu sous le nom de mycélium (Ben Miri, 2019). Il existe entre 65 000 à 100 000 espèces différentes, les moisissures constituent un ensemble hétérogène d'environ 20 000 espèces (Azzoune, 2011 ; Ben Miri, 2019).

Les moisissures sont ubiquitaires, hétérotrophes, eucaryotes appartiennent en majorité aux classes: Zygomycètes, Ascomycètes, Basidiomycètes et Deutéromycètes (Azzoune, 2011).

Ces microorganismes produisent une grande variété de métabolites secondaires, certains d'entre eux sont très utiles à l'homme et présentent un intérêt considérable dans les différents domaines (agricultures, biotechnologie, environnement, santé, etc.), comme la production d'enzymes (protéases et pectinases) (Azzoune, 2011 ; Ben Miri, 2019), de protéines, ou encore d'agents aromatiques. Ils peuvent aussi être utilisés dans la production de médicaments comme les antibiotiques (ex: amoxicilline, Pénicillines), les immunosuppresseurs (ex: ciclosporine), les anticorps monoclonaux (Gauthier, 2016), les agents anti-infectieux et anticancéreux qui sont des métabolites utiles étant atoxigène (Adekoya *et al.*, 2019).

D'autre part, certains métabolites capables de provoquer d'importantes détériorations, notamment dans le domaine agronomique (Ben Miri, 2019) ce sont des métabolites toxigènes ou mycotoxines.

Le terme mycotoxine est une combinaison du mot Grec *mykos* (champignon) et du Latin *toxicum* (poison), C'est à l'occasion d'accidents toxiques survenus chez les animaux, en particulier celui ayant entraîné la mort de dindons d'élevage en Angleterre en 1962 (**Turkey X disease**) que les mycotoxines ont été initialement identifiées (El Khoury, 2016 ; Redouane-Salah, 2016 ; EL khoury, 2017).

1.2. Principales moisissures mycotoxinogènes

Cinq genres de champignons, dits toxigènes, ont la capacité de produire des mycotoxines, Il s'agit des genres : *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Alternaria* et *Claviceps* (Azzoune, 2011 ; Redouane-Salah, 2016 ; Haque *et al.*, 2020) voir le **Tableau a (annexe 1)**. Ces

dernières sont classés en deux groupes majeurs : **(i)** les contaminants du champ (principalement *Fusarium* et *Alternaria*) pouvant infecter les plantes vivantes et **(ii)** ceux du stockage (*Penicillium* et *Aspergillus*) capables de se développer après la récolte, au cours du séchage, du stockage, du transport et de la distribution (Atoui, 2006 ; El Khoury, 2016).

Les autres champignons producteurs de mycotoxines comprennent *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Myrothecium*, *Monascus*, *Phomopsis*, *Pithomyces*, *Trichoderma*, *Stachybotrys*, *Acremonium*, *Bipolaris*, *Byssochlamys* (*Paecilomyces*), *Chrysosporium*, *Cochliobolus*, *Cylindrocarpon*, *Gliocladium*, *Helminthosporium*, *Mortierella*, *Mucor*, *Neotyphodium*, *Pyrenophora*, *Stagonospora*, *Trichothecium* et *Verticimonosporium* (Guezlane-Tebibel *et al.*, 2016 ; Chlebicz et Śliżewska, 2020). Les mycotoxines peuvent être produites à tous les stades de la chaîne alimentaire depuis le champ jusqu'au produit fini (Azzoune, 2011) et les conditions prédisposant à la production de toxines sont des facteurs intrinsèques et des facteurs extrinsèques principalement liées à des facteurs physiques ou environnementaux (notamment la température (**T°**), l'humidité (**H**), le **pH**, l'activité de l'eau (**aw**), Tension d'oxygène (**O₂**), chimiques (l'emploi d'insecticides). Et biologiques (les insectes, les acariens, les interactions microbiennes) (Guezlane-Tebibel *et al.*, 2016) **fig. 1**.

Les mauvaises conditions de stockage des récoltes favorisent également le développement des champignons et la formation de mycotoxines (Agriopoulou *et al.*, 2020).

Une fois produites, les mycotoxines peuvent être retrouvées dans toutes les parties de la colonie fongique: les hyphes, le mycélium, les spores et aussi dans le substrat sur lesquelles développement. Il convient également de souligner que, dans la majorité des cas, les humains et les animaux sont exposés à plusieurs mycotoxines. Ce constat est lié à trois raisons principales : une mycotoxine peut être produite par plusieurs espèces fongiques différentes, inversement, une même espèce est parfois capable de produire simultanément plusieurs mycotoxines (Ben Miri, 2019).

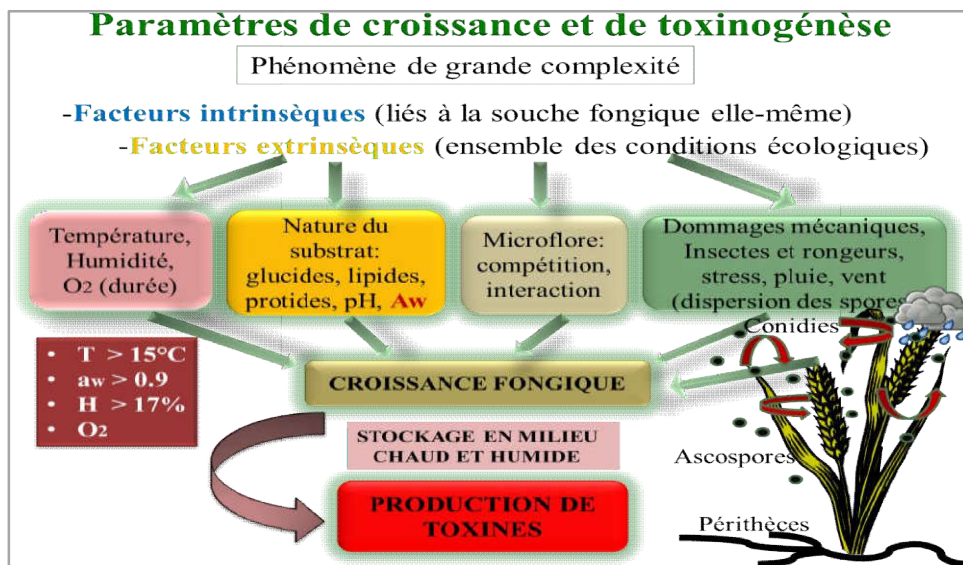


Figure 1 : Les paramètres responsables de la mycotoxinogénèse (Guezlane-Tebibel *et al.*, 2016).

1.3. Les principales classes des mycotoxines

1.3.1. Selon leur origine biologique (La mycotoxinogénèse)

Les mycotoxines sont des métabolites secondaires synthétisés pendant la phase stationnaire, après les stades de multiplication et de croissance (Redouane-Salah, 2016). Ces mycotoxines présentent des origines chimiques très diverses correspondant à la différence de leurs voies de biosynthèse (Bejaoui, 2005). Elles sont classées en trois différentes voies métaboliques, selon leur origine biologique et leur structure chimique (Redouane-Salah, 2016).

1.3.1.1. La voie des acides aminés

Leur caractéristique commune est la présence des groupes-COOH et -NH dans leur structure chimique. Font partie **des dérivés des acides aminés**: les alcaloïdes de l'ergot, l'Acide aspergillique, la Roquefortine, les Sporidesmines, l'Acide cyclopiazonique, la Slaframine, la Tryptoquivaline, la Gliotoxine (Gauthier, 2016).

1.3.1.2. La voie des polycétoacides (polyacétates)

Les Ochratoxines, les Aflatoxines, la Zéaralénone, la Citrinine, la Patuline ...etc. Sont issues de la métabolisation **des polycétoacides** (Gauthier, 2016).

1.3.1.3. La voie des terpènes

Ce sont des composés organiques principalement issus des résines produites par les végétaux. La Toxine T2, le Déoxynivalénol, la Fusarénone, les Roridines ou encore les Verrucarines sont **des dérivés des terpènes** (Gauthier, 2016).

1.3.2. Selon leurs principaux effets toxiques

Plus de, **300 mycotoxines** ont été identifiées mais seulement **une vingtaine (20)** d'entre elles ont montré un profil toxicologique préoccupant pour l'homme et l'animal. Parmi cette vingtaine, **six familles** de mycotoxines sont fréquemment rencontrées chez les filières agro-alimentaires: l'aflatoxine, la patuline, l'ochratoxine, la fumonisine, les tricothécènes et la zéaralénone (EL khoury, 2017).

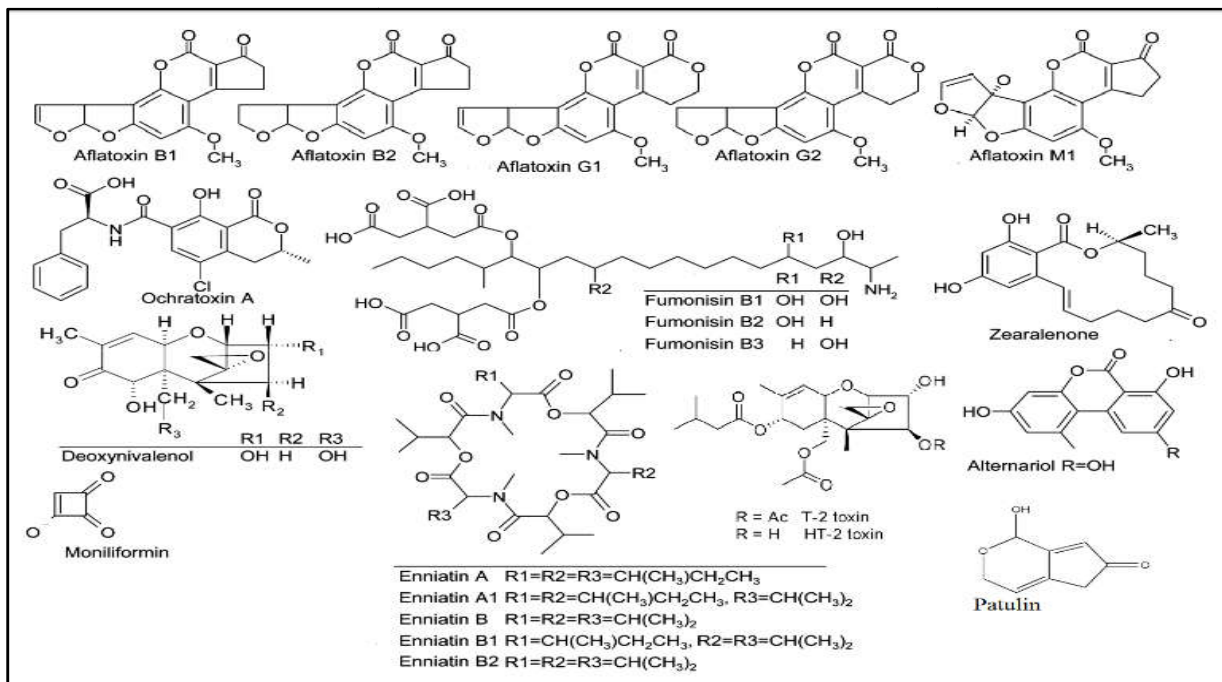


Figure 2 : Structures chimiques des principales mycotoxines (Agriopoulou *et al.*, 2020).

1.4. Les mycotoxines dans la chaîne alimentaire

Les mycotoxines sont parmi les toxines les plus importantes et les plus dangereuses associées à la sécurité alimentaire, qui peuvent être produites à tous les stades de la chaîne alimentaire depuis le champ jusqu'au produit fini (Bejaoui, 2005 ; Agriopoulou *et al.*, 2020).

La plupart des mycotoxines sont chimiquement et thermiquement stables pendant la transformation des aliments, y compris la cuisson, l'ébullition, la cuisson au four, la friture, le

rôtissage et la pasteurisation, Elles sont présentes dans de nombreux produits de l'alimentation humaine et animale, Notamment les produits d'origine végétale, comme les céréales, les fruits secs, les légumes les épices, le café, le cacao, les fourrages. Parmi les produits d'origine animale, le lait, les produits laitiers, les œufs, les viandes, les abats (Alshannaq et Yu, 2017).

L'entrée des mycotoxines dans la chaîne alimentaire de l'homme s'effectue, soit par des denrées consommées **directement** (arachides, pistaches,...), soit **indirectement** par l'ingestion d'aliments provenant d'animaux exposés (viande, œufs ou lait) (Azzoune, 2011).

Une fois ingérées, les mycotoxines peuvent causer de diverses **maladies** ou "**mycotoxicoses**" (EL khoury, 2017) avec des effets sur différents organes du corps humain, qui peuvent potentiellement causer la mort et peuvent être catégorisés comme **aigus** ou **chroniques**. Des mycotoxicoses aiguës et chroniques pourraient se développer en fonction de l'état de santé des individus, du type de mycotoxine auquel ils ont été exposés, ainsi que de la quantité et de la durée de l'exposition (Al-Jaal *et al.*, 2019).

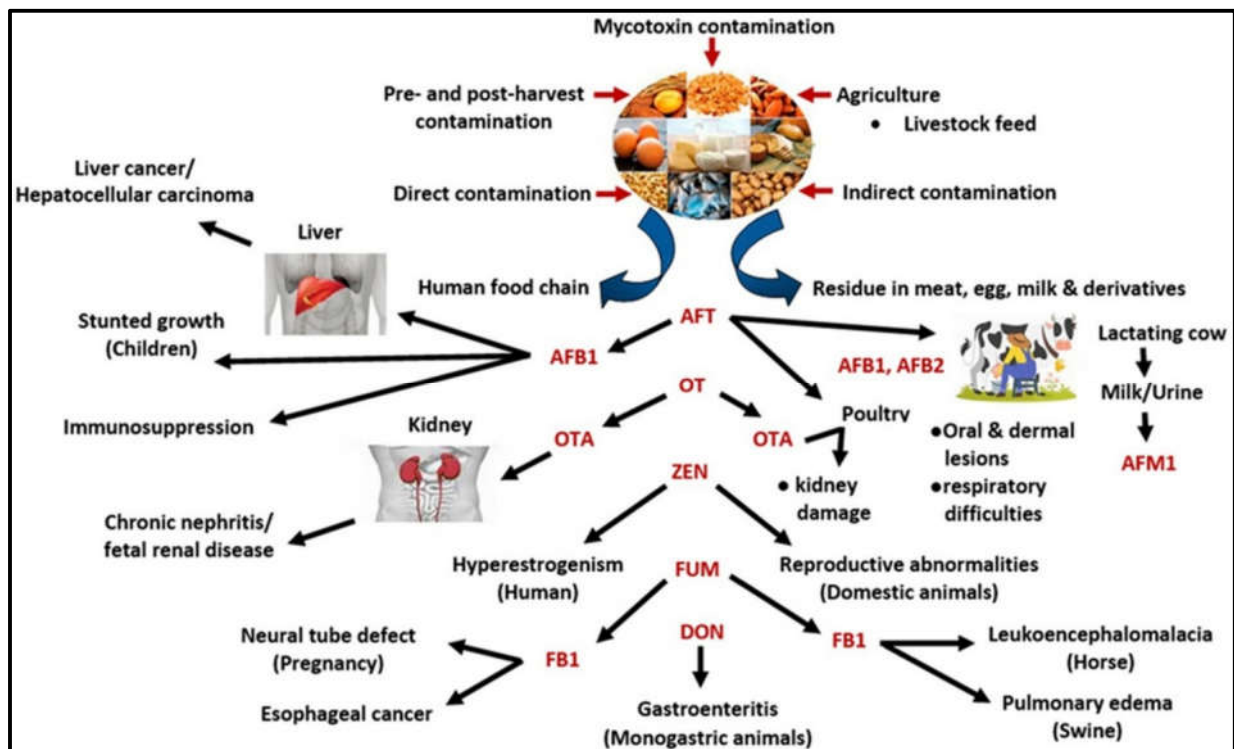


Figure 3 : La présence des mycotoxines dans la chaîne alimentaire et leur effet sur l'homme et l'animal (Haque *et al.*, 2020).

1.5.Réglementation des mycotoxines à l'échelle internationale

Afin de maintenir un niveau élevé de protection de la santé humaine et des consommateurs, des normes strictes sont établies par les organismes de réglementation tels que l'USFDA (United States Food and Drug Administration), l'Union européenne (UE), qui précisent les niveaux maximaux de certaines mycotoxines dans les denrées alimentaires (Mishra *et al.*, 2018 ; Haque *et al.*, 2020). En 2003, l'Union Européenne a proclamé des réglementations strictes (recommandations N° 1425/2003 et N° 1881/2006) en fixant les concentrations autorisées de chaque mycotoxine (EL khoury, 2017). **Tableau a (annexe 1)** donne la liste des principales toxines, des principaux producteurs et de certains produits alimentaires couramment contaminés, ainsi que les limites réglementaires de la FDA américaine et de l'UE pour les niveaux de mycotoxines dans les denrées alimentaires (Agriopoulou *et al.*, 2020).

1.6.Détoxification biologiques

En raison des effets néfastes de mycotoxines (Kabak *et al.*, 2006), Diverses approches pour contrôler et prévenir ces derniers dans les denrées alimentaires ont été développées (Makhuvele *et al.*, 2020). Toutes ces stratégies visent à éviter le développement de champignons toxigènes et par conséquent, de mycotoxines (Agriopoulou *et al.*, 2020).

Ces stratégies basées sur différents systèmes tels que les systèmes agronomiques (le système « **HACCP** » (**H**azard **A**nalysis **C**ritical **C**ontrol **P**oint) (Hadjeba-Medjdoub, 2012), chimiques et physiques (Conte *et al.*, 2020). Mais tous ces systèmes ne conviennent pas à des fins différentes. L'approche basée sur les agents biologiques est très prometteuse en termes d'efficacité et de spécificité, avec un impact positif sur l'environnement, la sécurité alimentaire (Nešić *et al.*, 2021).

La détoxification des mycotoxines par des moyens biologiques tels que les champignons antagonistes (*Trichosporon mycotoxinivorans* et *Rhizopus*), les bactéries (*Lactobacillus*, *Bifidobacterium*), les enzymes (que l'oxydase, la peroxydase, la laccase, la réductase, l'estérase, la carboxylestérase, l'aminotransférase, la lactono hydrolase), les plantes médicinales, offre une approche alternative au contrôle des mycotoxines (Agriopoulou *et al.*, 2020).

La détoxification biologique fait référence à la dégradation ou à la transformation enzymatique de mycotoxines en composés moins toxiques comprenant l'acétylation, la

glycosylation, le clivage du cycle, l'hydrolyse, la désamination et la décarboxylation (Haque *et al.*, 2020).

1.6.1. Utilisation de plantes

Les plantes vertes produisent naturellement divers métabolites secondaires tels que les composés phénoliques, les terpenoïdes et les alcaloïdes, afin de se protéger contre les agressions externes (biologique, mécanique ou climatique). Ces composés ont montré au cours des années leur utilité contre les contaminations fongiques et/ou mycotoxiques (EL khoury, 2017).

L'utilisation des extraits naturels de plantes et les épices sont connus pour empêcher la croissance des moisissures et la production de mycotoxines par exemple les anthraquinones, les coumarines et les flavonoïdes peuvent agir comme de puissants inhibiteurs de la biotransformation de l'aflatoxine B1 (Kabak *et al.*, 2006).

Aussi, Les herbes naturelles telles que le thé vert, la cannelle, la camomille, le gingembre, le poivre noir, la coriandre, les graines noires, la réglisse, l'ail, les graines de fenugrec, les graines de basilic et les graines de roquette peuvent détoxifier les mycotoxines (Haque *et al.*, 2020).

Chapitre 2 :
Les plantes médicinales et
leurs métabolites
secondaires (les huiles
essentiels)

Chapitre 02 : Les plantes médicinales et leurs métabolites secondaires (les HEs)

2.1. Partie 01: l'activité antifongiques de certaines plantes médicinales

2.1.1. Généralité sur l'utilisation des plantes médicinales

Actuellement les plantes aromatiques possèdent un atout considérable et jouissent d'une popularité grâce à la découverte progressive de leurs propriétés médicinales antibactériennes, anti-inflammatoires, antiseptiques, antivirales, **antifongiques**, antitoxiques, anti-tumoral, insecticides, insectifuges, tonifiantes, stimulantes, et calmantes, etc. ainsi que leurs utilisations dans d'autres domaines d'intérêt économique tels que la parfumerie, la cosmétique, l'aromathérapie et l'agroalimentaire (Zenasni, 2014).

2.1.2. Activité antifongique/antimycotoxinogènes des plantes médicinales aromatiques

Les espèces aromatiques sont retrouvées en grande majorité chez les végétaux supérieurs et dans un nombre limité de familles (Laurent, 2017), à savoir les *Asteraceae*, *Liliaceae*, *Apocynaceae*, *Solanaceae*, *Rutaceae*, *Piperaceae*, (Tariq *et al.*, 2019) *Lamiaceae*, *Myrtaceae*, *Cupressaceae*, *Pinaceae*, *Apiaceae*, *Lauraceae*, *Geraniaceae* (Laurent, 2017).

Plus rarement, *Poaceae*, *Ericaceae*, *Annonaceae*, *Zingiberaceae* (Laurent, 2017). Plusieurs études *in vitro* ont été publiées confirmant l'effet des huiles essentielles et de leurs principaux composés sur les champignons pathogènes. Certaines des familles de plantes, leur activité antifongique de l'huile essentielle sont résumées ci-dessous.

Tableau 1: Activité antifongiques de certaines plantes.

famille	Plantes (HEs)	Souches fongiques	Référence
<i>Asteraceae</i>	<i>Tagetes patula</i> L	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Penicillium digitatum</i>	(Nuzhat et Vidyasagar, 2014).
<i>Myrtaceae</i>	<i>Syzygium aromaticum</i>	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Alternaria alternata</i>	(Nuzhat et Vidyasagar, 2014).
	<i>Melaleuca alternifolia</i>	<i>Fusarium graminearum</i> , <i>Fusarium culmorum</i>	(Moumni <i>et al.</i> , 2021).
<i>Rutaceae</i>	<i>Citrus hystrix</i>	<i>Alternaria brassicicola</i> , <i>Aspergillus flavus</i> , <i>Bipolaris oryzae</i> , <i>Fusarium moniliforme</i> , <i>F. proliferatum</i> , <i>Pyricularia arisea</i> , <i>Rhizoctonia solani</i>	(Nuzhat et Vidyasagar, 2014).

<i>Lauraceae</i>	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	<i>A.niger, A.fumigatus, A.nidulans, A.flavus</i>	(Nuzhat et Vidyasagar, 2014).
<i>Cupressaceae</i>	<i>Juniperus communis</i>	<i>Aspergillus</i>	(Nuzhat et Vidyasagar, 2014).
<i>Zingiberaceae</i>	<i>Zingiber officinale Roscoe</i>	<i>Aspergillus flavus, A.parasiticus</i>	(Nuzhat et Vidyasagar, 2014).
<i>Apiaceae</i>	<i>Cuminum cyminum</i>	<i>Aspergillus</i>	(Nuzhat et Vidyasagar, 2014).
<i>Ranunculaceae</i>	<i>Nigella sativa</i>	<i>A. Flavus</i>	(Nuzhat et Vidyasagar, 2014).

D'autres familles importantes comprenant d'autres espèces sont rapportées dans le **Tableau b (annexe 2)**.

2.1.3. Présentation de La famille des *Lamiaceae* (lamiacées)

Dans le règne végétal, la famille des *Lamiaceae* (syn. *Labiatae*) est l'une de plusieurs plantes médicinales et aromatiques (Singh et Pandey, 2018), l'une des plus grandes familles d'herbes au monde comprend 236 genres et entre 6900 à 7200 espèces (Tzima *et al.*, 2018), Entre autre les genres *Origanum* (origan), *Ocimum* (basilic), *Thymus* (thym), *Salvia* (sauge), *Lavandula* (lavande), *Melissa* (mélisse), *Rosmarinus* (romarin) et *Mentha* (menthe) (Kennedy *et al.*, 2018).

Les régions méditerranéennes et d'Asie centrale présentent une grande diversité d'espèces des *Lamiaceae* (Ayaz *et al.*, 2020). Plus de la moitié des huiles essentielles de cette famille ont une bonne activité antifongique (Karpiński, 2020).

2.1.3.1. Classification phylogénétique

La Classification phylogénétique selon Boulade (2018) est la suivante

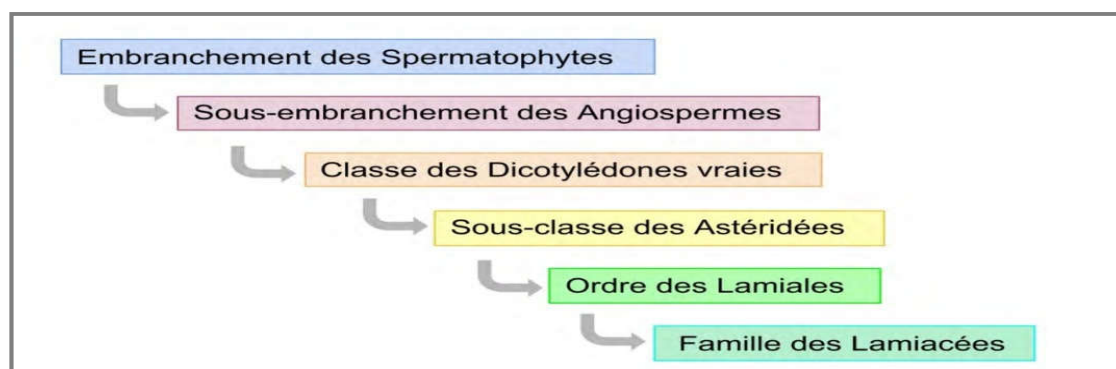


Figure 4 : Classification phylogénétique de la famille des *lamiaceae* (Boulade, 2018).

2.1.3.2. Les principaux genres

Parmi les principaux genres on peut citer (Tableau 2)

Tableau 2 : Les principaux genres de la famille des *Lamiaceae* et leurs activités biologiques.

Genre	Nombre d'espèces	Quelques espèces	Activité biologiques	Références
<i>Thymus</i>	250 et 350 espèces	<i>T. Vulgaris</i> , <i>T. Capitatus</i> , <i>T. Dreatensis</i> , <i>T. Kotshyanus</i> , <i>T. Mastichina</i> , <i>T. Fontanesii</i>	*thé tonique, *antiseptique, *expectorant, *carminative, *traitement des rhumes, *antispasmodiques, *antimicrobiennes, *antioxydantes, *analgésiques *anti-inflammatoires	(Zenasni, 2014).
<i>Mentha</i>	25 à 30 espèces	<i>M. spicata</i> , <i>M. x piperita</i> , <i>M. canadensis</i> , <i>M. pulegium</i> , <i>M. longifolia</i> , <i>M. arvensis</i> , <i>M. suaveolens</i> , <i>M. rotundifolia</i>	médicament contre *anorexie, *flatulence, *bronchite, *les troubles hépatiques	(Singh et Pandey, 2018).
<i>Salvia</i>	environ 900 espèces	<i>S. officinalis</i> , <i>S. fruticosa</i> , <i>S. Sclarea</i> , <i>S. Lavandulifolia</i>	médicament contre *la fièvre, * les rhumatismes, *la transpiration, * la bronchite chronique, *les maladies mentales et nerveuses	(Abu-Darwish <i>et al.</i> , 2013).
<i>Origanum</i>	environ 70 espèces	<i>O. compactum</i> , <i>O. heracleoticum</i> , <i>O. vulgare</i>	un effet *antiseptique, *tonique, *anti-inflammatoire, *diurétique	(Chikhoun, 2007 ; Zenasni, 2014 ; Boulade, 2018).

La plupart des genres ont une importance due à leur richesse en huiles essentielles (Bouhaddouda, 2016).

2.2. Partie 02 : Les huiles essentielles (HEs)

2.2.1. Généralité

Les huiles essentielles font partie de la classe des terpènes (c'est la plus grande catégorie de métabolites secondaires avec plus de 22000 molécules (Toure, 2015). Actuellement, il existe environ 3000 huiles essentielles établies, certaines d'entre elles (300) sont importantes en particulier pour les industries alimentaires, sanitaires, de parfumerie et agronomiques (Tariq *et al.*, 2019).

Les huiles essentielles (= essences = huiles volatiles) (Zenasni, 2014) sont des complexes naturels, liquides, huileux, hydrophobes, concentrés, aromatiques et volatils (Nuzhat et Vidyasagar, 2014 ; Zenasni, 2014), synthétisés par tous les organes des plantes aromatiques, fleurs, bourgeons, feuilles, graines, fruits, racines, rhizomes, bois et écorce en quantités relativement faibles. Ils sont stockés dans des cellules sécrétoires, des cavités ou des canaux, des cellules épidermiques ou des poils glandulaires (Raveau *et al.*, 2020).

2.2.2. Composition chimique et classification des HEs

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes d'environ 20 à 60 constituants chimiques en quantités variables (Tariq *et al.*, 2019), principalement les terpènes, mais elles peuvent contenir aussi les phénylpropanoïdes et autres composés différents (Bertella, 2019). La caractérisation chimique de nombreuses huiles essentielles révèle la présence de seulement 2-3 composants majeurs (20–70%) par rapport aux autres composants présents (Swamy *et al.*, 2016).

2.2.2.1. Les terpènes

Sont composés d'unités isoprènes et sont généralement représentés par la formule chimique $(C_5H_8)_n$ (Swamy *et al.*, 2016). Le groupe est souvent représenté par les monoterpènes, sesquiterpènes et même les diterpènes (Bertella, 2019). Ils peuvent être acycliques, monocycliques ou bicycliques, combinés à de nombreuses fonctions telles que des fonctions alcools, aldéhydes, cétones, esters, ou encore phénols (Boulade, 2018).

2.2.2.2. Phénylpropanoïdes

Les phénylpropanoïdes ou composés phénoliques, sont biosynthétisés à partir des acides aminés aromatiques qui sont la phénylalanine et la tyrosine (Bouhaddouda, 2016). Seulement environ 50 phénylpropanoïdes ont été décrits. Les phénylpropanoïdes importants comprennent les acides hydroxycinnamiques, l'anéthole, le chavicol, l'eugénol (Bertella, 2019).

2.2.2.3. Composés d'origine diverses

Il s'agit de produits résultant de la transformation de molécules non volatiles (composés issus de la dégradation d'acides gras ou d'autres composés) (Labioud, 2016) comme Les molécules de soufre et d'azote (Bertella, 2019).

2.2.3. Activités biologique des huiles essentielles

Les HEs présentent plusieurs activités biologiques (Bertella, 2019), elles constituent comme une source de composés biologiquement importante antibactériens, insecticides, fongicides, herbicides, antioxydants, anti-inflammatoires, Activité anticancéreuse, antivirale (Bouhaddouda, 2016 ; Raveau *et al.*, 2020). Parmi ces activités on peut citer :

2.2.3.1. Activité antibactérienne

Les HEs les plus étudiées pour leurs propriétés antibactériennes appartiennent aux *Labiatae* (origan, thym, sauge et romarin) (Labioid, 2016). Par exemple, Les huiles essentielles de **thym**, **d'origan** sont révélées posséder une forte activité antibactérienne contre *Salmonella typhi*, *Staphylococcus aureus* et *Pseudomonas aeruginosa*. Aussi, les huiles essentielles de **Salvia** (*S. officinalis*, *S. sclarea* et *S. lavandulifolia*) présentent des propriétés antimicrobiennes puissantes (L'huile essentielle de *Salvia officinalis*, inhibe les bactéries telles que *Staphylococcus aureus* et *Providencia stuartii*) (Swamy *et al.*, 2016) L'huile volatile de thym, exerce un effet antibactérien sur les bactéries Gram positives et Gram négatives (Kowalczyk *et al.*, 2020).

2.2.3.2. Activité antivirale

Jusqu'à présent, il est évident que de nombreuses huiles essentielles possèdent des propriétés antivirales contre de nombreux virus tels que le virus de l'herpès simplex de type 1 (HSV-1) et de type 2 (HSV-2), le virus de la dengue de type 2, le virus Junin, l'influenza virus adénovirus de type 3, le poliovirus et le coxsackievirus B1 (Swamy *et al.*, 2016) comme exemple, L'HE et les extraits de **thym** présentent une activité antivirale diversifiée contre des virus tels que le virus de la grippe, le HSV-1, le HSV-2 et le VIH-1 (Virus Immuno déficience Humaine) (Kowalczyk *et al.*, 2020).

Les études *in silico* sur l'activité anti-Sars-CoV-2 (Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2) du thymol sont également très prometteuses (Kowalczyk *et al.*, 2020). Les huiles essentielles *d'Origanum acutidens*, *Salvia limbata* et *Salvia sclarea* ont été testé sur le virus de la grippe (Bertella, 2019).

2.2.3.3. Activité antioxydante

Les huiles essentielles extraites à partir de plantes naturelles, présentent des propriétés antioxydantes et antiradicalaires. *Mentha aquatica*, *Mentha longifolia*, et *Mentha piperita* sont

des sources importantes d'antioxydants naturels (Bertella, 2019). Aussi, de nombreuses huiles essentielles, comme les huiles de l'origan et thym possèdent de puissants composés antioxydants (Zenasni, 2014).

2.2.3.4. Activité anticancéreuse

Certaines huiles essentielles présentent des activités anti-tumorales et sont utilisées dans le traitement préventif de certains types de cancers (Bouhaddouda, 2016), les extraits de **sauge** ont démontré des effets pro-apoptotiques et inhibiteur de croissance sur des lignées de cellules de cancer du sein MCF-7, de cancer colorectal HCT116, de carcinome du poumon A549 et de mélanome A375, M14, 12058 (Boulade, 2018).

L'extrait de *Salvia officinalis* possède des effets cytotoxiques par stimulation et augmentation de la libération de TNF- α (Tumor Necrosis Factor alpha) et oxyde nitrique par les macrophages (Boulade, 2018).

2.2.3.5. Activité anti-inflammatoire

Le menthol contenu dans l'huile essentielle de *Mentha x piperita* apporte un effet vasoconstricteur et anesthésiant. Le linalool présent dans l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* possède une action stimulante immunitaire (Mayer, 2012).

2.2.3.6. Activité antifongiques

Un grand nombre de composés volatils ont été testés contre une large gamme de champignons. Les huiles essentielles les plus étudiées dans la littérature pour leurs propriétés antifongiques appartiennent à la famille des *Labiatae* : thym, origan, lavande, menthe, romarin, sauge (Labioud, 2016).

➔ L'activité antifongiques / antimycotoxinogènes c'est le principal objectif de la présente étude.

Partie
Analyse des articles

Chapitre 3 :

Matériel & Méthodes

Chapitre 03 : Matériel et Méthodes

L'objectif de travail

L'objectif de la présente étude était la collecte des informations sur le potentiel antifongique et antimycotoxinogène des huiles essentielles de certaines espèces appartenant à la famille des *Lamiaceae* (*Mentha*, *Salvia*, *Thymus*, *Origanum*), sur le pouvoir d'inhibition de la croissance de quelques espèces de moisissures toxigènes et sur la production de leurs mycotoxines. Ensuite une comparaison entre les résultats de plusieurs études récentes qui ont montré que certaines huiles essentielles possèdent une activité antifongique plus puissante que d'autres, contre ces moisissures et leurs métabolites.

3.1. Matériel biologique

3.1.1. Matériel végétal :

Selon les articles que nous avons étudiés, certaines plantes appartenant à la famille des Lamiacées sont réputées avoir un potentiel antifongique puissant à savoir : *Origanum*, *Mentha*, *Thymus*, *Salvia*. Ces genres comprennent plusieurs espèces botaniques les plus étudiées sont :

- **Origanum** (*O. vulgare* (**fig. 5**), *O. majorana*, *O. dictamnus*, *O. acutidens*...).
- **Mentha** (*M. piperita* (**fig. 6**), *M. spicata*, *M. pulegium*, *M. arvensis*, *M. viridis*...).
- **Thymus** (*T. vulgaris* (**fig. 7**), *T. kotschyanus*, *T. daenensis*, *T. mastichina*, *T. satureioidis*, *T. capitatus*, *T. fontanesii*, *T. tosevii*, *T. eriocalyx*, *Thymus x-porlock*...).
- **Salvia** (*S. Officinalis* (**fig. 8**), *S. fruticosa*, *S. sclarea*...).

Les membres de ces genres sont les plus souvent des plantes odorantes, herbacées à tige quadrangulaire avec des feuilles opposées par deux et fleurs irrégulières (Hilan *et al.*, 2006). Ce sont des plantes distribuées dans différents écosystèmes naturels (Ebadollahi *et al.*, 2020) (l'Asie centrale, le continent américain, les îles du Pacifique, l'Afrique équatoriale (Kabouche, 2005) et principalement dans la région méditerranéenne (Ghasemi *et al.*, 2020). Les critères de choix de ces genres sont basés sur l'abondance de ces plantes dans notre région et l'utilisation fréquentes dans nos traditions médicinales, leurs diverses propriétés biologiques et aussi leurs richesses en huiles essentielles de grande qualité dans toutes les parties aériennes, en particulier dans les feuilles et les fleurs (Ebadollahi *et al.*, 2020) (voir le **tab. 3**).

Il est à noter que les espèces présentées dans les photos susmentionnées vont être les objectifs de cette partie d'étude comparative.



Figure 5 : *Origanum vulgare* (Mansouri, 2013).



Figure 6 : *Mentha piperita* (Boulade, 2018).



Figure 7 : *Thymus vulgaris* (Boulade, 2018).



Figure 8 : *Salvia officinalis* (Boulade, 2018).

3.1.2. Matériel fongique

Les espèces mycotoxigènes les plus étudiées pour testés l'activité antifongiques des différentes huiles essentielles de plantes, celles qui appartient aux genres

- *Aspergillus* (*A. flavus*, *A. niger*, *A. fumigatus*, *A. ochraceus*, *A. parasiticus*...)
- *Alternaria* (*A. alternata*, *A. brassicae*, *A. solani*)
- *Penicillium* (*P. chrysogenum*, *P. verrucosum*, *P. expansum*)
- *Fusarium* (*F. verticillioides*, *F. proliferatum*, *F. oxysporum*, *F. graminearum*, *F. culmorum*, etc.).

Voir le (tab. 3).

Notre choix a porté essentiellement sur ces espèces fréquemment impliquées dans diverses maladies dangereuses associées à la santé humaines et la sécurité alimentaire et aussi pour leur pouvoir de production de mycotoxines.

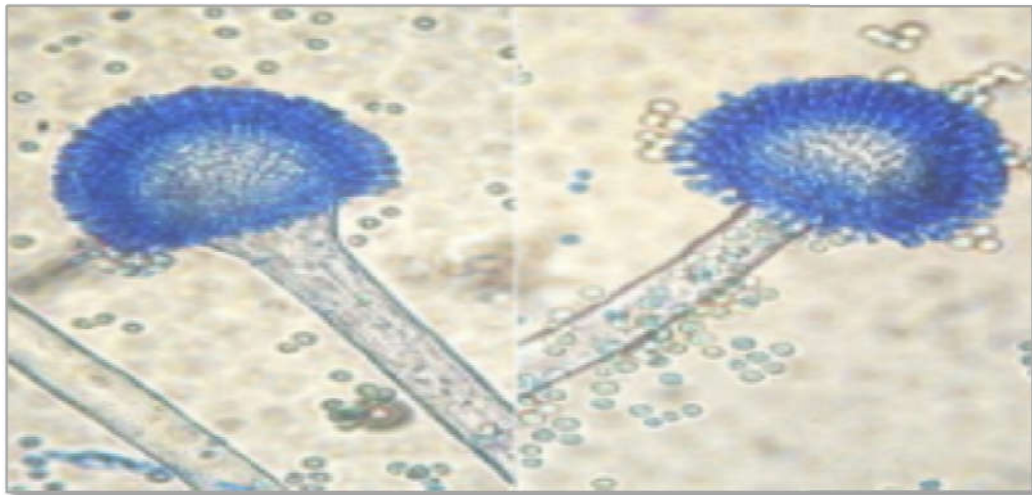


Figure 9 : Observation microscopique (x400) des conidiophores d'*A. Flavus* (El Khoury *et al.*, 2017).

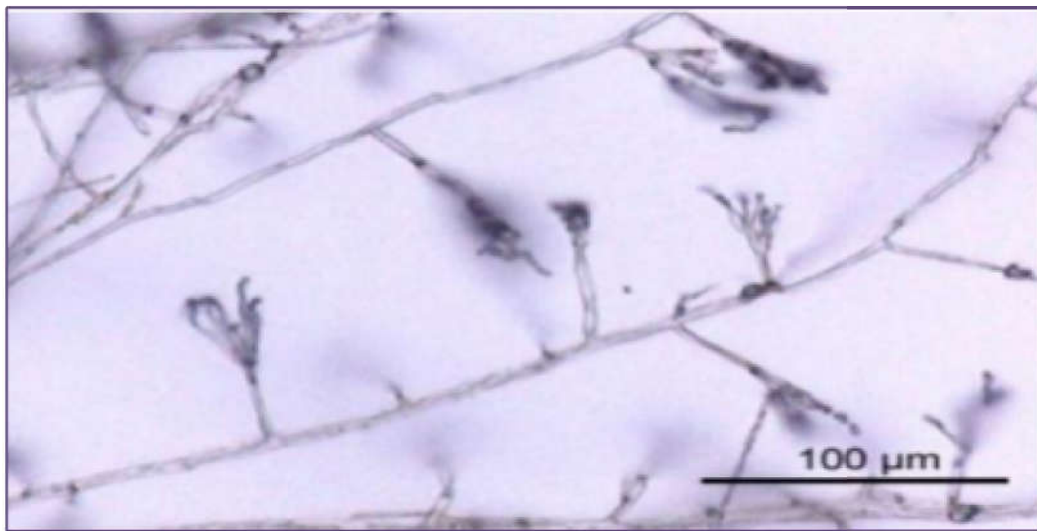


Figure 10 : Observation microscopique du mycélium de *penicillium* (Gauthier, 2016).



Figure 11 : Observation microscopique de l'appareil végétatif de *Fusarium verticillioides* (Gauthier, 2016).

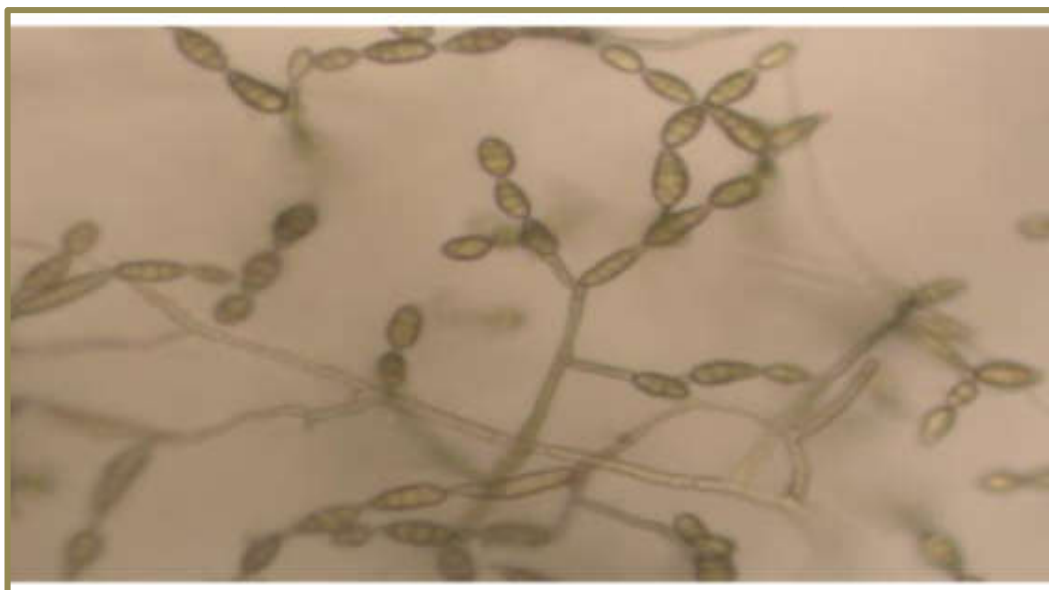


Figure 12 : Observation microscopique d'*Alternaria alternata* (Gauthier, 2016).

3.2.Méthodes

3.2.1. Extraction des huiles essentielles

Différentes méthodes sont mises en œuvre pour l'extraction des huiles essentielles, parmi lesquelles on peut citer l'extraction par Entraînement à la vapeur d'eau et l'extraction par hydrodistillation (Labioud, 2016).

En général, le choix de la méthode d'extraction dépendra de la nature du matériel végétal à traiter (graines, feuilles, racines) et la nature des composés à extraire (Khoukhal, 2014).

Dans la présente étude l'extraction de l'huile essentielle à partir des parties aériennes a été réalisée par hydrodistillation grâce a un appareil de type Clevenger (voir le **tab.3**) pendant 3 heures. Les huiles distillées ont été séchées sur sulfate de sodium anhydre (Na_2SO_4) et stockées dans des flacons opaques et hermétiques à 4°C (voir la **fig. 13**) (Bertella, 2019 ; Moghaddam et Mehdizadeh, 2020).

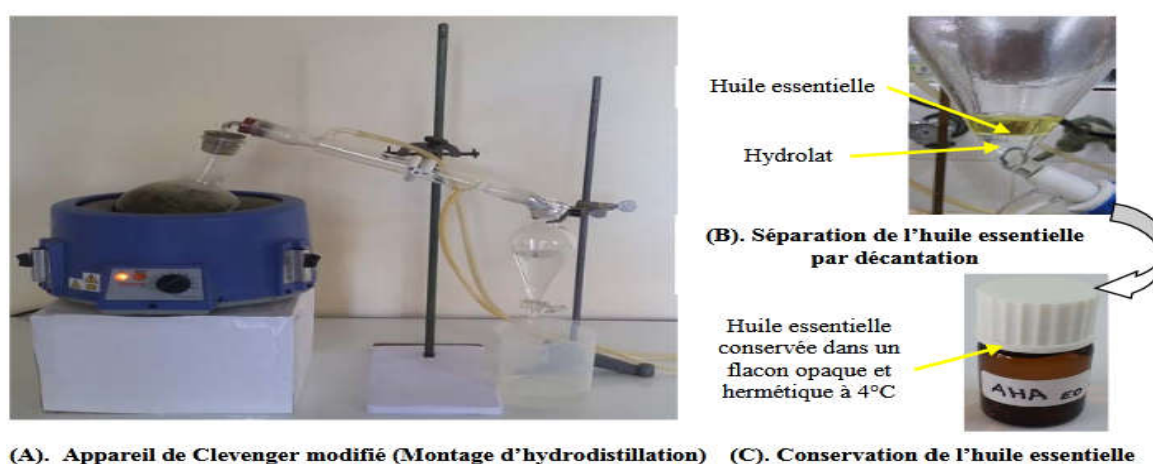


Figure 13 : Extraction de l'huile essentielle par hydrodistillation (Bertella, 2019).

3.2.2. Le rendement d'extraction

Dans tous les articles que nous avons sélectionnés pour faire cette études le rendement en huiles essentielles (**R**) est défini comme étant le rapport de la masse d'huile essentielle obtenue et la masse de la matière végétale utilisée (Ben Miri, 2019), il est calculé selon la formule suivante (Koudou, 2009 ; Bertella, 2019)

$$\mathbf{R(\%)} = (\mathbf{Masse\ d'huile\ (g) / Masse\ de\ matériel\ végétal\ (g)}) \times \mathbf{100} \text{ (Bertella, 2019)}$$

3.2.3. Identification des composés chimiques des huiles essentielles

L'étude de la composition chimique des huiles essentielles est généralement effectuée par GC-MS (voir le **tab. 3**) et la **(fig. 14)**.

La chromatographie en phase gazeuse c'est la meilleure technique pour la séparation des composants volatils d'une huile essentielle (Labioud, 2016), elle réalise à la fois une analyse qualitative et quantitative (Bouhaddouda, 2016).

La spectrométrie de masse sert à identifier les divers composés. Chaque composé a un spectre de masse unique (Laurent, 2017).

Le couplage de la chromatographie en phase gazeuse avec la spectrométrie de masse (en anglais Gas chromatography-mass spectrometry ou **GC-MS**), C'est la technique de référence (Zaibet, 2016) la plus utilisée (Bouzabata, 2015) pour obtenir la composition précise de l'huile essentielle (Bouhaddouda, 2016) même celle qui présente à l'état de traces (Chikhoun, 2007).



Figure 14 : Chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse (CG-MS) (Laurent, 2017).

3.2.4. Méthodes d'évaluation de l'activité antifongique /antimyxotoxines des huiles essentielles *in vitro*

3.2.4.1. Les Méthodes utilisées

L'activité antifongique a été évaluée par plusieurs protocoles scientifiques. Généralement, Les tests antifongiques *in vitro* sont réalisés par **les méthodes de contact direct** qui consistent à mettre en contact l'huile essentielle et les micro-organismes, puis à observer la croissance de ces derniers après l'incubation (Zaibet, 2016). Le contact peut avoir lieu en **milieu gélosé (milieu solide)** comme **la méthode de diffusion sur disque** (Diáñez *et al.*, 2018 ; Perczak *et al.*, 2019) Et **la méthode de dilution sur gélose (méthodes de puits)** (Viuda-Martos *et al.*, 2007 ; Moghaddam et Mehdizadeh, 2020) Ou dans **un bouillon (milieu liquide)** concernant **les méthodes de macro et microdilution** (Prakash *et al.*, 2012 ; Satyal *et al.*, 2016). Cette dernière est la plus utilisée, elle consiste à inoculer, une gamme de concentration décroissante en HE

avec les souches fongiques testés. Après incubation, l'étude de la gamme permet de déterminer la concentration minimale inhibitrice (CMI) (bouri, 2014).

Un plus petit nombre de tests antifongiques ont été réalisés par la Technique de micro-atmosphère, (Zaibet, 2016) qui repose sur l'évaluation de l'activité inhibitrice de la fraction volatile d'huile essentielle, à une température d'incubation donnée, sur la croissance mycélienne (Laghchimi *et al.*, 2014).

3.2.4.2. Les paramètres étudiés

Plusieurs paramètres sont étudiés pour déterminer l'activité antifongique tel que la concentration minimale inhibitrice (**CMI**) aussi appelée la concentration fongistatique (Kocić et Dimić, 2013) la concentration minimale fongicide (**CMF**), appelée également concentration minimale létale (**MLC**) (Bouzabata, 2015).

- la concentration minimale inhibitrice (CMI) a été définie comme la concentration la plus faible d'huile essentielle qui inhibait complètement la croissance visible après incubation (Perczak *et al.*, 2019) la CMI exprimée en % (v/v) ou en µg/ml ou en µl/ml ou encore en mg/ml (Ben Miri, 2019 ; Stringaro *et al.*, 2018).
 - la concentration minimale fongicide (CMF) a été définie comme la concentration la plus faible n'entraînant aucune croissance sur la sous-culture (Mohammadi *et al.*, 2014).
- ➔ Le tableau ci-dessous résume la partie matériel et méthodes des travaux que nous avons sélectionnés abordant l'effet antifongique des huiles essentielles de certaines plantes de la famille des *Lamiaceae* :

Tableau 3 : Les méthodes d'extraction, d'analyse des HEs et les souches fongiques testées.

Genre	Espèce végétal	Partie de plante utilisée	Méthode d'extraction	Méthode d'identification	Souche(s) fongique(s)/ Mycotoxine (s)	Milieu de culture	Références
Mentha	<i>M. spicata</i>	Feuilles	Hydrodistillation grâce à un appareil de type Clevenger	/	<i>A.flavus</i> , <i>A.parasiticus</i> , <i>A.ochraceus</i> <i>F.oxysporum</i> Aflatoxines	Yeast Extract Sucrose Agar (YES)	(Adjou et Aoumanou, 2013)
		Les parties aériennes avant la floraison	Hydrodistillation	GC-MS	<i>A. flavus</i> AFB1	PDA SMKY	(Kedia <i>et al.</i> , 2014)
	<i>M.pulegium</i>	Feuilles / Fleurs	Hydrodistillation Appareil Clevenger	GC-MS	<i>Fusarium solani var.coeruleum</i>	PDA	(Daferera <i>et al.</i> , 2003)
		Fleuries	Hydrodistillation	GC et GC/MS	<i>A.niger</i>	SDA	(Mahboubi et Haghi, 2008)
		/	/	/	<i>A.niger, A.flavus</i>	PDA	(Aouadhi <i>et al.</i> , 2013)
		Feuilles	Hydrodistillation appareil Clevenger	GC-MS	<i>Fusarium culmorum</i>	PDA	(Uwineza <i>et al.</i> , 2018)
	<i>M.piperita</i>	Feuilles	Hydrodistillation appareil de Clevenger	/	<i>A.parasiticus</i> <i>A. flavus</i> AFB ₁	MMEA	(Bluma <i>et al.</i> , 2008)

		Feuilles	Hydrodistillation appareil de type Clevenger	/	<i>A.flavus</i> , <i>A.parasiticus</i> , <i>A.ochraceus</i> <i>F. oxysporum</i> Aflatoxines	YES	(Adjou et Aoumanou, 2013)
		Feuilles	Hydrodistillation	GC-MS	<i>Penicillium verrucosum</i> . Ochratoxine A	MEA, CYA	(Jeršek <i>et al.</i> , 2014)
		/	/	GC-MS	<i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Alternaria brassicae</i>	PDA	(Diánež <i>et al.</i> , 2018)
	<i>M. arvensis</i>	/	/	/	<i>Aspergillus ochraceus</i> ochratoxine A	Yeast-extract- sucrose(CYA)	(Basilico et Basilico, 1999)
	<i>M. viridis</i>	/	Distillation à la vapeur	/	<i>A. flavus</i> , <i>A. parasiticus</i> , <i>A. ochraceus</i> <i>F. moniliforme</i> Aflatoxines Ochratoxine A Fumonisine	PDA	(Soliman et Badeaa, 2002)
<i>Thymus</i>	<i>T. vulgaris</i>	/	Distillation à la vapeur	/	<i>A. flavus</i> , <i>A. parasiticus</i> , <i>A. ochraceus</i> <i>F. moniliforme</i> Aflatoxines Ochratoxine A Fumonisine	PDA	(Soliman et Badeaa, 2002)
		Feuilles, Tiges et Fleurs	Distillation à la vapeur d'eau	/	<i>A. niger</i> <i>A. flavus</i>	PDA	(Viuda-Martos <i>et al.</i> , 2007)

		/	Distillation à la vapeur	GC et GC/MS	<i>F.oxysporum</i> , <i>A.niger</i> , <i>A.flavus</i> , <i>A.fumigatus</i> , <i>Penicillium lanosum</i> , <i>P. fréquentans</i> , <i>Alternaria alternata</i> .	PDA	(Tullio <i>et al.</i> , 2007)
		Les parties aériennes	Hydrodistillation dans un appareil de type Clevenger	GC-MS GC/FID	<i>A.niger</i> , <i>A. ochraceus</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>A. flavus</i> , <i>A. terreus</i> , <i>Alternaria alternata</i> , <i>Penicillium ochrochloron</i> , <i>P. funiculosum</i> , <i>Fusarium tricinctum</i>	PDA, MA et SBA	(Soković <i>et al.</i> , 2009)
		Tiges	Hydrodistillation	/	<i>A.niger</i> , <i>A.carbonarius</i> , ochratoxine A (OTA)	Peanut meal extract agar (PMEA), malt extract agar (MEA)	(Passone <i>et al.</i> , 2012)
		Feuilles	Hydrodistillation par Clevenger	GC/MS	/	/	(El Oualilalami <i>et al.</i> , 2013)
		Feuilles	Hydrodistillation par Clevenger	GC-MS	<i>A.flavus</i> AFB1 et AFB2	PDA et YES	(Kohiyama <i>et al.</i> , 2015)

		Les parties aériennes	Distillation à la vapeur	GC-MS	<i>A. niger</i>	PDA	(Satyal <i>et al.</i> , 2016)
		/	Hydrodistillation Un appareil Clevenger	GC-MS	<i>F. oxysporum</i> Trichothécènes	PDA	(Divband <i>et al.</i> , 2017)
		/	/	GC-MS	<i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Alternaria brassicae</i>	PDA	(Diáñez <i>et al.</i> , 2018)
		Les parties aériennes au stade de floraison	Hydrodistillation (appareil de type Clevenger)	CG/SM	<i>Fusarium oxysporum</i>	PDA	(Moghaddam et Mehdizadeh, 2020)
		/	/	/	<i>A. flavus</i> AFB1	YES	(Oliveira <i>et al.</i> , 2020)
	<i>T. tosevii</i>	Les parties aériennes	Hydrodistillation dans un appareil de type Clevenger	GC-MS GC/FID	<i>A.niger</i> , <i>A. ochraceus</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>A.flavus</i> , <i>A. terreus</i> , <i>Alternaria alternata</i> , <i>Penicillium ochrochloron</i> , <i>P. funiculosum</i> , <i>Fusarium tricinctum</i>	PDA, MA et SBA	(Soković <i>et al.</i> , 2009)
	<i>T. eriocalyx</i>	Feuilles / graines	Hydrodistillation un appareil de type Clevenger.	GC et GC/MS	<i>A.niger</i>	YES	(Rasooli <i>et al.</i> , 2006)

	<i>Thymus x-porlock</i>	Feuilles / graines	Hydrodistillation un appareil de type Clevenger	GC et GC/MS	<i>A.niger</i>	YES	(Rasooli <i>et al.</i> , 2006)
	<i>T.kotschyanus</i>	Les parties aériennes	Hydrodistillation appareil de type Clevenger	GC-MS	<i>F.oxysporum, A.flavus, Alternaria alternata</i>	PDA	(Mohammadi <i>et al.</i> , 2014)
		Les Parties aériennes au stade de la floraison	Hydrodistillation appareil de type Clevenger	GC-MS	<i>A.niger, Penicillium expansum</i>	PDA	(Ghasemi <i>et al.</i> , 2020)
	<i>T.daenensis</i>	Les parties aériennes	Hydrodistillation appareil de type Clevenger	GC-MS	<i>F.oxysporum, A.flavus, Alternaria alternata</i>	PDA	(Mohammadi <i>et al.</i> , 2014)
	<i>T.mastichina</i>	/	/	GC-MS	<i>Fusarium. oxysporum, Alternaria. brassicae</i>	PDA	(Diáneez <i>et al.</i> , 2018)
	<i>T.satureioïdis</i>	Feuilles	Hydrodistillation par Clevenger	GC-MS	/	/	(El Oualilalami <i>et al.</i> , 2013)
	<i>T. capitatus</i>	Feuilles / Fleurs	Hydrodistillation Un appareil Clevenger	GC-MS	<i>Fusarium solani var.coeruleum</i>	PDA	(Daferera <i>et al.</i> , 2003)
	<i>T. fontanesii</i>	/	Hydrodistillation Un appareil Clevenger	/	<i>Aspergillus flavus, AFB1</i>	PDA, SMKY (semi synthétic liquid medium)	(Mohammedi <i>et al.</i> , 2010)
Origanum	<i>O. acutidens</i>	Les parties aériennes à la	Hydrodistillation	GC-MS	<i>Alternaria alternata, Alternaria</i>	PDA	(Kordali <i>et al.</i> , 2008)

		floraison			<i>solani</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>F.acuminatum</i> , <i>F.culmorum</i> , <i>F.equiseti</i> , <i>F.nivale</i> , <i>F.sambucinum</i> , <i>F.semitectum</i> , <i>F. solani</i> .			
Origanum	/	/	/	GC-MS	<i>A.niger</i> , <i>A.carbonarius</i> , <i>A.wentii</i>	YES ,PDA	(Kocić-Tanackov <i>et al.</i> , 2012)	
	<i>O.majorana</i>	Feuilles / Fleurs	Hydrodistillation Un appareil Clevenger	GC-MS	<i>Fusarium solani</i> <i>var.coeruleum</i>	PDA	(Daferera <i>et al.</i> , 2003)	
	<i>O.dictamnus</i>	Feuilles / Fleurs	Hydrodistillation Un appareil Clevenger	GC-MS	<i>Fusarium solani</i> <i>var.coeruleum</i>	PDA	(Daferera <i>et al.</i> , 2003)	
	<i>O.vulgare</i>	/	/	/	/	<i>Aspergillus ochraceus</i> Ochratoxine A	CYA	(Basilico et Basilico, 1999)
		Feuilles / Fleurs	Hydrodistillation Un appareil Clevenger	GC-MS	<i>Fusarium solani</i> <i>var.coeruleum</i>	PDA	(Daferera <i>et al.</i> , 2003)	
		Fleurs	Distillation à la vapeur d'eau	/	<i>A.niger</i> , <i>A.flavus</i>	PDA	(Viuda-Martos <i>et al.</i> , 2007)	
		Feuilles	Hydrodistillation appareil de Clevenger	/	<i>A.parasiticus</i> <i>A. flavus</i> AFB ₁	maize meal extract agar (MMEA)	(Bluma <i>et al.</i> , 2008)	
		Feuilles	Hydrodistillation	GC-MS	<i>Penicillium verrucosum</i> , Ochratoxine A	MEA,CYA	(Jeršek <i>et al.</i> , 2014)	

		/	/	/	<i>Aspergillus westerdijkiae</i> , <i>Penicillium verrucosum</i> Ochratoxine A	MEA, YES	(Schlösser et Prange, 2019)
<i>Salvia</i>	<i>S. officinalis</i>	/	/	/	<i>Aspergillus ochraceus</i> Ochratoxine A	Yeast-extract-sucrose CYA	(Basilico et Basilico, 1999)
		/	Distillation à la vapeur	GC et GC/MS	<i>F.oxysporum</i> , <i>A.niger</i> , <i>A.flavus</i> , <i>A.fumigatus</i> , <i>Penicillium lanosum</i> <i>P.fréquentans</i> , <i>Alternaria alternata</i>	PDA	(Tullio <i>et al.</i> , 2007)
		Feuilles	Hydrodistillation	GC-MS et GC-FID	/	/	(Craft <i>et al.</i> , 2017)
		Feuilles	Hydrodistillation (Un appareil Clevenger)	GC et GC/MS	<i>Aspergillus carbonarius</i> . OTA	Czapek Yeast Agar (CYA)	(Dammak <i>et al.</i> , 2019)
	<i>S. fruticosa</i>	Feuilles / Fleurs	Hydrodistillation Un appareil Clevenger	GC/MS	<i>Fusarium solani var.coeruleum</i>	PDA	(Daferera <i>et al.</i> , 2003)
		Feuilles	Hydrodistillation	GC et GC-MS	<i>Fusarium oxysporum</i> , <i>F.proliferatum</i> , <i>Fusarium solani</i>	PDA	(Pitarokili <i>et al.</i> , 2003)

Chapitre 4 :

Résultats & Discussion

Chapitre 04 : Resultats et Discussion

4.1. Etude phytochimiques

4.1.1. Rendements d'extraction

Le **tableau 4** collecte les rendements obtenus après l'extraction des huiles essentielles des plantes étudiées, à partir de plusieurs articles traités et analysé dans le présent travail.

Ces rendements sont compris entre **0.27%** pour *M.Pulegium* (Mahboubi et Haghi, 2008) à **5.2%** pour *O.vulgare* (Daferera *et al.*, 2003).

L'analyse de ce tableau montre que les rendements en huile essentielle varient de genres à l'autre et aussi dans la même espèce, par exemple, le rendement d'extraction de *M.pulegium* était différent d'une étude à l'autre [(Mahboubi et Haghi, 2008) le rendement est (0.27%), (Daferera *et al.*, 2003) (0.3%), (Uwineza *et al.*, 2018)(1.9%) et (Mohammedi *et al.*, 2010) (3.25%)].

Tableau 4 : Les rendements moyens des HEs.

Genre	Espèce	Le rendement %	Références
<i>Mentha</i>	<i>M.spicata</i>	0.96	(Adjou et Aoumanou, 2013)
		0.5 – 0.7	(Kedia <i>et al.</i> , 2014)
	<i>M. pulegium</i>	0.3	(Daferera <i>et al.</i> , 2003)
		0.27	(Mahboubi et Haghi, 2008)
		3.25	(Mohammedi <i>et al.</i> , 2010)
		1.9	(Uwineza <i>et al.</i> , 2018)
	<i>M.piperita</i>	1.01	(Mohammedi <i>et al.</i> , 2010)
		1.17	(Adjou et Aoumanou, 2013)
<i>Thymus</i>	<i>T. vulgaris</i>	1.0	(Passone <i>et al.</i> , 2012)
		0.5	(El Oualilalami <i>et al.</i> , 2013)
		1.0-1.6	(Satyal <i>et al.</i> , 2016)
		1.8	(Moghaddam et Mehdizadeh, 2020)
	<i>T. eriocalyx</i>	1.2	(Rasooli <i>et al.</i> , 2006)
	<i>T. x-porlock</i>	1.0	(Rasooli <i>et al.</i> , 2006)
	<i>T.satureioidis</i>	1.1	(El Oualilalami <i>et al.</i> , 2013)
	<i>T. fontanesii</i>	2	(Haddouchi et Benmansour, 2008)
		3.09	(Mohammedi <i>et al.</i> , 2010)
	<i>T.capitatus</i>	4.0	(Daferera <i>et al.</i> , 2003)
		0.82	(Ben Miri, 2019)
	<i>T.algreriensis</i>	2.25	(Zouari <i>et al.</i> , 2011)
	<i>T. kotschyanus</i>	3.5	(Ghasemi <i>et al.</i> , 2020)

<i>Salvia</i>	<i>S.officinalis</i>	1.22	(Mohammedi <i>et al.</i> , 2010)
	<i>S.officinalis</i>	1.36	(Dammak <i>et al.</i> , 2019)
	<i>S. fruticosa</i>	1.6	(Daferera <i>et al.</i> , 2003)
	<i>S. fruticosa</i>	0.69 - 4.68	(Pitarokili <i>et al.</i> , 2003)
	<i>S.sclarea</i>	0.30	(Verma, 2010)
<i>Origanum</i>	<i>O .vulgare</i>	5.2	(Daferera <i>et al.</i> , 2003)
	<i>O.majorana</i>	4.4	(Daferera <i>et al.</i> , 2003)
	<i>O.dictamnus</i>	1.7	(Daferera <i>et al.</i> , 2003)
	<i>O. acutidens</i>	0.6	(Kordali <i>et al.</i> , 2008)

Selon, Raveau *et al.* (2020) pour une même espèce végétale, le rendement des HE varie fortement sous l'influence de plusieurs paramètres, en fonction des conditions de croissance et de développement de la plante dont elles proviennent, des conditions climatiques (température, humidité, intensité lumineuse), du site de culture (composition du sol, acidité, pollution, et la disponibilité de la nutrition minérale).

4.1.2. Composition chimiques des huiles essentielles

Les principaux composants des huiles essentielles et leurs pourcentages, collectés à partir de l'étude de plusieurs articles, sont présentés dans le (tab. 5).

Les résultats obtenus ont montré que l'acétate de linalyle, l' α -thujone, le 1,8-cinéole et le camphre étaient les composants les plus abondants des l'HEs pour les espèces de *Salvia*. Par contre, Le menthol, le carvone et Menthone étaient Les principaux composants des HEs du genre *Mentha*.

Pour toutes les espèces du genre *Thymus* les principaux composants étaient le thymol, le carvacrol et leurs précurseurs (le γ -terpinène et le p-cymène). Aussi les huiles essentielles du genre *Origanum* caractérisé par les mêmes composants mais avec des pourcentages très variés entre les deux genres.

Les structures de certains de ces composés sont représentées dans la fig. 15.

Tableau 5 : Les Principaux composants des HES des certains plantes sélectionnées.

Genre	Espèce	Principaux composant chimiques (%)	Références
<i>Salvia</i>	<i>S. sclarea</i>	Acétate de linalyle (52.83), linalool (18.18), α -terpinéol (5.0), α -pinène (4.57), 1,8-cinéole (2.29), limonène (1.55), β -caryophyllène (1.83), β -terpinéol (1.19).	(Džamić <i>et al.</i> , 2008)
		Acétate de linalyle (30.1), linalool (28.9), β -pinène (15.2), cis- β -ocimène (7.7), β -cubébène (5.0), trans- β -ocimène (4.1), acétate de géranyle (2.6), limonène (2.5), α -terpinéol (1.3).	(Ovidi <i>et al.</i> , 2021)
	<i>S. officinalis</i>	Cis-Thujone (29.4), camphre (22.6), 1,8-Cinéole (7.7), α -humulène (5.8), Camphène (5.4), trans-Thujone (4.2), β -caryophyllène (3.5), α -pinène (2.7), Bornéol (2.2), Limonène (2.2).	(Tullio <i>et al.</i> , 2007)
	<i>S. officinalis</i> (Albania)	1,8-Cinéole (26.9), α -Thujone (17.2), Camphre (12.8), Camphène (5.2), α -Pinène (5.0), β -Caryophyllène (4.9), β -Pinène (4.1), β -Thujone (3.8), α -Humulène (3.1), Myrcène (2.8), Limonène (1.5).	(Craft <i>et al.</i> , 2017)
	<i>S. officinalis</i> (Mexico)	α -Thujone (18.8), 1,8-Cinéole (15.5), Camphre (14.9), α -Humulène (5.7), Myrcène (4.5), β -Thujone (4.4), Camphène (3.5), β -Caryophyllène (3.4), β -Pinène (2.6), α -Pinène (2.4), Limonène (1.4).	
	<i>S. officinalis</i> (California)	α -Thujone (27.4), Camphre (21.4), 1,8-Cinéole (11.9), β -Thujone (6.0), Camphène (5.3), α -Pinène (5.2), α -Humulène (4.4), β -Caryophyllène (3.5), Limonène (2.2), β -Pinène (1.3), Myrcène (1.2).	
	<i>S. officinalis</i>		α -thujone (27.5), Camphre (25.0), 1,8-cinéole (21.9), α -gurjunène (5.7), β -thujone (5.5), Camphène (3.0), β -pinène (1.9), α -pinène(1.5).
1,8-cinéole (30.4), camphre (17.1), α -thujone (9.7), camphène (7.9), α -pinène (6.0), chrysanthénone (6.8), γ -gurjunène (3.9), β -pinène (3.8), β -caryophyllène (3.6), humulène (2.5).			(Ovidi <i>et al.</i> , 2021)
<i>Thymus</i>	<i>T. vulgaris</i>	Thymol (26.5), p-Cymene (16.2), Limonene (13.2), α -Pinene (11.5), Carvacrol (7.8), γ -Terpinene (4.0).	(Tullio <i>et al.</i> , 2007)
		Thymol (48.9), p-Cymène (19.0), γ -Terpinène (4.1), Carvacrol (3.5), β -Caryophyllène (3.5), α -Cadinène (2,2), Terpin-4-ol (1.8), α -Thujene (1.8), Borneol (1.7), Carvacrol methyl ether (1.7), trans-Ocimene (1.3), α -Pinene (1.2), β -Myrcene (1.1).	(Soković <i>et al.</i> , 2009)

		Thymol (49.10), p-cymène (20.01), γ-Terpinene (4.2), β -Caryophyllene (3.7), Carvacrol (3.5), α -Thujene (1.9), β -Myrcene (1.3), α -Pinene (1.2).	(Nikolić <i>et al.</i> , 2014)
		Thymol (32.67), p-cymène (16.68), γ-terpinène (12.65), Carvacrol (8.32), Borneol (2.85), β -caryophyllène (2.39), Geraniol (2.32), α -pinène (2.24), α -terpinéol (1.56), Limonène (1.47).	(Divband <i>et al.</i> , 2017)
		Thymol (50.53), p-cymène (19.42), γ-terpinène (9.15), carvacrol (5.34), β -linalol (3.36), caryophyllène (1.51), myrcène (1.46), α -Terpinène (1.31), Terpinen-4-ol (1.29), α -Pinène (1.23).	(Oliveira <i>et al.</i> , 2020)
		Thymol (36.81), p-cymène (30.90), carvacrol (3.16), β -caryophyllène (2.80), linalool (2.68), γ -terpinène (2.10).	(Moghaddam et Mehdizadeh, 2020)
	<i>T. eriocalyx</i>	Thymol (63.8), β -phellandrène (13.30), cis-sabinene hydroxide (8.1), 1,8-cinéole (2.0), β -pinène (1.31).	(Rasooli <i>et al.</i> , 2006)
	<i>T. x-porlock</i>	β -phellandrène (38.7), Thymol (31.7), cis-sabinene hydroxide (9.6), β -pinène (2.0), 1,8-cinéole (1.7).	(Rasooli <i>et al.</i> , 2006)
	<i>T. algeriensis</i>	Thymol (56.0), Carvacrol (14.0), terpinène (7.1), l'acétate de bornyle (7.0), p-Cymène (6.3), bornéol (6.0), γ -Terpinène (4.8), β -Bisabolène (4.0), β -Myrcène (2.3), α -Terpinène (1.6), α -Pinène (1.1).	(Nikolić <i>et al.</i> , 2014)
	<i>T. serpyllum</i>	Thymol (38.5), p-Cymene (8.9), γ-Terpinene (7.2), Carvacrol (4.7), Camphene (2.4), α Pinene (2.0), β -Myrcene (1.3), α -Terpinene (1.1), α -Thujene (1.1).	(Nikolić <i>et al.</i> , 2014)
	<i>T. kotschyanus</i>	Thymol (46.72), Benzène (6.88), Carvacrol (3.73), γ -terpinène (3.58), Trans-caryophyllène (3.39).	(Mohammadi <i>et al.</i> , 2014)
		Thymol (60.48), γ-terpinène (6.67), p-cymène (5.56), carvacrol (3.02), 1,8-cinéol (2,82), E-caryophyllène (2.18).	(Ghasemi <i>et al.</i> , 2020)
	<i>T. capitatus</i>	Thymol (25.82), Linalool (23.40), Géraniol (14.22), p-Cymen-3-ol (8.93), p-Cymène (6.76), γ -Terpinène (2.15), α -Pinène (1.14).	(Ben Miri, 2019)
Mentha	<i>M. spicata</i>	Carvone (49.5), Menthone (21.9), Limonène (5.8), 1,8-Cinéole (3.0), β -Myrcène (2.3), γ -Terpinène (1.4), β -Bourbonène (1.3).	(Soković <i>et al.</i> , 2009)
		carvone (59.6), limonène (25.59), M-cymène (2.77), 1,8-cinéole (2.52), Cis dihydrocarvone (1.13).	(Kedia <i>et al.</i> , 2014)
	<i>M. piperita</i>	Menthol (37.4), acétate de menthyle (17.4), Menthone (12.7), Limonène (6.9),	(Soković <i>et al.</i> , 2009)

		Menthofuran (6.8), 1,8-Cinéole (5.6), Sabinène (2.5), Bicyclogermacrène (1.3), Pulégone (1.2).	
	<i>M. piperita</i>	Menthol (53.28), acétate de menthyle (15.10), Menthofurane (11.18), 1,8 Cinéole (6.69), Neomenthol (2.79), Menthone (2.45).	(Saharkhiz <i>et al.</i> , 2012)
	<i>M. pulegium</i>	pulégone (76.5), cis-menthone (15.0), pipéritone (0.6), trans-menthone (1.2).	(Daferera <i>et al.</i> , 2003)
		Piperitone (38.0), Piperitenone (33.0), α -terpinéol (4.7), 1,8-Cineole (4.0), piperitenone oxide (3.4), Menthone (3.0), Borneol (2.9), Pulegone (2.3).	(Mahboubi et Haghi, 2008)
	<i>M. longifolia</i>	Menthol (50), acétate de menthyle (20), isomenthone (4), menthone (3.5), limonène (1.3).	(Hilan <i>et al.</i> , 2006)
<i>Origanum</i>	<i>O. vulgare</i>	Carvacrol (49.43), trans-Sabinene hydrate (24.21), cis-pipéritol (5.51), bornéol (2.84), terpinen-4-ol (3.52), linalool (2.50).	(Santoyo <i>et al.</i> , 2006)
		Carvacrol (53.4), Linalool (4.8), Thymol (4.5), β -Bisabolène (4.5), γ -Terpinène (4.2), Oxyde de Caryophyllène (4.5), α -Cadinol (3.3), trans Caryophyllène (1.6), β -Himachalène (1.6).	(Jeršek <i>et al.</i> , 2014)
	<i>O. majorana</i>	Carvacrol (45.1), Terpinen-4-ol (9.4), γ -terpinène (9.3), p-Cymene (5.8), Linalool (5.6), α -Terpinene (5.4), α -Terpineol (2.4), β -phellandrene (1.8), Terpinolene (1.5), β -myrcène (1.3).	(Daferera <i>et al.</i> , 2003)
	<i>O. acutidens</i>	Carvacrol (87.0), p-cymène (2.0), l'acétate de linalol (1.7), bornéol (1.6), b-caryophyllène (1.3).	(Kordali <i>et al.</i> , 2008)
	<i>O. compactum</i>	Carvacrol (34.73), Thymol (23.90), γ -terpinene (15.96), ρ -Cymene (14.75), Thymol methyl ether (13.54), Cuminal (2.82), α -Terpinene (1.98), α -Terpinenyl acetate (1.82).	(Zenasni, 2014)
		Carvacrol (49.6), Thymol (21.2), p-cymène (11), γ -terpinène (9.2), β -caryophyllène (1.5), α -terpinène (1.4), l' α -pinène (0.5).	(Roselló <i>et al.</i> , 2015)

En général, les compositions des HEs ont été trouvées différentes en pourcentages et même en composants principaux dans les articles mentionnée dans le (tab. 5). La qualité et la quantité des composants disponibles dans les HEs peuvent être affectées par plusieurs facteurs (Diánez *et al.*, 2018) tels que les conditions environnementales et climatique, la région géographique de culture, la variabilité génétique au sein des espèces végétales, l'âge de la plante, le moment de la récolte, la saison et la méthode d'extraction de l'huile (Jeršek *et al.*, 2014 ; Dammak *et al.*, 2019).

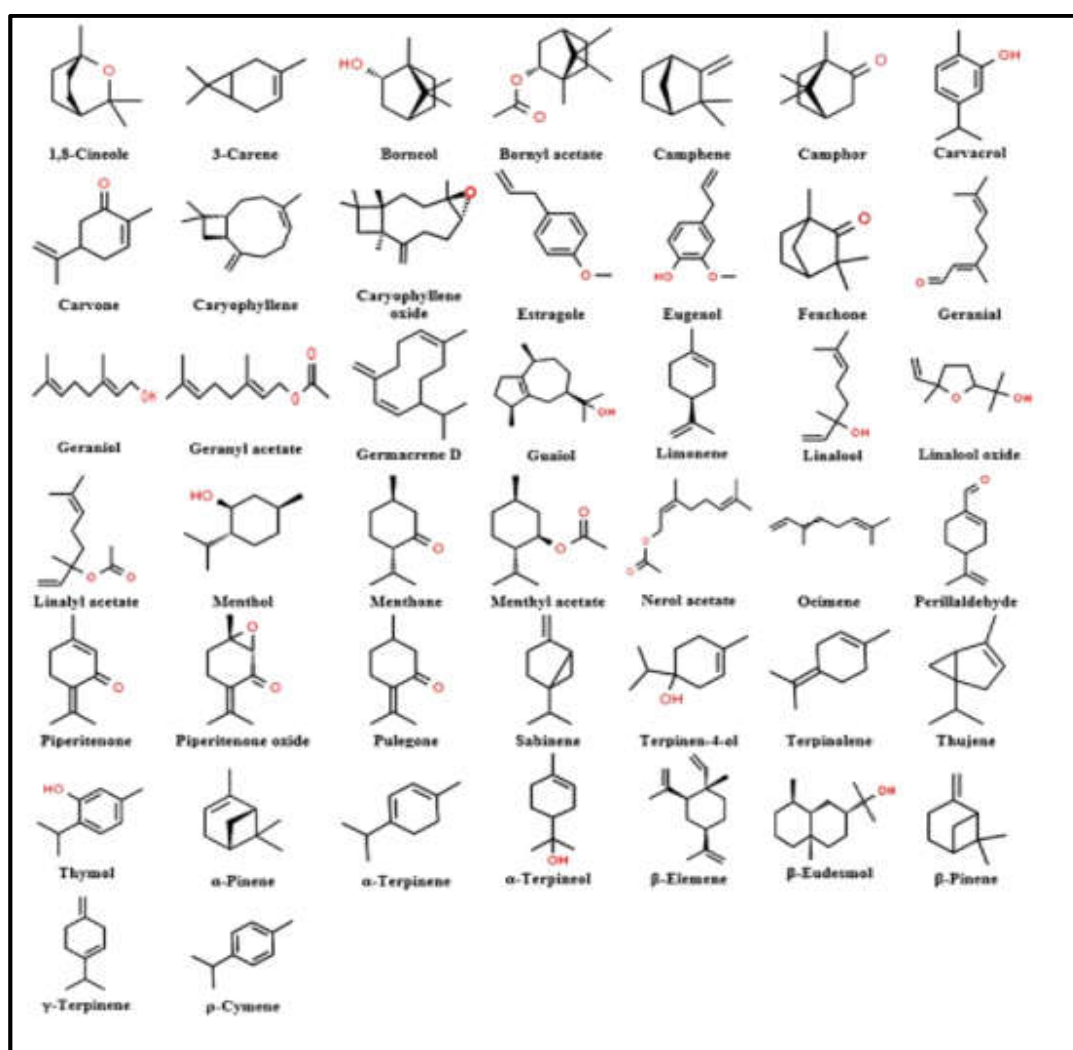


Figure 15 : Structure chimique des principaux composants identifiés dans les huiles essentielles de la famille végétale des *Lamiaceae* (Ebadollahi *et al.*, 2020).

4.2.L'activité antifongique et antimycotoxinogène des HEs

L'augmentation des infections fongiques et la contamination par les mycotoxines est devenue un problème important ces dernières années. La croissance fongique et la contamination par les mycotoxines peuvent entraîner des pertes de qualité et de quantité des produits alimentaires ainsi que des risques pour la santé. Malgré ces faits, les études sur les activités antifongiques et antimycotoxinogènes des HEs sont limitées (Mutlu-Ingok et al., 2020).

4.2.1. L'activité antifongique

Les résultats de différents chercheurs concernant l'efficacité des HEs de plantes et de leurs divers composants contre les moisissures toxigènes sont présentés dans le (**tab. 6**).

Les tests MIC et MFC ont été utilisés pour évaluer les propriétés fongistatiques et fongicides des huiles essentielles contre les souches fongiques cibles (Divband *et al.*, 2017).

Les notions de CMI et CMF ne sont pas définies de façon précise et universelle, les auteurs peuvent exprimer les résultats dans différentes unités. la CMI exprimée en % (v/v) ou en µg/ml ou en µl/ml ou encore en mg/ml ce qui rend difficile la comparaison des résultats entre eux (Ben Miri, 2019).

Tableau 6 : Les CMI et CMF des HES/composant sélectionnés avec leurs activités antifongiques.

Genre	HE/composant	CMI	CMF	Moisissures ciblées	Références
Salvia	<i>S.sclarea</i>	2.5 µl/ml	2.5µl/ml	<i>Alternaria alternata</i>	(Soković <i>et al.</i> , 2009)
		25 µl/ml	25 µl/ml	<i>Aspergillus niger, A.flavus, Penicillium ochrochloron</i>	
		10 µl/ml	25 µl/ml	<i>Aspergillus ochraceus</i>	
		10 µl/ml	15 µl/ml	<i>Aspergillus versicolor</i>	
		15 µl/ml	25 µl/ml	<i>Aspergillus terreus</i>	
		10 µl/ml	20 µl/ml	<i>Penicillium funiculosum</i>	
		15 µl/ml	20 µl/ml	<i>Fusarium tricinctum</i>	
		20 µl/ml	25 µl/ml	<i>Fusarium sporotrichioides</i>	
	<i>S. officinalis</i>	0.25 (% v/v)	0.5 (% v/v)	<i>Alternaria alternata</i>	(Tullio <i>et al.</i> , 2007)
		1 (% v/v)	>1 (% v/v) 1 (% v/v) pour <i>Aspergillus flavus</i>	<i>Aspergillus niger, Aspergillus flavus, Penicillium lanosum</i>	
0.0156 (%v/v)		0.0625 (% v/v)	<i>Fusarium oxysporum</i>		
Thymus	<i>T.vulgaris</i>	0.25 µL/mL	/	<i>Aspergillus niger, A.ochraceus, A.versicolor, A.flavus, A.terreus, Alternaria alternata, Penicillium ochrochloron, P. funiculosum, Fusarium tricinctum</i>	(Soković <i>et al.</i> , 2009)
		250 µg/mL	250 µg/mL	<i>Aspergillus flavus</i>	(Kohiyama <i>et al.</i> , 2015)
		0.5 µL mL ⁻¹	/	<i>Aspergillus flavus</i>	(Oliveira <i>et al.</i> , 2020)

<i>T. vulgaris</i>	10.50 µg/ml	16.20 µg/ml	<i>Fusarium oxysporum</i>	(Divband <i>et al.</i> , 2017)
	10 µg/mL	20µg/mL	<i>A. flavus</i>	(Tian et Chun, 2019)
	250 ppm	500 ppm	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>A.parasiticus</i> , <i>A. ochraceus</i> <i>Fusarium moniliforme</i>	(Soliman et Badaea, 2002)
	0.25 (% v/v)	1 (% v/v)	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>Aspergillus Fumigatus</i> , <i>Penicillium lanosum</i> , <i>Penicillium frequentans</i>	(Tullio <i>et al.</i> , 2007)
	0.125 (% v/v)	0.125 (% v/v)	<i>Fusarium oxysporum</i>	
	0.5 (% v/v)	>1 (% v/v)	<i>Alternaria alternata</i>	
<i>T.algeriensis</i>	2.0 µL/mL	/	<i>Aspergillus niger</i>	(Prakash <i>et al.</i> , 2015)
	1.0 µL/mL	/	<i>Fusarium solani</i>	(Prakash <i>et al.</i> , 2015)
<i>T. tosevii</i>	0.125-0.5 µL/mL	0.125-0.5 µL/mL	<i>Aspergillus niger</i> , <i>A.ochraceus</i> , <i>A.versicolor</i> , <i>A.flavus</i> , <i>A.terreus</i> , <i>Alternaria alternata</i> , <i>Penicillium ochrochloron</i> , <i>P. funiculosum</i> , <i>Fusarium tricinctum</i> .	(Soković <i>et al.</i> , 2009)
<i>T.mongolicus Ronn</i>	> 5.0 µL/mL	/	<i>Penicillium viridicatum</i>	(Wang <i>et al.</i> , 2018)
	2.33 µL/mL	/	<i>Aspergillus carbonarius</i>	(Wang <i>et al.</i> , 2018)
<i>T. eriocalyx</i>	125 ppm	250 ppm	<i>A.niger</i>	(Rasooli <i>et al.</i> , 2006)
<i>T. x-porlock</i>	250 ppm	500 ppm	<i>A.niger</i>	(Rasooli <i>et al.</i> , 2006)
<i>T.fontanesii</i>	0.75 µg/mL	/	<i>Aspergillus flavus</i>	(Mohammedi <i>et al.</i> ,

	<i>T. capitatus</i>	1.00 mg/ml	1.50 mg/ml	<i>Aspergillus flavus</i>	2010) (Ben Miri, 2019)
		1.08 mg/ml	1.25 mg/ml	<i>A. niger</i>	(Ben Miri, 2019)
		1.16 mg/ml	1.33 mg/ml	<i>A. ochraceus</i>	(Ben Miri, 2019)
	<i>T. daenensis</i>	1 µg/mL	2 µg/mL	<i>Aspergillus flavus</i>	(Mohammadi <i>et al.</i> , 2014)
		4 µg/mL	8 µg/mL	<i>Fusarium oxysporum</i>	(Mohammadi <i>et al.</i> , 2014)
	<i>T. kotschyanus</i>	0.5 µg/mL	1 µg/mL	<i>Aspergillus flavus</i>	(Mohammadi <i>et al.</i> , 2014)
		250 ppm	≥500 ppm	<i>Penicillium expansum</i> , <i>Aspergillus niger</i>	(Ghasemi <i>et al.</i> , 2020)
		1 µg/mL	2 µg/mL	<i>Alternaria alternata</i>	(Mohammadi <i>et al.</i> , 2014)
	Mentha	<i>M. spicata</i>	0.5-1.5 µL/mL	0.5-2.5 µL/mL	<i>Aspergillus niger</i> , <i>A. ochraceus</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>A. flavus</i> , <i>A. terreus</i> , <i>Alternaria alternata</i> , <i>Penicillium ochrochloron</i> , <i>P. funiculosum</i> , <i>Fusarium tricinctum</i> .
1.0µLmL ⁻¹			2.0µLmL ⁻¹	<i>A. flavus</i>	(Kedia <i>et al.</i> , 2014)
/			1.0µLmL ⁻¹	<i>Alternaria alternata</i>	(Kedia <i>et al.</i> , 2014)
1.0µLmL ⁻¹			/	<i>Aspergillus fumigatus</i> <i>Aspergillus glaucus</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Fusarium oxysporum</i> <i>Penicillium citrinum</i> <i>Penicillium italicum</i> <i>Penicillium luteum</i>	

				<i>Penicillium purpurogenum</i>	
	<i>M. arvensis</i>	/	1000 ppm	<i>Aspergillus ochraceus</i>	(Basilico et Basilico, 1999)
	<i>M. piperita</i>	1.0-2.5 µL/mL	1.0-2.5 µL/mL	<i>Aspergillus niger</i> , <i>A.ochraceus</i> , <i>A.versicolor</i> , <i>A.flavus</i> , <i>A. terreus</i> , <i>Alternaria alternata</i> , <i>Penicillium ochrochloron</i> , <i>P. funiculosum</i> , <i>Fusarium tricinctum</i>	(Soković <i>et al.</i> , 2009)
		4.0 µL/mL	8.0 µL/mL	<i>A. flavus</i>	(Saharkhiz <i>et al.</i> , 2012)
		0.5 µL/mL	2.0 µL/mL	<i>A. fumigatus</i>	(Saharkhiz <i>et al.</i> , 2012)
		6.25 µL mL⁻¹	/	<i>Penicillium verrucosum</i>	(Jeršek <i>et al.</i> , 2014)
		2000 µL/L	/	<i>Aspergillus ochraceus</i>	(Hua <i>et al.</i> , 2014)
	<i>M. pulegium</i>	0.25 µl /ml	8.0 µL/mL	<i>Aspergillus niger</i>	(Mahboubi et Haggi, 2008)
	<i>M. viridis</i>	2000 ppm	3000 ppm	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. parasiticus</i> , <i>A. ochraceus</i> , <i>Fusarium moniliforme</i>	(Soliman et Badeaa, 2002)
Origanum	<i>O. vulgare</i>	750 ppm	1000 ppm	<i>Aspergillus ochraceus</i>	(Basilico et Basilico, 1999)
		1.17 µL mL⁻¹	/	<i>Penicillium verrucosum</i>	(Jeršek <i>et al.</i> , 2014)
		300 µg mL⁻¹	/	<i>Aspergillus westerdijkiae</i>	(Schlösser et Prange, 2019)
		200 µg mL⁻¹	/	<i>Penicillium verrucosum</i>	(Schlösser et Prange, 2019)
	<i>O. majorana</i>	3.0 µl/ml	7.0 µl/ml	<i>Aspergillus flavus</i>	(Prakash <i>et al.</i> , 2012)

		3.25 µl/ml	/	<i>Alternaria alternata</i> , <i>Aspergillus terreus</i>	(Prakash <i>et al.</i> , 2012)
	<i>O. majorana</i>	2.5 µl/ml	/	<i>Penicillium italicum</i>	(Prakash <i>et al.</i> , 2012)
Composant	Thymol	100 µg ml ⁻¹	/	<i>Fusarium graminearum</i>	(Gao <i>et al.</i> , 2016)
		0.2 µL.mL ⁻¹	0.2 µL.mL ⁻¹	<i>Aspergillus flavus</i>	(Mishra <i>et al.</i> , 2013)
		0.12 mg mL ⁻¹	/	<i>Penicillium verrucosum</i>	(Jeršek <i>et al.</i> , 2014)
		250 ppm	/	<i>Penicillium italicum</i>	(Camele <i>et al.</i> , 2012)
	Carvacrol	1.00 µL/mL	/	<i>Aspergillus flavus</i> <i>Penicillium viridicatum</i>	(Wang <i>et al.</i> , 2018)
		0.33 µL/mL	/	<i>Aspergillus carbonarius</i>	(Wang <i>et al.</i> , 2018)
		250 ppm	/	<i>Penicillium italicum</i>	(Camele <i>et al.</i> , 2012)
		200 µg mL ⁻¹	/	<i>Aspergillus westerdijkiae</i>	(Schlösser et Prange, 2019)
		100 µg mL ⁻¹	/	<i>Penicillium verrucosum</i>	(Schlösser et Prange, 2019)
		0,39µL mL ⁻¹	/	<i>Penicillium verrucosum</i>	(Jeršek <i>et al.</i> , 2014)
	Menthol	0.9 µL.mL ⁻¹	>7.0 µL.mL ⁻¹	<i>Aspergillus flavus</i>	Mishra <i>et al.</i> , 2013
		0,75 mg.mL ⁻¹	/	<i>Penicillium verrucosum</i>	(Jeršek <i>et al.</i> , 2014)
	1, 8-cinéole	4.0 µL.mL ⁻¹	>7.0 µL.mL ⁻¹	<i>Aspergillus flavus</i>	(Mishra <i>et al.</i> , 2013)
	Linalool	2.4 µL.mL ⁻¹	>7.0 µL.mL ⁻¹	<i>Aspergillus flavus</i>	
carvone β-caryophyllène, α-pinène, P-cymène,	>7.0 µL.mL ⁻¹	>7.0 µL.mL ⁻¹	<i>Aspergillus flavus</i>		

	Thymol+Menthol	0.3 $\mu\text{L.mL}^{-1}$	0.5 $\mu\text{L.mL}^{-1}$	<i>Aspergillus flavus</i>	
--	----------------	---	---	---------------------------	--

En général, toutes les HEs étudiées ont exercées une activité antifongique qui varie d'une huile à l'autre et aussi d'une souche fongique à une autre. Par exemple, pour *A.flavus*, les HEs les plus actives étaient celles du genre *Thymus* avec des valeurs du CMI de 0.125-0.5 µL/mL pour *T. tosevii* et de 0.25 µL/mL à 0.5 µL mL⁻¹ pour *T. vulgaris* (Soković *et al.*, 2009 ; Oliveira *et al.*, 2020).

suivi par les HEs du *Mentha* avec des valeurs de 0.5-1.5 µL/mL pour *M. spicata* et 1.0- 4.0 µL/mL pour *M. piperita* (Soković *et al.*, 2009 ; Kedia *et al.*, 2014) puis *Origanum majorana* avec un valeur 3.0µl/ml (Prakash *et al.*, 2012).

Les HEs du *S.sclareia* ont montré une activité antifongique très faible contre *A.flavus* par rapport les autres huiles avec une valeur 25 µl/ml mais avec CMI 2.5 µl/ml pour *Alternaria alternata* c'est-à-dire cette dernière souche plus sensible que *A.flavus* (Džamić *et al.*, 2008). (Mishra *et al.*, 2013) Et (Wang *et al.*, 2018) ont évalué l'activité antifongique de certains composants principales de ces huiles dont, thymol, menthol, 1, 8-cinéole et le carvacrol contre *A.flavus* et ont trouvé les valeurs du CMI suivants (**0.2** ; **0.9** ; **4.0** µL.mL⁻¹ et **1.00** µL/mL respectivement). Ces différences entre les effets antifongiques des HEs entre les genres et au sein d'une même espèce peuvent être liées à leurs compositions chimiques, leurs proportions, leurs groupes fonctionnels (Toure, 2015).

En général, l'activité décroît selon le type de fonction chimique: **phénol** > **alcool** > **aldéhyde** > **cétone** > **ester** > **hydrocarbure** (Kocić-Tanackov et Dimić, 2013 ; Bouhaddouda, 2016).

Selon DŽAMIĆ (2008), l'activité antifongique modérée du *S. sclarea* due à la présence élevée d'acétate de linalyle et de linalool dans cette huile. Aussi, Mishra (2013) ont montré que le 1, 8-cinéol ayant une activité antifongique et antiaflatoxigène modérée contre *A.flavus* et l'efficacité fongitoxique plus faible de ce composant par rapport au thymol et au menthol peut s'expliquer par la forme simple de leur chaîne aliphatique et leur forme cyclique, ainsi que par l'absence de groupe hydroxyle.

D'autre part, la forte activité des huiles de type *Thymus* est relié avec le pourcentage élevé des ses composants phénoliques, tels que le thymol et ses précurseurs (p-Cymène, γ-Terpinène) (Soković *et al.*, 2009), et le carvacrol, en particulier au groupe hydroxyle (OH) libre attaché au cycle aromatique et aussi leur nature lipophile (Divband *et al.*, 2017 ; Mishra *et al.*, 2013). De

même Tullio *et al.* (2007) a confirmé que les huiles **d'origano** sont les meilleures huiles inhibitrices contre *Fusarium proliferatum*, car le carvacrol, le thymol phénolique sont les principaux contributeurs à leur bioactivité.

Bien que le mécanisme d'action précis des huiles essentielles ne soit pas encore élucidé, les chercheurs ont mis en évidence certains éléments.

De manière générale, il semblerait que les huiles essentielles agissent à plusieurs niveaux, en fonction de la concentration de l'huile. Au niveau cellulaire (morphologiquement) l'activité antifongique des HEs sur la croissance fongique peut être due en raison de leur nature lipophile, les HEs et leurs composés bioactifs peuvent facilement pénétrer à travers la membrane plasmique et interférer avec l'ergostérol (lipide membranaire essentiel au développement fongique et l'intégrité de la membrane cellulaire fongique) (EL khoury, 2017).

Dans ce contexte, Kohiyama *et al.* (2015) ont montré que les HEs de *T. vulgaris* ont réduit de manière significative la production d'ergostérol par *A. flavus* à des concentrations de 100 et 150 $\mu\text{g/mL}$ (fig. 16).

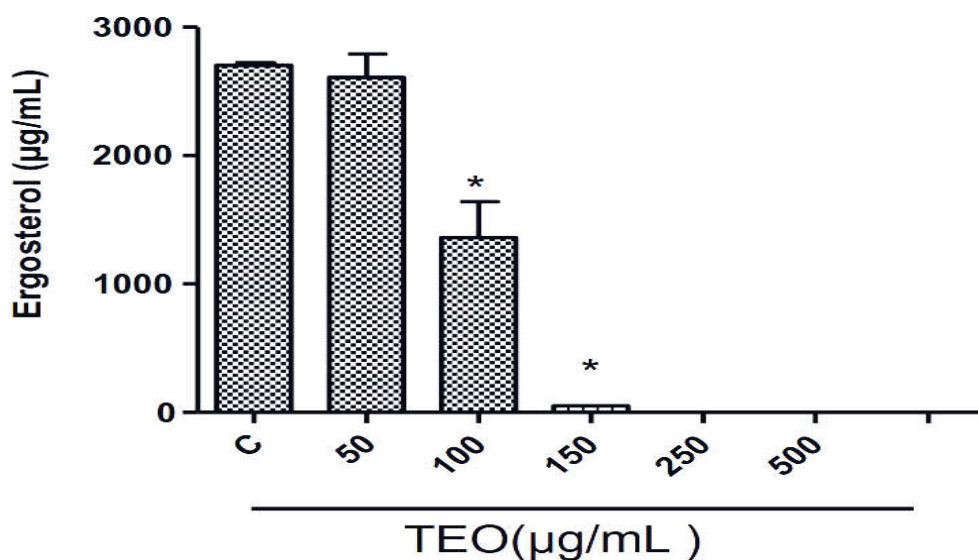


Figure 16 : Effet de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris L.* (TEO) sur la production d'ergostérol par *Aspergillus flavus* (Kohiyama *et al.*, 2015).

En ce qui concerne la structure morphologique de *A. flavus* analysée par SEM, des altérations des caractéristiques des conidiophores ont été observées (fig. 17).

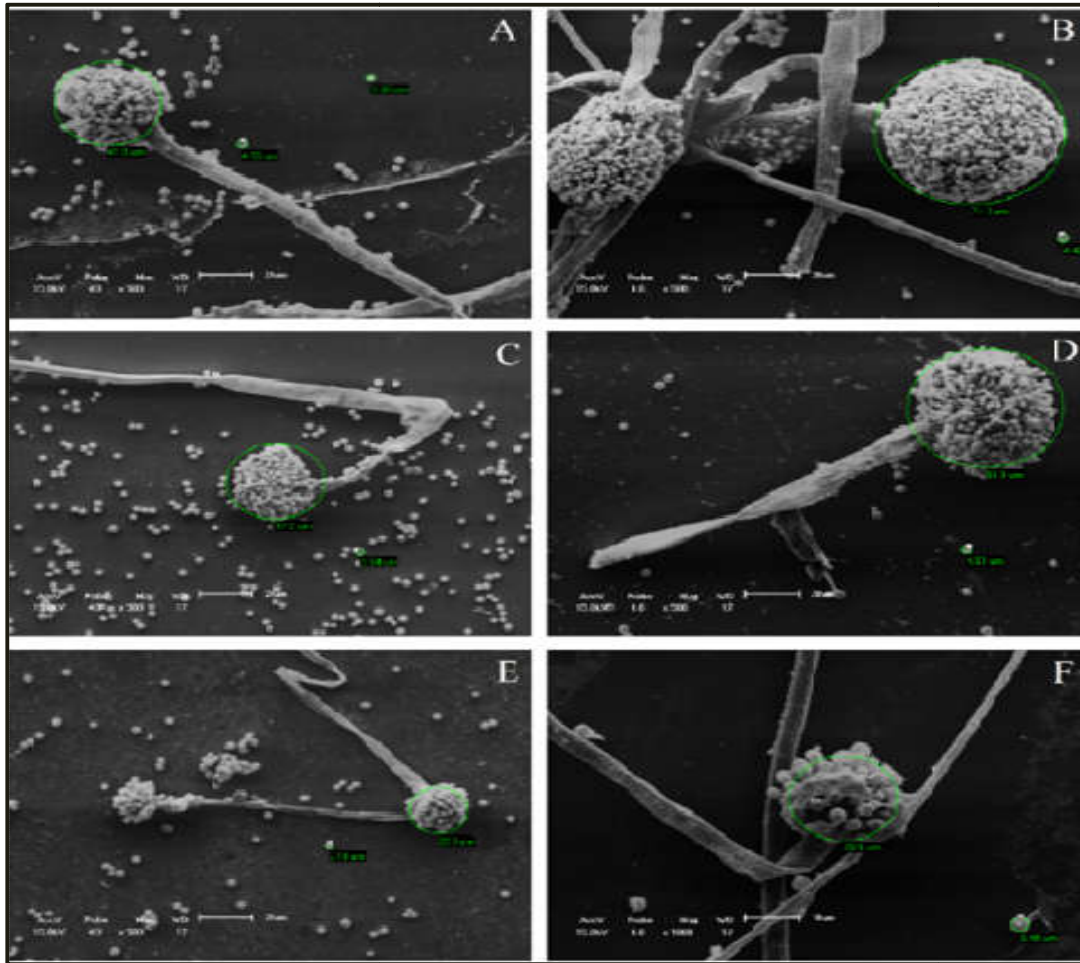


Figure 17 : Effets de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* (TEO) contre *A. flavus*. (A) Témoin, *A. flavus* non traité à la TEO ; (B, C, D, E et F) *A. flavus* traité à la TEO à des concentrations de **50, 100, 150, 250 et 500 µg/mL**, respectivement. Images obtenues par microscopie électronique à balayage (SEM) à un grossissement de $\times 500$ (Kohiyama *et al.*, 2015).

Cette figure indique que La taille des têtes conidiennes variait d'un diamètre de 71,3 à 20,5 µm pour les échantillons traités à des concentrations allant de **50 à 500 µg/mL** (fig. 17) des altérations de la structure des hyphes ont été observées comme le montrent les Figures. 2C et F, (Kohiyama *et al.*, 2015).

De plus, Gao *et al.* (2016) ont déterminé l'action antifongique du thymol contre *Fusarium graminearum* et ont rapporté que, Le thymol a fortement inhibé la production de conidies et la croissance des hyphes. L'observation morphologique dansla (fig. 18).

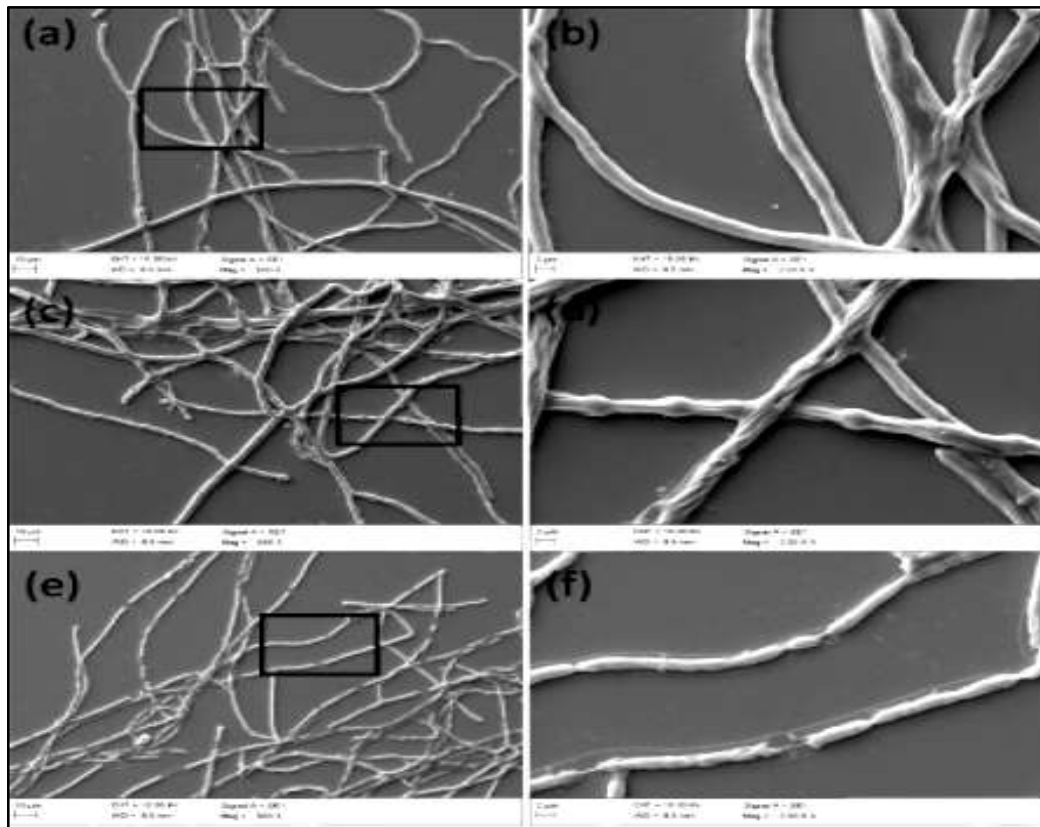


Figure 18 : Observation au SEM de la morphologie des hyphes de *F. graminearum* sous traitement au thymol. Les hyphes ont été traités avec du thymol à (a,b) 0 ; (c,d) 25 ; et (e,f) 100 $\mu\text{g ml}^{-1}$ pendant 24 h. Les micrographies ont été prises au grossissement de (a,c,e) 500 X et (b,d,f) 2000 X, respectivement (Kohiyama *et al.*, 2015).

→ Cette figure indique que le traitement au thymol induit des dommages à la membrane cellulaire chez *F. graminearum*.

Des résultats similaires ont également été rapportés par Kedia *et al.*(2015) qui ont testé le mode d'action antifongique de l'HE de *Mentha spicata* et ont rapporté que les HEs du *M. spicata* exercent des effets significatifs sur la morphologie d'*A.flavus* (fig. 19).

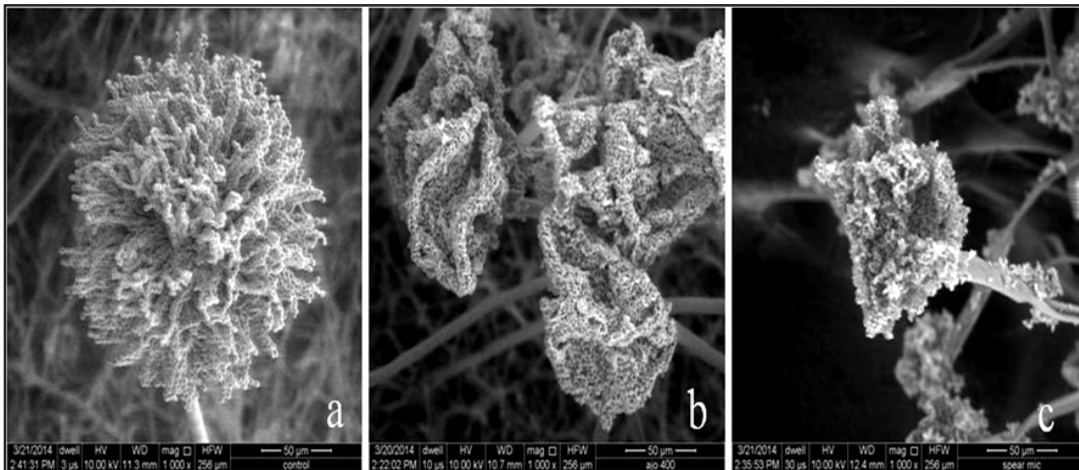


Figure 19 : La TEM (Transmission electron microscopy) illustre l'effet de l'HE de *M. spicata* sur la morphologie d'*A. flavus* (a témoin, b traitement avec $0,5 \mu\text{L mL}^{-1}$ d'HE, c Traitement avec $1,0 \mu\text{L mL}^{-1}$ d'HE) (Kedia *et al.*, 2015).

Dans cette figure, Dans les ensembles témoins, les hyphes présentaient une morphologie normale avec des conidies normales. Les hyphes fumigés étaient déformés avec des conidies aplaties. Le degré de déformation augmentait avec la concentration (Kedia *et al.*, 2015).

Cette perturbation dans les cellules fumigées était due à la fuite du contenu cellulaire, ce qui a été confirmé par la **fig. 20**, qui illustre l'effet de l'HE de *M. spicata* sur le comportement des cellules d'*A. flavus*.

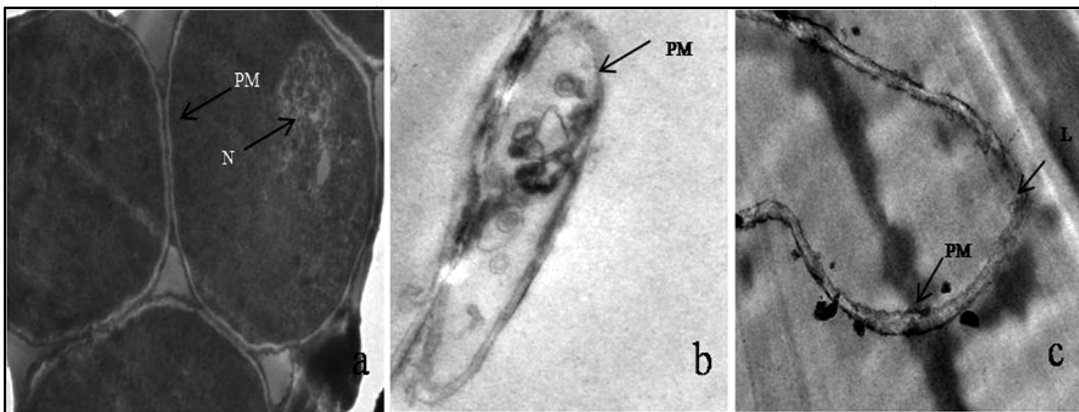


Figure 20 : La microscopie électronique à transmission (TEM) illustre l'effet de l'HE de *M. spicata* sur la structure d'*A. flavus* (a contrôle, b traitement avec $0,5 \mu\text{L mL}^{-1}$ d'HE, c traitement avec $1,0 \mu\text{L mL}^{-1}$ d'HE). PM membrane plasmique, N noyau, L lomasomes (Kedia *et al.*, 2015).

Dans cette figure la cellule témoin présente une membrane plasmique uniforme à surface lisse, des organites normaux et une matrice abondante. Cependant, les cellules fumigées présentaient une membrane plasmique rugueuse avec des renflements, la présence de lomasomes et une matrice cellulaire réduite.

Avec l'augmentation de la concentration, la déformation augmentait et la matrice cellulaire était presque absente (Kedia *et al.*, 2015).

L'observation par TEM a également été utilisée pour analyser l'effet de l'exposition d'*A.niger* aux niveaux (250 ppm et 500 ppm) des huiles de *Thymus eriocalyx* et *Thymus x-porlock* respectivement. Des dommages sévères ont été mis en évidence sur la paroi cellulaire, la membrane cellulaire et les organites cellulaires (mitochondrie) et entraînant des altérations morphologiques délétères irréversibles (Rasooli *et al.*, 2006).

Le mode d'action antifongique au niveau moléculaire a également été étudié. Selon Tian et Chun (2019), L'activité antifongique des HEs est liée avec l'inhibition de l'expression des gènes liés à la croissance et la sporulation des champignons filamenteux (gènes de régulation **brlA**, **abaA**, et **wetA**). L'inactivation de ces gènes provoquerait des anomalies majeures dans la morphologie des conidiophores.

L'étude de Tian et Chun (2019) a montré que L'HE de *T.vulgaris* a réduit l'expression de ces gènes *brlA*, *abaA* et *wetA* liés au développement fongique (**fig. 21**).

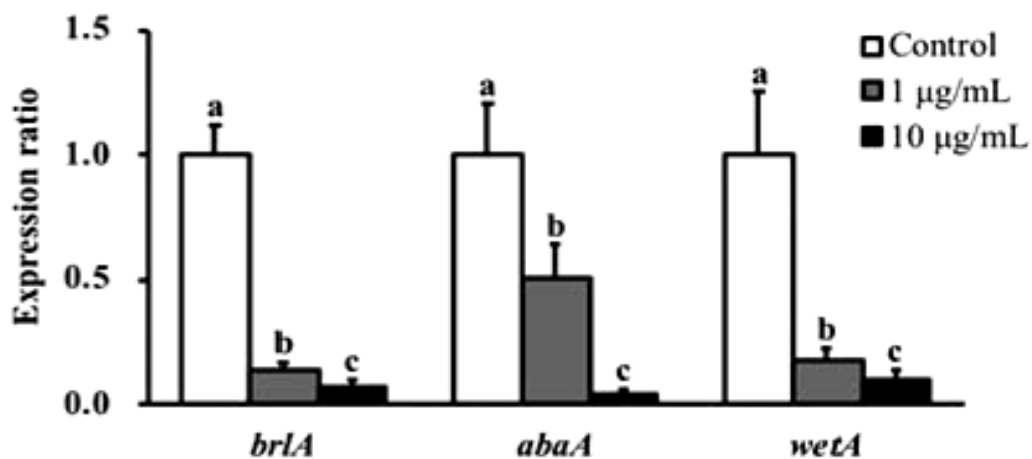


Figure 21 : Effet de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* sur l'expression des gènes liés au développement fongique chez *A. flavus* (**brlA**, **abaA** et **wetA**) (Tian et Chun, 2019).

Enfin, plusieurs études ont révélé que les huiles essentielles possèdent un large spectre

fongitoxique contre presque toutes les moisissures et cela peut être dû à son mode d'action différent sur l'inhibition de la croissance fongique.

4.2.2. Activité antimycotoxinogène

Les données collectées de plusieurs études, concernant les effets des huiles essentielles contre certaines mycotoxines sont présentées dans le **tab. 7**. Selon les données enregistrées dans le (**tab. 7**), toutes les huiles essentielles possèdent une activité antimycotoxinogènes mais le pourcentage de cette dernière varié d'une huile à une autre en fonction de la concentration appliquée et le type de mycotoxine testée.

Tableau 7 : Présentation des résultats des articles étudiés sur les propriétés antimycotoxiques des huiles essentielles.

HE/composant	Concentration appliquée	Pourcentage d'inhibition %	Mycotoxine	Référence
<i>T. vulgaris</i>	93.5 µg/ml	/	AFB1	(Razzaghi-Abyaneh <i>et al.</i> , 2009)
	11.7 µg/ml	/	AFG1	
	150 µg/mL	100	AFB1 et AFB2	(Kohiyama <i>et al.</i> , 2015)
	100 µl/mL	22.43	ZEA (Zéaralénone)	(Prakash <i>et al.</i> , 2015)
	20 µg/mL	100	AFB1	(Tian et Chun, 2019)
	10 µg/mL	97.0	AFB1	
	0.25 µL mL ⁻¹	90.7	AFB1	(Oliveira <i>et al.</i> , 2020)
<i>T. capitatus</i>	0.75 mg/ml	52.47	AFB1	(Ben Miri, 2019)
	1.00-1.75 mg/ml	100	AFB1	
	0.1 g/mL	53	Fumonisine B1	(Mutlu-Ingok <i>et al.</i> , 2020)
<i>T. fontanesii</i>	1µg/mL	92	AFB1	(Mohammedi <i>et al.</i> , 2010)
<i>S. officinalis</i>	0.3-0.5 %	95.2-100	Ochratoxine A(OTA)	(Dammak <i>et al.</i> , 2019)
<i>M. spicata</i>	0.9 µL.mL ⁻¹	100	AFB1	(Akash Kedia <i>et al.</i> , 2014)
	1µLmL ⁻¹	100	AFB1	(Akash Kedia <i>et al.</i> , 2015)
<i>M. arvensis</i>	1000 ppm	100	Ochratoxine A (OTA)	(Basilico et Basilico, 1999)
<i>O. vulgare</i>	1000 ppm	100	Ochratoxine A (OTA)	(Basilico et Basilico, 1999)
	700 mg kg ⁻¹	/	AFB1	(Bluma <i>et al.</i> , 2008)
<i>O. majorana</i>	2.5 µl/ml	100	AFB1	(Prakash <i>et al.</i> , 2012)
Carvacrol	1.00 mM	/	AFB1	(Prakash <i>et al.</i> , 2014)
Thymol	0.1 µL.mL ⁻¹	/	Aflatoxine B1	(Mishra <i>et al.</i> , 2013)
Thymol	1.00 mM	/	aflatoxine B1	(Prakash <i>et al.</i> , 2015)

Menthol	0.9 $\mu\text{L.mL}^{-1}$	/	aflatoxine B1	(Mishra <i>et al.</i> , 2013)
1, 8-cinéole	3.0 $\mu\text{L.mL}^{-1}$	/	aflatoxine B1	

Les études sur les effets antimycotoxinogènes des HEs sont généralement concentrées sur les aflatoxines. Dans ce contexte, plusieurs chercheurs ont indiqué le potentiel des huiles essentielles de *T.vulgaris* sur l'inhibition de la production des AFB1 à des concentrations différentes (93.5 µg/ml ; 20 µg/mL ; 0.25 µL mL⁻¹) (Razzaghi-Abyaneh *et al.*, 2009 ; Tian et Chun, 2019 ; Oliveira *et al.*, 2020).

La **fig. 22** illustre les Effets de différentes concentrations d'huile essentielle de *Thymus vulgaris* (TEO) (50-500 µg/mL) sur la production d'AFB1 et d'AFB2 par *Aspergillus flavus*. L'inhibition complète d'AFB1 a observé à une concentration de **150 µg/mL** (Kohiyama *et al.*, 2015).

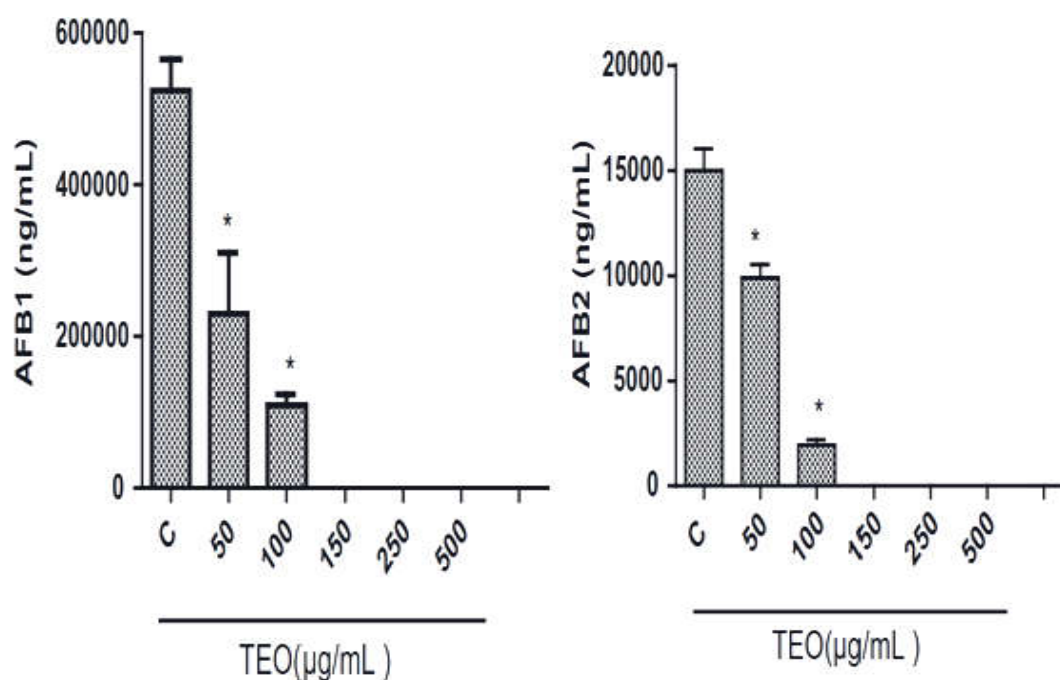


Figure 22 : Effets de différentes concentrations d'huile essentielle de *Thymus vulgaris* (TEO), (50-500 µg/mL) sur la production d'AFB1 et d'AFB2 par *Aspergillus flavus* (Kohiyama *et al.*, 2015).

Aussi, Kedia (2014) et Kedia (2015) ont rapporté l'efficacité inhibitrice de l'HE de *Mentha spicata* et ont trouvé une inhibition de 100 % de la production d'aflatoxine B1 à la concentration de 1 µLmL⁻¹ et à 0,9 µLmL⁻¹ respectivement. Même résultat obtenu par Mishra *et al.* (2013) concernant leur composé bioactif, le Menthol.

Concernant l'effet antiochratoxinogène des HEs, Basilico et Basilico (1999) ont signalé le potentiel des HE *d'Origanum vulgare* et de *Mentha arvensis* à inhiber complètement la production d'OTA à **1000 ppm**. De plus, l'efficacité des HE de *Salvia officinalis*, a été rapportée pour inhiber complètement la production d'OTA à une concentration de **0,5 %** Dammak *et al.*, (2019).

Cette activité antimycotoxinogènes significatives des HEs peut être liée à l'inhibition de un ou plusieurs étapes de la voie de biosynthèses des mycotoxines (Kocić-Tanackov *et al.*, 2012) Ainsi, Tian et Chun (2019) a Indiqué que l'activité antiaflatoxigène de *T.vulgaris* pourrait être liée à l'inhibition des gènes impliqués dans la voie de biosynthèse de l'aflatoxine, le gène **aflR** (qui code pour un facteur de transcription Gal4 zinc finger) et les gènes **aflD**, **aflK** (qui codent pour les enzymes essentielles impliqués dans les réactions de la biosynthèse de l'aflatoxine).

Selon Tian et Chun (2019), l'HE de *T.vulgaris* a réduit de manière significative l'expression des gènes en réduisant l'expression de ces gènes de manière dose-dépendante (**fig. 23**).

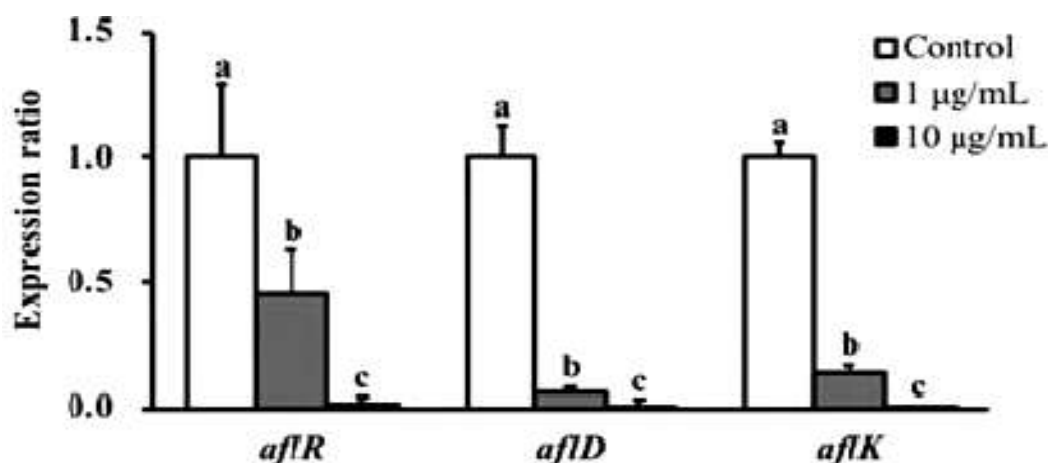


Figure 23 : Effet de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* sur l'expression des gènes liés à la biosynthèse des aflatoxines (**aflR**, **aflD** et **aflK**). Inhibition complète a été observé à **20µg/mL** (Tian et Chun, 2019).

Cette étude est en conformité avec celle d' El Khoury *et al.* (2016), qui a étudié l'effet des huiles de *Thymus vulgaris* (**5 µL/mL**) et de *Origanum vulgare* (**1 µL/mL**) sur les niveaux d'expression des gènes responsables de la biosynthèse de l'OTA par *A.carbonarius* (**acOTApks**, **acOTAnrps**, **acpks**) et les deux gènes régulateurs **laeA**, **veA**.

Leurs résultats ont révélé que ces HEs ont réduit l'expression des cinq gènes étudiés, leurs niveaux de réduction variaient entre 10% et 96% selon la nature de l'HE et sa concentration dans le milieu.

D'autre part, Divband *et al.* (2017) a trouvé que les HE de *T.vulgaris* ayant un effet sur le gène (**Tri4**) de biosynthèse des trichothécènes, Une diminution graduelle relative de l'expression du gène cible (**Tri4**) a été observée lors de l'augmentation de la concentration d'huile essentielle de *T.vulgaris*.

Conclusion

Conclusion

De nos jours, les mycotoxines représentent un réel problème sanitaire à l'échelle mondiale en raison de leurs effets néfastes sur la santé (Guezlane-Tebibel *et al.*, 2016).

D'autre part, l'utilisation excessive de produits chimiques a entraîné plusieurs effets secondaires négatifs aigus ou chroniques chez les mammifères. Dans ces conditions, les chercheurs se sont concentrés ces dernières années sur l'application d'huiles essentielles dérivées de plantes de différents genres et familles (Ebadollahi *et al.*, 2020).

Ainsi, Le but de la présente étude était la collecte des informations sur le potentiel antifongique et antimycotoxinogène des huiles essentielles de certaines espèces appartenant à la famille des Lamiaceae (*Mentha*, *Salvia*, *Thymus*, *Origanum*), sur le pouvoir d'inhibition de la croissance de quelques espèces de moisissures toxigènes et sur la production de leurs mycotoxines.

D'après les résultats obtenus de plusieurs articles analysés et bien étudiés, on peut conclure que :

- ✓ Les huiles essentielles de diverses plantes étudiées ont montré des degrés variables d'effets d'inhibition de la croissance contre différents moisissures toxigènes et aussi contre la production des mycotoxines.

Selon la plupart des chercheurs, l'activité antifongique des huiles est liée à ses principaux composants phénoliques telles que le thymol, le carvacrol et leurs précurseurs (le γ -terpinène et le p-cymène) aussi le menthol, carvone, 1, 8-cinéole etc. et a augmenté en fonction de la concentration et la sensibilité de la souche fongique ciblée.

- ✓ La qualité et la quantité des composants disponibles dans les HE peuvent être affectées par plusieurs facteurs, tels que les conditions géographiques, la saison, les conditions agronomiques
- ✓ Les huiles essentielles exercer son activité à partir des différents mécanismes d'action multidirectionnel soit en inhibant la croissance fongique et entraînant des altérations morphologiques irréversibles, soit en agissant au niveau moléculaire et inhibent un ou plusieurs étapes de la voie de biosynthèse des mycotoxines.

Dans le cadre de poursuivre cette étude, ces résultats exigent d'autres études et ouvrent de nouvelles perspectives:

- ✓ Comprendre les mécanismes d'actions détaillées et les principes exacts d'interaction entre les mycotoxines et les huiles essentielles.
- ✓ Confirmer cette bonne efficacité des huiles essentielles et leur utilisation sûre *in vivo*.
- ✓ Comprendre les effets synergiques ou antagonistes possibles entre les composants majeurs et les composants mineurs des huiles essentielles.

Les résultats de cette étude ont montré que les huiles essentielles étudiées ont un très large spectre d'activités antifongiques. Cependant, leur application à grande échelle reste limitée en raison de leur impact organoleptique sur les matrices alimentaires, de leur nature hydrophobe et volatile ainsi que de leur sensibilité à la chaleur, à la lumière, à l'oxygène et à l'humidité. Ces problèmes avec les HEs et leurs composés bioactifs pourraient être surmontés par leur formulation en nanocapsules. La nanoencapsulation peut protéger les HEs et leurs composés bioactifs de l'oxydation, offrant ainsi une stabilité physique, une volatilité réduite et surtout une meilleure bioactivité (Chaudhari *et al.*, 2019).

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

1. Abu-Darwish M. S., Cabral C., Ferreira I. T., Gonçalves M. J., Cavaleiro C., Cruz M. T., Al-bdour T. H., Salgueiro L. 2013. Essential oil of common sage (*Salvia officinalis* L.) from Jordan: Assessment of safety in mammalian cells and its antifungal and anti-inflammatory potential. *BioMed research international*.
2. Adekoya I., Njobeh P., Obadina A., Landschoot S., Audenaert K., Okoth S., De Boevre M., De Saeger S. 2019. Investigation of the metabolic profile and toxigenic variability of fungal species occurring in fermented foods and beverage from Nigeria and South Africa using UPLC-MS/MS. *Toxins*, p. 85.
3. Adjou E. S., & Aoumanou M. M. 2013. Efficacité des extraits de plantes dans la lutte contre les moisissures toxigènes isolées de l'arachide en post-récolte au Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 70, 5555-5566.
4. Agriopoulou S., Stamatelopoulou E., Varzakas T. 2020. Advances in occurrence, importance, and mycotoxin control strategies: Prevention and detoxification in foods. *Foods*, 9(2), 137.
5. Al-Jaal B., Salama S., Al-Qasmi N., Jaganjac M. 2019. Mycotoxin contamination of food and feed in the Gulf Cooperation Council countries and its detection. *toxicon*, vol. 171, p. 43-50.
6. Alshannaq A., Yu J. H. 2017. Occurrence, toxicity, and analysis of major mycotoxins in food. *International journal of environmental research and public health*, 14(6), 632.
7. Aouadhi C., Ghazghazi H., Hasnaoui B., Maaroufi A. 2013. Comparaison de l'activité antifongique d'extraits méthanoliques de trois plantes collectées du nord-ouest de la Tunisie. *Microbiol. Hyg. Alim*, 25(73), 9-14.
8. Elassaoui M. 2018. Contamination des aliments par les mycotoxines: méthodes de prévention, de lutte et de décontamination. RABAT, université mohammed V- RABAT.
9. Atoui A. 2006. Approche de la mycotoxinogenese chez *Aspergillus ochraceus* et *Aspergillus carbonarius*: Etudes Moleculaire Et Physiologique.
10. Ayaz A., Zaman W., Ullah F., Saqib S., Jamshed S., Bahadur S., Shakoora A., Arshad B. 2020. Systematics study through scanning electron microscopy; a tool for the authentication of herbal drug *Mentha suaveolens* Ehrh. *Microscopy research and technique*, 83(1), 81-87.
11. Azzoune, N. 2011. Etude des populations du genres *Aspergillus* et *penicillium* et de leurs mycotoxines isolées des épices et des légumes secs. Université M'hamed Bouguerra De Boumerdes, Boumerdes.

12. Basílico M. Z., & Basílico J. C. 1999. Inhibitory effects of some spice essential oils on *Aspergillus ochraceus* NRRL 3174 growth and ochratoxin A production. *Letters in Applied Microbiology*, 29(4), 238-241.
13. Bejaoui H. 2005. Champignons Ochratoxinogènes et Ochratoxine A (OTA) dans des Vignobles Français et procEdés Biologiques de décontamination de l'OTA dans les moûts de raisin. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse Laboratoire de Génie Chimique UMR 5503 (CNRS/INPT/UPS).
14. Ben Miri Y. 2019. Etude du potentiel antifongique, antiaflatoxinogène et antioxydant de certaines huiles essentielles et leur efficacité dans le système alimentaire. Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou, Tizi-Ouzou.
15. Bertella. 2019. Etude de l'activité antimicrobienne et antioxydante des huiles essentielles d'*Artemisia herba-alba*, *Artemisiacampestris* et *Rosmarinus tournefortii*. Departement De Biologie laboratoire De Microbiologie Appliquee.
16. Bluma R., Amaiden M. R., Daghero J., Etcheverry M. 2008. Control of *Aspergillus* section Flavi growth and aflatoxin accumulation by plant essential oils. *Journal of applied microbiology*, 105(1), 203-214.
17. Bouhaddouda N. 2016. Activités antioxydante et antimicrobienne de deux plantes du sol local: *Origanum vulgare* et *Mentha pulegium*. Univ Badji Mokhtar, Annaba.
18. Boulade C. 2018. *Lamiaceae*: caractéristiques et intérêts thérapeutiques à l'officine. Université Toulouse III-Paul Sabatier.
19. bouri E. 2014. etude de l'effet fongitoxique de 37 extraits de plantes aromatiques et médicinales sur differntes especes de candida en milieu liquide . Universite Mohammed V –Souissi–Faculte De Medecine Et De Pharmacie –Rabat.
20. Bouzabata A. 2015. Contribution a l'étude d'une plante médicinale et aromatique *myrtus communis l*. Faculté de Médecine, Université Badji-Mokhtar, Annaba, Algérie.
21. Camele I., Altieri L., De Martino L., De Feo V., Mancini E., Rana G. L. 2012. In vitro control of post-harvest fruit rot fungi by some plant essential oil components. *International journal of molecular sciences*, 13(2), 2290-2300.
22. Chaudhari A. K., Dwivedy A. K., Singh V. K., Das S., Singh, A., Dubey N. K. 2019. Essential oils and their bioactive compounds as green preservatives against fungal and mycotoxin contamination of food commodities with special reference to their nanoencapsulation. *Environmental Science and Pollution Research*, 25414-25431.

23. Chikhoun A. 2007. huiles essentielles de thym et d'origan étude de la composition chimique , de l'activité antioxydante et antimicrobienne . institut National Agronomique El Harrach- Alger.
24. Chlebicz A. et Ślizewska K.2020. In vitro detoxification of aflatoxin B 1, deoxynivalenol, fumonisins, T-2 toxin and zearalenone by probiotic bacteria from genus *Lactobacillus* and *Saccharomyces cerevisiae* yeast. *Probiotics and antimicrobial proteins*, 12(1), 289-301.
25. Conte G., Fontanelli M., Galli F., Cotrozzi L., Pagni L., Pellegrini E. 2020. Mycotoxins in feed and food and the role of ozone in their detoxification and degradation: An update. *Toxins*, 12(8), 486.
26. Craft J. D., Satyal P., Setzer W. N. 2017. The chemotaxonomy of common sage (*Salvia officinalis*) based on the volatile constituents. *Medicines*, 4(3), 47.
27. Daferera D. J., Ziogas B. N., Polissiou M. G. 2003. The effectiveness of plant essential oils on the growth of *Botrytis cinerea*, *Fusarium sp.* and *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*. *Crop protection*, 22(1), 39-44.
28. Dammak I., Hamdi Z., El Euch S. K., Zemni H., Mliki A., Hassouna M., Lasram S. 2019. Evaluation of antifungal and anti-ochratoxigenic activities of *Salviaofficinalis*, *Lavandula dentata* and *Laurus nobilis* essential oils and a major monoterpene constituent 1,8-cineole against *Aspergillus carbonarius*. *Industrial Crops and Products*, 128, 85-93.
29. Diáñez F., Santos M., Parra C., Navarro M. J., Blanco R., Gea F. J. 2018. Screening of antifungal activity of 12 essential oils against eight pathogenic fungi of vegetables and mushroom. *Letters in applied microbiology*, 67(4), 400-410.
30. Divband K., Shokri H., Khosravi A. R. 2017. Down-regulatory effect of *Thymus vulgaris*L. on growth and Tri4 gene expression in *Fusarium oxysporum* strains. *Microbial pathogenesis*, 104, 1-5.
31. Džamić A., Soković M., Ristić M., Grujić-Jovanović S., Vukojević J., Marin P. D. 2008. Chemical composition and antifungal activity of *Salvia sclarea* (*Lamiaceae*) essential oil. *Archives of Biological Sciences*, 60(2), 233-237.
32. Ebadollahi A., Ziaee M., Palla F. 2020. Essential Oils Extracted from Different Species of the *Lamiaceae* Plant Family as Prospective Bioagentsagainst Several Detrimental Pests. *Molecules*, 25(7), 1556.
33. El Khoury R., Caceres I., Puel O., Bailly S., Atoui A., Oswald I. P., EL Khoury A., Bailly, J. D.2017. Identification of the anti-aflatoxinogenic activity of *Micromeria graeca* and elucidation of its molecular mechanism in *Aspergillus flavus*. *Toxins*, 9(3), 87.

34. El Khoury R. 2016. Maîtrise Du Risque Aflatoxique: Utilisation d'extraits naturels Et Mise En Evidence De Leurs Mecanismes d'action. Maîtrise du risque aflatoxique: utilisation d'extraits naturels et mise en évidence de leurs mécanismes d'action. Université De Toulouse.
35. EL khoury R. 2017. La lutte biologique contre l'ochratoxine A: utilisation des extraits de plantes médicinales ainsi que des souches d'actinobactéries et mise en évidence de leur mode d'action. Université De Toulouse.
36. El Oualilalami A., El-Akhal F., Ouedrhiri W., Chahdi F. O., Guemmouh R., Greche H. 2013. *Thymus* essential oils (*Thymus vulgaris* and *Thymus Satureioidis*) from center of Maorocco: chemical composition and antimicrobial activity. *Journal of Medical Laboratory Technology*, 8, 27-33.
37. Gao T. Z. 2016. The fungicidal activity of thymol against *Fusarium graminearum* via inducing lipid peroxidation and disrupting ergosterol biosynthesis. *Molecules*, 21(6), 770.
38. Gauthier A. 2016. Les mycotoxines dans l'alimentation et leur incidences sur la santé. Université De Bordeaux UFR Des Sciences Pharmaceutiques.
39. Ghasemi G., Alirezalu A., Ghosta Y., Jarrahi A., Safavi S. A., Abbas-Mohammadi M., Barba F J., Lorenzo J. M. 2020. Composition, antifungal, phytotoxic, and insecticidal activities of *thymus kotschyanus* essential oil. *Molecules*, 25(5), 1152.
40. Guezlane-Tebibel Nadjet G. T., Noureddine B. O. U. R. A. S., Didi O. E. H. M. 2016. Les mycotoxines: un danger de santé public. *Algerian Journal of Arid Environment "AJAE"*, 6(1).
41. Haddouchi F. & Benmansour A. 2008. Huiles essentielles, obtentions, utilisations et activités biologiques. Application à deux plantes aromatiques. *Les technologies de laboratoire*, 3(8).
42. Hadjeba-Medjdoub K. 2012. Risque de multicontaminations en mycotoxines et moyens de désactivation par les parois de levures et levures enrichies en glutathion ou sélénométhionine. Université de toulouse.
43. Haque M. A., Wang Y., Shen Z., Li X., Saleemi M. K., He C. 2020. Mycotoxin contamination and control strategy in human, domestic animal and poultry: A review. *Microbial pathogenesis*, 142, 104095.
44. Hilan C., Sfeir R., Jawish D., Aitour S. 2006. Huiles essentielles de certaines plantes médicinales Libanaises de la famille des *Lamiaceae*. *Lebanese Science Journal*, 7(2), 13-22.

45. Hua H., Xing F., Selvaraj J. N., Wang Y., Zhao Y., Zhou L., Liu X., Liu Y. 2014. Inhibitory effect of essential oils on *Aspergillus ochraceus* growth and ochratoxin A production. *PLoS one*, 9(9), e108285.
46. Jeršek B., Ulrih N. P., Skrt M., Gavarić N., Božin B., Možina S. S. 2014. Effects of selected essential oils on the growth and production of ochratoxin A by *Penicillium verrucosum*. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*, 199-208.
47. Kabak B., Dobson A. D., Var I. I. L. 2006. Strategies to prevent mycotoxin contamination of food and animal feed: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 46(8), 593-619.
48. Kabouche A. 2005. Etude phytochimique de plantes médicinales appartenant à la famille des *Lamiaceae*. Université Mentouri-Constantine Département De Chimie, Constantine.
49. Karpiński T. M. 2020. Essential oils of *Lamiaceae* family plants as antifungals. *Biomolecules*, 10(1), 103.
50. Kedia A., Prakash B., Mishra P. K., Chanotiya C. S., Dubey N. K. 2014. Antifungal, antiaflatoxicogenic, and insecticidal efficacy of spearmint (*Mentha spicata* L.) essential oil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 89, 29-36.
51. Kedia A. D. 2015. Efficacy of *Mentha spicata* essential oil in suppression of *Aspergillus flavus* and aflatoxin contamination in chickpea with particular emphasis to mode of antifungal action. *Protoplasma*, 647-653.
52. Kennedy D., Okello E., Chazot P., Howes M. J., Ohiomokhare S., Jackson P., Haskell-Ramsay C., Khan J., Forster J., Wightman E. 2018. Volatile terpenes and brain function: Investigation of the cognitive and mood effects of *Mentha × piperita* l. essential oil with in vitro properties relevant to central nervous system function. *Nutrients*, 10(8), 1029.
53. Khoukhal F. 2014. Etude Phytochimique et Activité Antioxydante des extraits des composés phénoliques de *Thymus ciliatus* ssp *coloratus* et ssp *euciliatus*. Département de biologie moléculaire et cellulaire laboratoire des Produits Naturels.
54. Kocić-Tanackov S. D., Dimić G. R. 2013. Antifungal activity of essential oils in the control of food-borne fungi growth and mycotoxin biosynthesis in food. *metabolism*, 4(5).
55. Kocić-Tanackov S., Dimić G., Tanackov I., Pejin D., Mojović L., Pejin J. 2012. The inhibitory effect of oregano extract on the growth of *Aspergillus spp.* and on sterigmatocystin biosynthesis. *LWT*, 49(1), 14-20.
56. Kocić-Tanackov S. D., Dimić G. R. 2013. Antifungal activity of essential oils in the control of food-borne fungi growth and mycotoxin biosynthesis in food. *metabolism*, 5.

57. Kohiyama C. Y., Ribeiro M. M. Y., Mossini S. A. G., Bando E., da Silva Bomfim N., Nerilo S. B., Rocha G.H.O., Grespan R., Mikcha J.M.G., Machinski Jr M. 2015. Antifungal properties and inhibitory effects upon aflatoxin production of *Thymus vulgaris* L. by *Aspergillus flavus* Link. *Food Chemistry*, 173, 1006-1010.
58. Kordali S., Cakir A., Ozer H., Cakmakci R., Kesdek M., Mete E. 2008. Antifungal, phytotoxic and insecticidal properties of essential oil isolated from Turkish *Origanum acutidens* and its three components, carvacrol, thymol and p-cymene. *Bioresource Technology*, 99(18), 8788-8795.
59. Koudou P. G. 2009. Etude Phytochimique, Activités Antimicrobiennes et Antioxydantes de Quelques Plantes Aromatiques et Médicinales Africaines . *Etude phytochimique, activités antimicrobiennes et antioxydantes de quelques plantes aromatiques et médicinales africaines* . Université de Ouagadougou, Ouagadougou .
60. Kowalczyk A., Przychodna M., Sopata S., Bodalska A., Fecka I. 2020. Thymol and Thyme Essential Oil—New Insights into Selected Therapeutic Applications. *Molecules*, 25(18), 4125.
61. Labiod R. 2016. Valorisation des huiles essentielles et des extraits de *Satureja calamintha nepeta*: activité antibactérienne, activité antioxydante et activité fongicide. Université BADJI Mokhtar Annaba.
62. Laghchimi A., Znini M., Majidi L., Renucci F., El Harrak A., Costa J. 2014. Composition chimique et effet des phases liquide et vapeur de l'huile essentielle de *Lavandula multifida* sur la croissance mycélienne des moisissures responsables de la pourriture de la pomme (Chemical composition and effect of liquid and vapor phase of Lav. *Environ*, 1770-1780.
63. Laurent J. 2017. Conseils et utilisations des huiles essentielles les plus courantes en officine. Université Toulouse III-Paul Sabatier.
64. Mahboubi M. & Haghi G. 2008. Antimicrobial activity and chemical composition of *Mentha pulegium* L. essential oil. *Journal of ethnopharmacology*, 119(2), 325-327.
65. Makhuele R., Naidu K., Gbashi S., Thipe V. C., Adebo O. A., Njobeh P. B. 2020. The use of plant extracts and their phytochemicals for control of toxigenic fungi and mycotoxins. *Heliyon*, 6(10), e05291.
66. Mansouri E. 2013. Recherche et évaluation de l'activité antifongique des extraits de plantes médicinales . Université Cadi Ayyad faculté De Médecine Et De Pharmacie Marrakech, Marrakech.
67. Mayer F. 2012. Utilisations thérapeutiques des huiles essentielles: Etude de cas en maison de retraite. Université de Lorraine.

68. Mishra P. K., Singh P., Prakash B., Kedia A., Dubey N. K., Chanotiya C. S. 2013. Assessing essential oil components as plant-based preservatives against fungi that deteriorate herbal raw materials. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 80, 16-21.
69. Mishra G. K., Barfidokht A., Tehrani F., Mishra R. K. 2018. Food safety analysis using electrochemical biosensors. *Foods*, 7(9), 141.
70. Moghaddam M. & Mehdizadeh L. 2020. Chemical Composition and Antifungal Activity of Essential Oil of *Thymus vulgaris* Grown in Iran against Some Plant Pathogenic Fungi. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 23(5), 1072-1083.
71. Mohammadi A., Nazari H., Imani S., Amrollahi H. 2014. Antifungal activities and chemical composition of some medicinal plants. *Journal de mycologie medicale*, 24(2), e1-e8.
72. Mohammedi Z., BACHIK S., Belkaroube N. 2010. Potentiel antifongique et antiaflatoxinogène des huiles essentielles d'une plante endémique *Thymus fontanesii* Boiss. et Reut. *Les technologies de laboratoire*, 5(19).
73. Moumni M., Romanazzi G., Najar B., Pistelli L., Ben Amara H., Mezrioui K., Karous O., Chaieb I., Allagui M. B. 2021. Antifungal activity and chemical composition of seven essential oils to control the main seedborne fungi of cucurbits. *Antibiotics*, 10(2), 104.
74. Mutlu-Ingok A., Devecioglu D., Dikmetas D. N., Karbancioglu-Guler F., Capanoglu E. 2020. Antibacterial, antifungal, antimycotoxigenic, and antioxidant activities of essential oils: An updated review. *Molecules*, 25(20):4711.
75. Nešić K., Habschied K., Mastanjević K. 2021. Possibilities for the biological control of mycotoxins in food and feed. *Toxins*, 13(3), 198.
76. Nikolić M., Glamočlija J., Ferreira I. C., Calhelha R. C., Fernandes Â., Marković T., Marković D., Giweli A., Soković M. 2014. Chemical composition, antimicrobial, antioxidant and antitumor activity of *Thymus serpyllum* L., *Thymus algeriensis* Boiss. and Reut and *Thymus vulgaris* L. essential oils. *Industrial Crops and Products*, 52, 183-190.
77. Nuzhat T & Vidyasagar G.M. 2014. Antifungal investigations on plant essential oils. A review. *Academic Sciences*.
78. Oliveira R. C., Carvajal-Moreno M., Correa B., Rojo-Callejas F. 2020. Cellular, physiological and molecular approaches to investigate the antifungal and anti-aflatoxigenic effects of thyme essential oil on *Aspergillus flavus*. *Food chemistry*, 315, 126096.

79. Ovidi E., Laghezza Masci V., Zambelli M., Tiezzi A., Vitalini S., Garzoli S. 2021. *Laurus nobilis*, *Salvia sclarea* and *Salvia officinalis* Essential Oils and Hydrolates: Evaluation of Liquid and Vapor Phase Chemical Composition and Biological Activities. *Plants*, 10(4), 707.
80. Passone M. A., Girardi N. S., Etcheverry M. 2012. Evaluation of the control ability of five essential oils against *Aspergillus* section Nigri growth and ochratoxin A accumulation in peanut meal extract agar conditioned at different water activities levels. *International Journal of Food Microbiology*, 159(3), 198-206.
81. Perczak A., Gwiazdowska D., Marchwińska K., Juś K., Gwiazdowski R., Waśkiewicz A. 2019. Antifungal activity of selected essential oils against *Fusarium culmorum* and *F. graminearum* and their secondary metabolites in wheat seeds. *Archives of microbiology*, 201(8), 1085-1097.
82. Pitarokili D., Tzakou O., Loukis A., Harvala C. 2003. Volatile metabolites from *Salvia fruticosa* as antifungal agents in soilborne pathogens. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(11), 3294-3301.
83. Prakash B., Singh P., Kedia A., Dubey N. K. 2012. Assessment of some essential oils as food preservatives based on antifungal, antiaflatoxin, antioxidant activities and *in vivo* efficacy in food system. *Food Research International*, 49(1), 201-208.
84. Prakash B., Kedia A., Mishra P. K., Dubey N. K. 2015. Plant essential oils as food preservatives to control moulds, mycotoxin contamination and oxidative deterioration of agri-food commodities—Potentials and challenges. *Food Control*, 381-391.
85. Rasooli I., Rezaei M. B., Allameh A. 2006. Growth inhibition and morphological alterations of *Aspergillus niger* by essential oils from *Thymus eriocalyx* and *Thymus x-porlock*. *Food Control*, 17(5), 359-364.
86. Raveau R., Fontaine J., Lounès-Hadj Sahraoui A. 2020. Essential oils as potential alternative biocontrol products against plant pathogens and weeds: A review. *Foods*, 9(3), 365.
87. Razzaghi-Abyaneh M. S. G. 2009. Chemical composition and antiaflatoxigenic activity of *Carum carvi* L., *Thymus vulgaris* and *Citrus aurantifolia* essential oils. *Food Control*, 1018-1024.
88. Rai A., Das M., Tripathi, A. 2020. Occurrence and toxicity of a fusarium mycotoxin, zearalenone. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(16), 2710-2729.

89. Redouane-Salah S. 2016. Caractérisation mycologique des fourrages pour ruminants et recherche d'Aflatoxine M1 dans le lait cru de vache. Université des Frères Mentouri-Constantine .
90. Roselló J., Sempere F., Sanz-Berzosa I., Chiralt A., Santamarina M. P. 2015. Antifungal activity and potential use of essential oils against *Fusarium culmorum* and *Fusarium verticillioides*. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 18(2), 359-367.
91. Saharkhiz M. J., Motamedi M., Zomorodian K., Pakshir K., Miri R., Hemyari K. 2012. Chemical composition, antifungal and antibiofilm activities of the essential oil of *Mentha piperita* L. *International Scholarly Research Notices*, 6.
92. Santoyo S., Cavero S., Jaime L., Ibanez E., Senorans F. J., Reglero G. 2006. Supercritical carbon dioxide extraction of compounds with antimicrobial activity from *Origanum vulgare* L.: determination of optimal extraction parameters. *Journal of food protection*, 69(2), 369-375.
93. Satyal P., Murray B. L., McFeeters R. L., Setzer W. N. 2016. Essential oil characterization of *Thymus vulgaris* from various geographical locations. *Foods*, 5(4), 70.
94. Schlösser I. & Prange A. 2019. Effects of selected natural preservatives on the mycelial growth and ochratoxin A production of the food-related moulds *Aspergillus westerdijkiae* and *Penicillium verrucosum*. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 36(9), 1411-1418.
95. Singh P. & Pandey A. K. 2018. Prospective of essential oils of the genus *Mentha* as biopesticides: A review. *Frontiers in plant science*, 9, 1295.
96. Soković M. D., Vukojević J., Marin P. D., Brkić D. D., Vajs V., Van Griensven L. J. 2009. Chemical composition of essential oils of *thymus* and *mentha* species and their antifungal activities. *Molecules*, 14(1), 238-249.
97. Soliman K. M. & Badea R. I. 2002. Effect of oil extracted from some medicinal plants on different mycotoxigenic fungi. *Food and chemical toxicology*, 40(11), 1669-1675.
98. Souza D. P., Pimentel R. B., Santos A. S., Albuquerque P. M., Fernandes A. V., Junior S. D., Oliveira J. T. A., Ramos M. V., Rathinasabapathi B., Gonçalves J. F. 2020. Fungicidal properties and insights on the mechanisms of the action of volatile oils from Amazonian Aniba trees. *Industrial Crops and Products*, 143, 111914.
99. Stringaro A., Colone M., Angiolella L. 2018. Antioxidant, antifungal, antibiofilm, and cytotoxic activities of *Mentha spp.* essential oils. *Medicines*, 5(4), 112.
100. Swamy M. K., Akhtar M. S., Sinniah U. R. 2016. Antimicrobial properties of plant essential oils against human pathogens and their mode of action: an updated review. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*.

101. Tariq S., Wani S., Rasool W., Shafi K., Bhat . M. A., Prabhakar A., Shalla A.H., Rather M.A. 2019. A comprehensive review of the antibacterial, antifungal and antiviral potential of essential oils and their chemical constituents against drug-resistant microbial pathogens. *Microbial pathogenesis*, 134, 103580.
102. Tian F., Lee S. Y., Chun H. S. 2019. Comparison of the Antifungal and Antiaflatoxicogenic Potential of Liquid and Vapor Phase of *Thymus vulgaris* Essential Oil against *Aspergillus flavus*. *Journal of food protection*, 82(12), 2044-2048.
103. ToureD. 2015. etudes chimique et biologique des huiles essentielles de quatre plantes aromatiques medicinales de côte d'ivoire. Université Felix Houphoet Boigny, Côte d'Ivoire, .
104. Tullio V., Nostro A., Mandras N., Dugo P., Banche G., Cannatelli M. A.,Cuffini A.M., Alonzo V., Carlone, N. A. 2007. Antifungal activity of essential oils against filamentous fungi determined by broth microdilution and vapour contact methods. *Journal of applied microbiology*, 102(6), 1544-1550.
105. Tzima K., Brunton N. P., Rai D. K.2018. Qualitative and quantitative analysis of polyphenols in *Lamiaceae* plants—A review. *Plants*, 7(2), 25.
106. Uwineza M. S., El Yousfi B., Lamiri A. 2018. Activités antifongiques in vitro des huiles essentielles de *Mentha pulegium*, *Eugenia aromatica* et *Cedrus atlantica* sur *Fusarium culmorum* et *Bipolaris sorokiniana*. *Revue Marocaine de Protection des Plantes*, (12).
107. Verma R. S. 2010. Chemical investigation of decanted and hydrophilic fractions of *Salvia sclarea* essential oil. *Asian Journal of Traditional Medicines*, 5(3), 102-108.
108. Viuda□Martos M., Ruiz□Navajas Y., Fernández□López J., Pérez□Álvarez J. A. 2007. Antifungal activities of thyme, clove and *oregano* essential oils. *Journal of food safety*, 27(1), 91-101.
109. Wang H., Yang Z., Ying G., Yang M., Nian Y., Wei F., Kong W. 2018. Antifungal evaluation of plant essential oils and their major components against toxigenic fungi. *Industrial Crops and Products*, 120, 180-186.
110. Zaibet W. 2016 . Composition chimique et activité biologique des huiles essentielles de *Daucus aureus* (Desf) et de *Reutera lutea* (Desf.) Maire, et leur application comme agents antimicrobiens dans le polyéthylène basse densité (PEBD). UNIVERSITE FERHAT ABBAS-SETIF-1 UFAS (ALGERIE) .
111. Zenasni L. 2014. Etude de polymorphisme chimique des huiles essentielles de *Thymus satureioides* Coss et d'*Origanum compactum* Benth et du genre *Nepeta* et

évaluation de leur propriété antibactérienne. UNIVERSITÉ MOHAMMED V –AGDAL ,
Rabat.

- 112.** Zouari N., Fakhfakh N., Zouari S., Bougatef A., Karray A., Neffati M., Ayadi M. A.2011. Chemical composition, angiotensin I-converting enzyme inhibitory, antioxidant and antimicrobial activities of essential oil of Tunisian *Thymus algeriensis* Boiss. et Reut.(*Lamiaceae*).*Food and Bioproducts Processing*, 89(4), 257-265.

Annexes

Le tableau a énumère les principales mycotoxines, leur numéro CIRC, les principaux producteurs et certaines denrées alimentaires couramment contaminées, ainsi que les limites réglementaires fixées par la FDA américaine et l'Union européenne (UE) pour les niveaux de mycotoxines dans les denrées alimentaires et les aliments pour animaux (Agriopoulou *et al.*, 2020).

Mycotoxines	Numéro CIRC *	Espèces Fongiques	Produits alimentaires	US FDA (µg/kg)	UE (CE 2006) (µg / kg)
Aflatoxines B1, B2, G1, G2	1*	<i>Aspergillus flavus, Aspergillus parasiticus</i>	Maïs, blé, riz, arachide, pistache, amande, arachides, noix, figes, graines de coton, épices	20 pour le total	2-12 pour B1 4-15 pour total
Aflatoxine M1	2B*	Métabolite de l'aflatoxine B1	Lait, produits laitiers, viande	0.5	0,05 dans le lait 0,025 pour lait infantile
Ochratoxine A OTA	2B*	<i>Aspergillus ochraceus, Aspergillus carbonarius Penicillium verrucosum, Penicillium nordicum</i>	Céréales, fruits de vigne séchés, vin, raisins, café, cacao, fromage	Pas encore défini	2–10
Fumonisines B1, B2, B3	2B*	<i>Fusarium verticillioides, Fusarium proliferatum</i>	Maïs, produits à base de maïs, sorgho, asperges	2000-4000	200–4000
Zéaralénone ZEN	3*	<i>Fusarium graminearum (F. roseum), Fusarium culmorum Fusarium equiseti, Fusarium cerealis, Fusarium verticillioides,</i>	Céréales, produits céréaliers, maïs, blé, orge	Pas encore défini	20–100

		<i>Fusarium incarnatum</i>			
Trichothécènes (type B: désoxynivalénol)	3*	<i>Fusarium graminearum</i> , <i>Fusarium culmorum</i> , <i>Fusarium cerealis</i>	Céréales, produits céréaliers	1000	200–50
Patuline	3*	<i>Penicillium expansum</i> <i>Bysochlamis nivea</i> , <i>Aspergillus clavatus</i> , <i>Penicillium patulum</i> <i>Penicillium crustosum</i>	Pommes, jus de pomme et concentré, poires, pêches, raisins, abricots, olives jus de fruits peu acides	50	10–50
Trichothécènes (type A: HT-2)	3*	<i>Fusarium langsethiae</i> , <i>Fusarium sporotrichioides</i>	Maïs, blé, orge, avoine, seigle	15	25–1000
Trichothécènes (type A: toxine T-2)	3*	<i>Fusarium langsethiae</i> , <i>Fusarium sporotrichioides</i>	Maïs, blé, orge, avoine, seigle	15	25–1000
Alcaloïdes de l'ergot(EAs)	/	<i>Claviceps purpurea</i> , <i>Claviceps fusiformis</i> , <i>Claviceps africana</i> , <i>Neotyphodium spp</i>	Seigle, produits contenant du seigle, blé, triticales, orge, millet et avoine	Pas encore défini	Pas encore défini
Alternariol (AOH)	/	<i>Alternaria alternata</i>	Céréales et produits à base de céréales, légumes et produits végétaux, fruits et produits à base de fruits, oléagineux et huile végétale	Pas encore défini	Pas encore défini

Définitions des numéros du CIRC: **1**, la mycotoxine est cancérogène pour l'homme ; **2B**, la mycotoxine est peut-être cancérogène pour l'homme ; **3**, la mycotoxine ne peut pas être classée quant à sa cancérogénicité pour l'homme.

Tableau b: quelques plantes ayant une activité antifongique (Nuzhat et Vidyasagar, 2014).

Famille de plante	Nom scientifique (espèce)	Composants
<i>Amaranthaceae</i>	<i>Chenopodium ambrosioides</i>	m-cymene, myrtenol
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Pistacia lentiscus</i>	terpineol, α -terpineol
<i>Apiaceae</i>	<i>Crithmum maritimum</i>	dillapiole, γ -terpinene, sabinene, thymolmethylether, β -phellandrene
	<i>Daucus carota</i> subsp. <i>carota</i>	Sardinia: β -bisabolene, 11- α -(H)-himachal-4-en-1- β -ol Portugal: geranyl acetate, α -pinene
	<i>Distichoselinum tenuifolium</i>	myrcene, limonene
	<i>Eryngium duriaei</i> subsp.	α -neocallitropsene, isocaryophyllen-14-al, 14-hydroxy- β -caryophyllen
	<i>juresianum</i>	caryophyllene oxide, E- β -caryophyllene
	<i>Ferula hermonis</i>	α -pinene, α -bisabolol, 3,5-nonadiyne
	<i>Trachyspermum ammi</i>	Thymol, p-cymene, γ -terpinene, β -pinene, terpinen-4-ol.
	<i>Coriandrum sativum</i>	Linalool, geraniol
	<i>Pimpinella anisum</i>	trans -anethole
	<i>Foeniculum graveolens</i>	Anethol, Fenchone
<i>Asteraceae</i>	<i>Arnica longifolia</i>	camphor , 1,8-cineole
	<i>Aster hesperius</i>	carvacrol, α -bisabolol
	<i>Baccharis latifolia</i>	hexadecanoic acid, carvacrol
	<i>Chrysothamnus nauseosus</i>	camphor, α - and β -pinene, lyratyl acetate
	<i>Elephantopus spicatus</i>	β -phellandrene, β -pinene
	<i>Eupatorium semialatum</i>	δ -elemene, farnesene, α -curcumene, selina-4,7(11)-diene, β -bisabolene
	<i>Spilanthes americana</i>	Piperitone, piperitenone

<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Croton cajucara</i>	linalool
<i>Gentianaceae</i>	<i>Gentiana asclepiadea</i>	xanthones
<i>Hypericaceae</i>	<i>Hypericum perforatum</i>	terpinen-4-ol
<i>Labiatae</i>	<i>Hyptis suaveolens</i>	Sabinene, -terpinolene, 1, 8-cineole.
<i>Lauraceae</i>	<i>Aniba rosaedora</i>	Linalool
	<i>Laurus nobilis</i>	1,8-cineole
	<i>Sassafras albidum</i>	Safrole
	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	trans-cinnamaldehyde
<i>Moringaceae</i>	<i>Moringa oleifera</i>	pentacosane, hexacosane
<i>Myrtaceae</i>	<i>Eucalyptus citriodora</i>	Citronellal, Isopulegol
	<i>Syzygium aromaticum</i>	Eugenol
<i>Piperaceae</i>	<i>Piper barberi</i>	1,8 ceneole, α -pinene , eugenol isomer , camphor
<i>Poaceae</i>	<i>Cymbopogon martini</i>	trans geraniol, β -elemene
	<i>Cymbopogon citratus</i>	Geranial, Neral, Limonene
<i>Ranunculaceae</i>	<i>Nigella sativa</i>	Nigellone
<i>Rutaceae</i>	<i>Citrus aurantiifolia</i>	Limonene, γ -terpinene, terpinolene
	<i>Citrus hystrix</i>	limonene , citronellal, β -pinene
	<i>Haplophyllum tuberculatum</i>	α - and β -phellandrene, limonene, β -ocimene, β -caryophyllene, myrcene
<i>Verbenaceae</i>	<i>Vitex rivularis</i>	germacrene D , γ -curcumene, ar-curcume, α -copaene, β -caryophyllene
	<i>Lantana achyranthifolia</i>	Carvacrol, α -bisabolol, isocaryophyllene
	<i>Lippia graveolens</i>	Carvacrol, α -terpinyl acetate, m-cymene, thymol
<i>Zingiberaceae</i>	<i>Zingiber officinale</i>	Zingiberene, geranial, α -curcumene , β -bisabolen, β -sesquiphellandrene

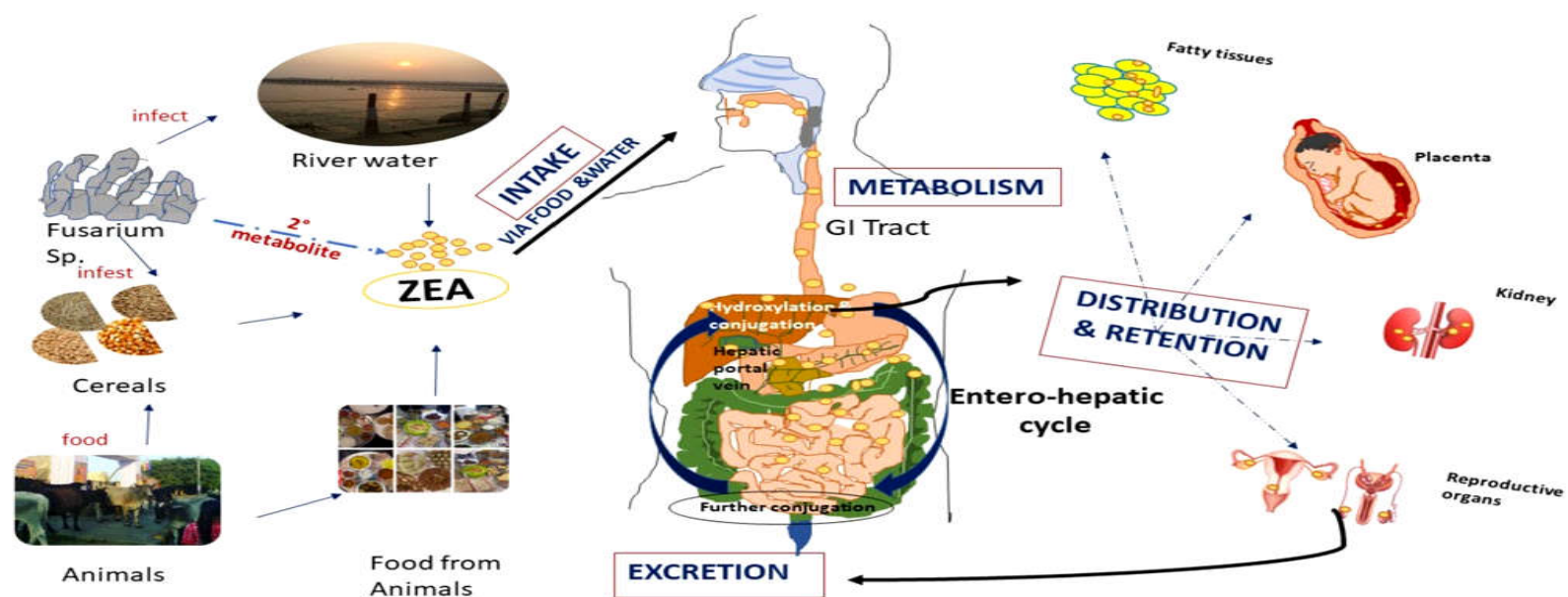


Figure A: exemple sur la toxicocinétique de la zéaralénone (ZEA) (Rai *et al.*, 2020).

Résumés

الملخص:

في الوقت الحاضر، هناك اهتمام متزايد بتحديد المركبات الطبيعية القادرة على الحد من نمو الفطريات و / أو إنتاج السموم الفطرية. في هذا السياق، يهدف عملنا إلى جمع أكبر قدر ممكن من المعلومات حول النشاط المضاد للفطريات والمضاد للسموم الفطرية الذي تمارسه أنواع معينة من عائلة *lamiaceae* (الزعر، النعناع، الأورجانو والميرمية). وقد أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها مايلي : يختلف مردود الزيت من نوع لأخر و أيضاً في نفس النوع ؛ أظهرت معظم الدراسات ان الثيمول، الكارفاكروول، المنثول و 1،8 سينول هي المكونات الرئيسية في معظم أنواع الزعر، الأورجانو، النعناع والميرمية على التوالي. لقد مارست جميع الزيوت المدروسة نشاطاً مضاداً للفطريات و / أو مضاداً للسموم الفطرية يختلف من زيت إلى آخر ومن سلالة فطرية إلى أخرى ؛ تمارس الزيوت نشاطها بواسطة آليات مختلفة إما على المستوى الخلوي أو الجزيئي .

الكلمات المفتاحية: السموم الفطرية، الزيوت الأساسية، *lamiaceae*، نشاط مضاد للفطريات، نشاط مضاد للسموم الفطرية.

Résumé:

A l'heure actuelle, on note un intérêt croissant pour identifier des composés naturels capables de limiter la croissance fongique et/ou la production des mycotoxines. Dans ce contexte, notre travail vise à collecter le maximum des informations pour s'avoir l'activité antifongiques et antimycotoxinogènes de certaines espèces des la famille des *lamiaceae* (*Mentha*, *Salvia*, *Thymus*, *Origanum*) et les résultats obtenus ont montré les constatations suivantes : Les rendements en huile essentielle varient de genres à l'autre et aussi dans la même espèce ; La plupart des études ont montré que le thymol, le carvacrol, le menthol et le 1,8-cinéole sont les principaux composants dans la plupart des espèces du *Thymus*, *Origanum*, *Mentha* et *Salvia*, respectivement ; Toutes les HEs étudiées ont exercées une activité antifongique et/ou antimycotoxinogènes qui varie d'une huile à l'autre et aussi d'une souche fongique à une autre ; Les HEs exercent leur activité à partir des différents mécanismes soit au niveau cellulaire ou moléculaire.

Mots clés: Mycotoxines, Huiles essentielles, *Lamiaceae*, Activité antifongiques, Activité antimycotoxinogènes

Abstract:

At present, there is a growing interest in identifying natural compounds capable of limiting fungal growth and/or mycotoxin production. In this context, our work aims to collect the maximum information to have the antifungal and antimycotoxinogenic activity of some species of the family of *lamiaceae* (*Mentha*, *Salvia*, *Thymus*, *Origanum*) and the results obtained showed the following findings: Essential oil yields vary from genus to genus and also within the same species ; Most studies thymol, carvacrol, menthol and 1,8-cineole are the main components in most species of *Thymus*, *Origanum*, *Mentha* and *Salvia*, respectively ; All the studied EOs exerted antifungal and/or antimycotoxinogenic activity which varies from one oil to another and also from one fungal strain to another ; EOs exert their activity from different mechanisms either at cellular or molecular level.

Key words: Mycotoxins, Essential oils, *Lamiaceae*, Antifungal activity, Antimycotoxinogenic activity.