



UNIVERSITÉ
DE BISKRA

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 / 2021

MÉMOIRE DE MASTER

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Présenté et soutenu par :

Ikram Hasna BADIS et Amani MERABET

Le : Samedi 03 juillet 2021

Thème

**Effet inhibiteur des huiles essentielles vis-à-vis les
microorganismes responsables des infections
endodontiques**

Jury :

Dr.	Abdelouahab DEHIMAT	MCB	Université de Biskra	Président
Dr.	Fethi BENBELAID	MCB	Université de Biskra	Rapporteur
Mr.	Nasser BELLOUCIF	MAA	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2020/2021

Remerciements

On remercie **Allah** le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord on remercie énormément notre encadreur Dr. Fethi Benbelaid pour la qualité de son encadrement exceptionnel, sa patience et sa disponibilité durant notre préparation de ce travail.

On tiens de remercier aussi tous les enseignants du département "Science de la nature et de la vie" ainsi les membres de jury pour avoir accepté de juger notre travail.

Dédicace

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Je dédie ce travail à l'âme de mon cher grand-père **Brahim OUAGHLANI** & ma grand-mère **Fatma HANI** Allah yarhamhoum

A mes chers parents

Ma mère **Fouzia OUAGHLANI** & mon père **Abd errahmane MERABET** qui ont toujours cru en moi à travers leur amour, leur affection et leur confiance.

A mes sœurs **Aya & Loubna** et mon frère **Mohamed**

Que dieu vous protège.

A ma tante **Nadia**, Prof de Science de la nature qui m'a offert des conseils en or.

A mon binome **Ikram Hasna BADIS**, ma chère amie qui m'a beaucoup aidé pendant mes années universitaires.

A ma meilleure amie **Amira BACHA**, qui sans elle je n'aurais pas pu terminer ce travail.

A tous ceux qui m'ont soutenu..... إلى الأقربون قلبا

Amani MERABET

Dédicace

Merci Allah, ton amour et tes grâce à mon égard m'ont donné le courage pour accomplir ce travail.

J'ai le plaisir de dédier ce travail à :

A mes chers parents

A mon père Mustapha, Mon plus haut exemple et ma mère Salima, pour son amour, ses encouragements.

A mes Sœurs Manal & Souhaila et ma frère Sadek

Qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études, je leurs souhaite une vie pleine du bonheur et de succès.

A ma très chère binôme Amani

En souvenir de nos rires et de bons moments, en souvenir de tout ce qu'on a vécu ensemble.

A tous mes amis et collègues et tous ceux et toutes.

Ikram Hasna BADIS

Sommaire

REMERCIEMENTS

DEDICACE

DEDICACE

SOMMAIRE

LISTE DES TABLEAUXI

LISTE DES ABREVIATIONS II

INTRODUCTION..... 1

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 01: PATHOLOGIES ENDODONTIQUES

1.1. INFECTIONS DES RACINES DENTAIRES 3

1.1.1. Infection endodontique primaire 3

1.1.2. Infection endodontique secondaire 3

1.2. MICROBIOLOGIE ENDODONTIQUE 3

1.2.1. Flore endodontique 3

1.2.2. Facteurs de virulence 4

1.2.3. Résistance envers les agents antimicrobiens..... 5

1.2.3.1. Aux Antibiotique..... 5

1.2.3.2. Envers les désinfectants 5

1.3. BIOFILMS 6

1.3.1. Généralités 6

1.3.2. Formation du biofilm endodontique 6

1.3.3. Rôle de biofilm dans les résistances microbiennes contre les agents antimicrobiens
..... 7

CHAPITRE 02: HUILES ESSENTIELLES COMME AGENTS ANTIMICROBIENS ALTERNATIFS

2.1. GENERALITES 8

2.2. CHIMIE DES HUILES ESSENTIELLES 8

2.3. PRINCIPALES ACTIVITES BIOLOGIQUES 8

2.3.1. Activité antioxydante 8

2.3.2. Activité antimicrobienne..... 9

2.4. POTENTIEL ANTIMICROBIEN DES HUILES ESSENTIELLES..... 9

2.4.1. Mode d'action..... 9

2.4.2. Activité anti-biofilm..... 9

2.5. INTERETS INDUSTRIELS ET PHARMACEUTIQUES DES HUILES ESSENTIELLES 9

2.5.1. Intérêts industriels..... 9

2.5.2. Intérêts pharmaceutiques	10
---------------------------------------	----

PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE 03 :MATERIEL ET METHODES

3.1. PRODUITS NATURELS ETUDIES	11
3.2. METHODES D'EXTRACTION	15
3.3. ANALYSES CHIMIQUES	15
3.4. EVALUATION DE L'ACTIVITE ANTIMICROBIENNE	15
3.4.1. Souches microbiennes.....	15
3.4.2. Méthodes utilisées.....	18
3.4.3. Techniques spéciales.....	22

CHAPITRE 04 :RESULTATS ET DISCUSSION

4.1. RENDEMENT DES EXTRACTIONS	24
4.2. CARACTERISATION CHIMIQUE.....	24
4.3. RESULTATS DES ACTIVITES BIOLOGIQUES	26
4.4. DISCUSSION	34
CONCLUSION.....	40
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE	41

Liste des tableaux

Tableau 1. Les différents facteurs de virulence d' <i>E. faecalis</i>	4
Tableau 2. Données sur le matériel végétal étudié.....	11
Tableau 3. Données sur les souches microbiennes étudiées.....	15
Tableau 4. Les méthodes utilisées.....	18
Tableau 5. Les méthodes spéciales utilisées.....	22
Tableau 6. Composition chimique des HEs.....	24
Tableau 7. Résultats des activités biologiques.....	27
Tableau 8. Résultats des méthodes spéciales utilisés.....	31

Liste des abréviations

Ca(OH₂) : Hydroxide de calcium

CHX : Chlorhexidine di-gluconates

CMB : Concentration minimale bactéricide

CMEB : Concentration minimale d'éradication du biofilm

CMF : Concentration minimale fongicide

CMI : Concentration minimale inhibitrice

CMIB : Concentration minimale inhibitrice du biofilm

CMM : Concentration mixte internationale

CTR : Cétrimide

DMSO : Diméthylsulfoxyde

EDTA : Acide éthylènediaminetétraacétique

MTT : Microculture tetrazolium assay

NaOCl : Hypochlorite de sodium

OCT : Octerinidine hydrochloride

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

UFC : Unité formant colonie

Introduction

Les infections bucco-dentaires se présentent actuellement comme un problème majeur de santé publique. En effet, les pathologies liées à la cavité buccale sont des maladies ayant souvent un caractère invisible et caché, et pouvant ainsi engendrer des douleurs de diverses intensités, des déformations et parfois même la mort (Bouzidi, 2020). D'après l'OMS, les infections bucco-dentaires sont classées étant le troisième fléau mondial après les maladies cardiovasculaires et les pathologies cancéreuses (Kolnik, 2013).

Les maladies parodontales, y compris la parodontite apicale, sont des affections plus ou moins graves touchant les tissus de soutien des dents à savoir la gencive, le ligament parodontal, le cément et l'os alvéolaire. L'accumulation des biofilms bactériens sur les surfaces des dents favorise le taux de ces maladies. Les soins des parodontites apicales, connues également sous le nom de traitement endodontique, sont considérés comme un des actes clés de la dentisterie. Le traitement en question consiste à préparer, décontaminer et obturer le système canalaire afin de prévenir ou de traiter une parodontite apicale (Dakkakiet *al.*, 2013). Bien que l'éradication totale des microorganismes reste l'objectif principal des traitements endodontiques (Leila, 2015).

L'histoire des peuples à travers les cinq continents montre que les plantes aromatiques et médicinales ont toujours occupé une place importante dans les pratiques quotidiennes de l'homme. Actuellement, les recherches portées sur les métabolites secondaires issus de plantes ont prouvé que ces substances sont dotées de plusieurs activités biologiques notamment les huiles essentielles (HEs). Ces dernières sont des produits à forte valeur ajoutée, ainsi largement valorisées dans les industries pharmaceutiques, cosmétiques et agroalimentaires (Bouthayna & Hadjer, 2020).

Dans le même cadre de recherche basé sur la valorisation des plantes médicinales, nous nous sommes intéressés à synthétiser les résultats de tous les travaux ayant focalisé sur l'évaluation des HEs ainsi que les autres métabolites secondaires des plantes dans les traitements des infections endodontiques. Ainsi, la présente recherche a été conçue dans le but d'analyser à quel point les produits naturels peuvent être efficaces dans l'éradication des pathogènes endodontiques, dont les espèces microbiennes *E. faecalis* et *C. albicans*.

Le manuscrit est rédigé en deux parties, en commençant par une recherche bibliographique sur les pathologies endodontiques, les biofilms et les HEs comme une

solution alternative. Tandis que dans la deuxième partie nous avons essayé à rapporter les différents résultats obtenus par les auteurs ayant évalué l'effet inhibiteur des HEs vis-à-vis des microorganismes responsables des infections endodontiques.

Partie Bibliographique

Chapitre 01 :
Pathologies
endodontiques

1.1. Infections des racines dentaires

La parodontite apicale d'origine endodontique est une lésion plus au moins grave qui peut entraîner des inflammations sévères dans les tissus péri-radicaux lors des phases aiguës. Cependant ces infections sont le plus souvent chroniques et asymptomatiques dans la majorité des cas rendant son diagnostic difficile (Wa, 2006).

La survenue d'une parodontite apicale ou lésion inflammatoire péri-radicaire d'origine endodontique (LIPOE) repose sur des mécanismes étiologiques et pathologiques bien connus aujourd'hui. Il s'agit d'un processus inflammatoire localisé au niveau des tissus péri-radicaire (le plus souvent péri-apical) en réponse à une agression d'origine endodontique, infectieuse, mécanique ou chimique (Mortieret *al.*, 2015).

1.1.1. Infection endodontique primaire

La lésion péri apicale se développe à la suite d'une pulpopathie d'origine endodontique. L'infection est causée principalement par des microorganismes provenant de la cavité buccale via les caries dentaires ou bien les pathologies de la gencive. On distingue les parodontites apicales aiguës (PAA) lors du passage de l'inflammation pulpaire dans le péri-apex. Tandis que les parodontites apicales chroniques (PAC) correspondent à une inflammation chronique localisée dans la région péri-apicale (Heydel, 2016).

1.1.2. Infection endodontique secondaire

Les infections secondaires sont causées par des micro-organismes qui n'étaient pas présents au moment de l'infection primaire, mais qui ont été introduits dans la cavité pulpaire radicaire un certain moment, pendant ou après l'intervention professionnelle. Les espèces bactériennes incriminées dans les infections secondaires peuvent être des micro-organismes oraux ou non oraux selon le mode de contamination (Torabinejad et *al.*, 2016).

1.2. Microbiologie endodontique

1.2.1. Flore endodontique

Bien que les champignons, les archées et les virus contribuent à la diversité microbienne des infections endodontiques, les bactéries sont les micro-organismes les plus couramment identifiées à partir de ces types d'infections. Un ensemble de données de culture et de caractérisation moléculaire effectués récemment montrent que plus de 460 taxons bactériens appartenant à 100 genres et 9 phylums ont été identifiés dans différents types d'infections endodontiques. Les phylums les plus riches en espèces étaient les *Firmicutes*,

les *Bacteroidetes*, les *Actinobacteria* et les *Proteobacteria*. La diversité varie considérablement selon le type d'infection. (Jr & Rôças, 2009). Toutefois, les bactéries anaérobies et anaérobies facultatives sont les plus dominants dans les infections endodontiques à cause des conditions environnementaux caractérisant les espaces péri-radicaux, en particulier l'espèce *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*), car elle survit et se multiplie dans le canal radicaux en tant qu'organisme unique sans le soutien d'autres bactéries (Pujar & Makandar, 2011).

1.2.2. Facteurs de virulence

Tableau 1. Les différents facteurs de virulence d'*E. faecalis*.

Facteur de virulence	Rôle	Références
Adhésines de surface	L'adhésion et la formation des biofilms.	
Phéromones	La signalisation et la conjugaison moléculaire.	(Benbelaid, 2015)
Acide lipotéichoïque ALT	L'attachement sur les cellules, induisent l'apoptose de certaines lignées cellulaires et joue un rôle important dans la résistance envers les détergents.	
Superoxydes extracellulaires	Favorise l'adhérence, la colonisation et l'évasion du système immunitaire, et joue un certain rôle dans la résistance aux antibiotiques.	
Gélatinase	Hydrolyse certaines composantes : la gélatine, le collagène, la caséine, la lactoglobuline et d'autres petits peptides. Contrôle la longueur des chaînes de bactéries formées grâce à l'activation d'une autolysine et favorise la formation de biofilm.	(Tremblay, 2012)
Hyaluronidase	Une enzyme de dégradation associée aux dommages tissulaires.	
Cytolysine	Une toxine qui augmente redoutablement la virulence des entérocoques, avec un pouvoir létal	(Benbelaid, 2015)

La pathogénicité de *Candida albicans* (*C. albicans*) est favorisée par l'association de facteurs liés au microorganisme et de facteurs liés au statut immunologique de l'hôte :

-L'adhérence aux surfaces : adhésines, telles que celles de la famille de Als1.

- La morphogénèse : la production d'hyphes augmente l'invasion et la destruction tissulaire.
- L'interférence avec la phagocytose : produire des peptides acides pouvant inhiber la liaison aux phagocytes et le métabolisme oxydatif.
- L'interférence avec le complément : les adhésines fongiques (mannoprotéines), perturbent la phagocytose de la levure.
- Les enzymes : des aspartyl protéinases (Saps) des phospholipases et des lipases dégradent les surfaces des muqueuses de l'hôte ainsi que ses défenses immunitaires (Lagane, 2007)

1.2.3. Résistance envers les agents antimicrobiens

1.2.3.1. Aux Antibiotique

Les microbes possèdent tout un arsenal de mécanismes leur permettant de contrer les traitements antimicrobiens (Christian, 2007). Malheureusement, l'usage abusif des antibiotiques dans la médecine humaine et l'agriculture a provoqué l'émergence de la résistance chez les bactéries, en particulier dans les pays développés (Levy & Marshall, 2004).

Dans les infections d'endodontique, les entérocoques sont parmi les pathogènes ayant une résistance intrinsèque envers plusieurs antibiotiques, ainsi qu'une capacité à acquérir rapidement des résistances contre d'autres classes d'antibiotiques. Ce qui leur permet de provoquer des infections systémiques plus au moins graves ayant comme origine les caries dentaire ou bien les infections endodontiques primaires et secondaires (Lins et al., 2013).

Quant aux champignons, certaines souches ont développé des résistances vis-à-vis des antifongiques dont l'espèce *C. albicans*, qui est capable de générer un biofilm pour se protéger, leur développement est associé à une présence croissante de matériel extracellulaire (Donlan & Costerton, 2002).

1.2.3.2. Envers les désinfectants

Les microorganismes responsables de lésions parodontales ont été également avérées résistants aux désinfectants et les antiseptiques utilisés en soins endodontiques. L'action de différentes solutions d'irrigation a été étudiée sur différents modèles de biofilms, notamment les biofilms mono-espèce d'*E. faecalis*. Les résultats ont montré qu'il faut au minimum cinq minutes de contact direct pour éradiquer les biofilms mono-espèce testés.

Néanmoins, les biofilms de certaines bactéries pathogènes telles que *Streptococcus sanguis*, *Fusobacteriumnucleatum*, *Porphyromonasgingivalis* sont avérés moins résistants au Hypochlorite de sodium (NaOCl) sachant qu'un contact d'une minute était suffisant pour éradiquer les biofilms de ces espèces. En effet, plusieurs études publiées ont prouvé que les solutions d'irrigation à base de NaOCl sont les plus efficaces contre celles préparées à base d'autre antiseptique, à savoir BioPure MTAD et le Tetraclean. Ces derniers sont avérés inefficaces pour éradiquer les biofilms mono-espèce d'*E. faecalis* à tous les temps d'exposition testés (5, 30 et 60 minutes). La concentration de NaOCl semble jouer un rôle important dans sa capacité de destruction du biofilm puisque l'étude de Luis E. Chávez de Paz montre une action efficace, mais pas totale, d'une solution concentrée à 1 % seulement (Gouet, 2011).

1.3. Biofilms

1.3.1. Généralités

Les biofilms sont des communautés structurées de cellules bactériennes regroupées, protégées, ainsi fixés sur des surfaces biotiques et abiotiques grâce à une matrice extracellulaire produite par les cellules eux même (Florian, 2016) L'architecture des biofilms pluricellulaires est complexe car l'assemblage et l'organisation des différents micro-organismes ne se fait pas au hasard. Cela dépend notamment de leur nature et de leurs affinités variables de co-adhésion. De plus, il est important de noter que le biofilm est en interaction constante avec l'environnement et peut donc varier en fonction de celui-ci mais aussi des conditions physico- chimiques externes et de l'activité des métabolismes microbiens (Houvion, 2018).

La formation des biofilms constitue le premier moyen d'adaptation des bactéries à leur environnement, c'est leur mode de vie naturel en milieu hostile (Berger, 2010).

1.3.2. Formation du biofilm endodontique

Toute formation de biofilm exige tout d'abord d'adhésion des cellules bactérienne dites pionnières sur un support donné. Toutefois, l'adhésion de ces cellules est transitoire ce qui la rend réversible car l'attachement irréversible nécessite la présence d'appendice extracellulaire suivie de la formation de molécules protéiques appelées ligands. Donc, cette faculté n'est pas présente chez la plupart des espèces bactériennes. L'étape suivante est une phase de maturation où l'on assiste à la formation de micro colonies bactériennes ainsi que la sécrétion de molécules polysaccharidiques de natures variables qui constituent la matrice

extracellulaire du biofilm. La quatrième étape est celle de la croissance du biofilm qui peut devenir macroscopique. Enfin, l'ultime étape est celle de la phase de dispersion, parfois appelée phase planctonique, induite par le vieillissement du biofilm ou par la modification de l'environnement (Gouet, 2011).

Dans l'environnement endodontique, certaines espèces dont les entérocoques et les *Candida* ont la possibilité de former des biofilms mono espèce sans passer par les étapes citées au-dessus. Les communautés de biofilms produisent généralement des biofilms plus épais que les populations monospécifiques. Ainsi, présentent également une virulence accrue pendant l'infection et une tolérance accrue à la réponse immunitaire de l'hôte (RCDet *al*, 2019).

1.3.3. Rôle de biofilm dans les résistances microbiennes contre les agents antimicrobiens

En effet, la formation de biofilm que soit pluricellulaire ou bien mono espèce apporte différents avantages aux bactéries de cette communauté notamment la stabilité dans un environnement en perpétuel changement, mais le plus important c'est la protection accrue non seulement envers les défenses de l'hôte mais encore envers les agents antimicrobiens, antibiotiques et antiseptiques. Et en fin, l'expression différente de leur phénotype, par rapport aux bactéries planctoniques, permettant ainsi d'augmenter fortement leur pathogénicité (Florian, 2016). La résistance de cellules en biofilm vis-à-vis les agents antimicrobiens est expliquée selon quatre principes différents à savoir :

- Une protection passive par une matrice extracellulaire qui empêche partiellement le passage d'éléments antibactériens.
- Une protection métabolique : les bactéries moins réceptives aux agents antimicrobiens, qui n'attaquent que les bactéries en division.
- Une protection active, en expulsant par des pompes d'efflux certains produits hostiles aux bactéries.
- Une protection génétique caractérisée par des échanges de matériel génétique entre les cellules, des transferts de résistance ainsi que des modifications génotypiques et phénotypiques des micro-organismes, leur conférant des propriétés différentes et une résistance accrue (Berger, 2010).

Chapitre 02:Huiles essentielles comme agents antimicrobiens alternatifs

2.1. Généralités

Les huiles essentielles (HEs) sont des substances volatiles, aromatiques, à la consistance huileuse, produites par le métabolisme secondaire des plantes. Selon les standards ISO et AFNOR, d'octobre 1987, une HE est : « un produit obtenu à partir d'une matière première végétale, après séparation de la phase aqueuse par procédés physiques soit par entraînement de la vapeur d'eau, soit par des procédés mécaniques de l'épicarpe des Citrus, soit par distillation sèche ». Les HEs ont souvent une couleur jaune, parfois varie du rouge vers le marron, parfois verts, bleu foncés dans certains cas exceptionnels. Les HEs sont inflammables et très volatiles, surtout si elles sont exposées à la chaleur ou à la lumière. Elles ont généralement une densité inférieure à celle de l'eau (Toninoli & Meglioli, 2013).

2.2. Chimie des huiles essentielles

Les HEs sont des substances constituées de mélanges complexes de composés volatils caractérisés essentiellement par leurs poids moléculaires faibles, au-dessous de 300 Daltons, et par leur hydrophobicité. Ils existent deux classes principales des substances volatiles en fonction de leur voie de biosynthèse, à savoir les terpénoïdes et les phénylpropanoïdes (Benbelaid, 2015).

2.3. Principales activités biologiques

Ces dernières années, plusieurs études ont été effectuées sur les propriétés médicinales des HEs en indiquant que ces substances sont douées de plusieurs propriétés biologiques à savoir :

2.3.1. Activité antioxydante

La dégradation oxydative des constituants de nature lipidique de nos aliments présente des conséquences à la fois aux plans organoleptique, nutritionnel, fonctionnel, économique et hygiénique. Un antioxydant est défini comme une substance qui, à de faible concentration, prévient significativement ou retarde l'initiation du processus d'oxydation. (Ali, 2012). Les recherches actuelles ont prouvé que les plantes produisent des antioxydants très efficaces et sûrs, dont les HEs, étant apparues comme une alternative aux antioxydants de synthèse suspectés à long terme d'effets tératogènes mutagènes et cancérigènes (Daouda, 2015).

2.3.2. Activité antimicrobienne

Les vertus antimicrobiennes des HEs sont aujourd'hui bien connues et bien documentées. En effet, de nombreux travaux de recherche ont mis en évidence une puissante activité antiseptique de certaines HEs agissant aussi bien sur les bactéries, les champignons pathogènes et les virus. Ce qui leur confère ainsi diverses indications thérapeutiques (Leila, 2015).

2.4. Potentiel antimicrobien des huiles essentielles

2.4.1. Mode d'action

Le mode d'action d'une HE dépend en premier lieu de la nature chimique et les caractéristiques de ses composés actifs, en particulier leur propriété hydrophobe qui leur permet de pénétrer dans la double couche phospholipidique de la membrane plasmique bactérienne. Cela peut induire un changement de conformation de la membrane, une perturbation chimio-osmotique et une fuite d'ions (K⁺) : ce mécanisme a été observé *in vitro* avec l'huile de l'arbre à thé envers les bactéries Gram à positif (*Staphylococcus aureus*) et à Gram négatif (*Escherichia coli*) ainsi que la levure (*Candida albicans*).

Le mode d'action des HEs est influencé également selon les espèces microbiennes. En général, les bactéries à Gram négatif sont plus résistantes que les bactéries à Gram positif grâce à la structure de leur membrane externe (Amriet *al.*, 2014).

2.4.2. Activité anti-biofilm

D'après des études publiées, les HEs sont avérées très efficaces vis-à-vis des biofilms microbiennes, sur lesquels elles peuvent agir de plusieurs façons. Notamment, l'activation des gènes de réponse contre-stress qui à leur tour diminuant la production des polysaccharides extracellulaires. En outre, les HEs ont la particularité d'agir directement sur des biofilms déjà formés, contrairement à la majorité des agents antimicrobiens. Les HEs ont la possibilité d'éradiquer les biofilms microbiennes par solubilisation de leur matrice extracellulaire (Benbelaid, 2015).

2.5. Intérêts industriels et pharmaceutiques des huiles essentielles

2.5.1. Intérêts industriels

Busta et Foegeding en 1983, ont étudié la conservation alimentaire par les épices les aromates et les HEs qui sont rajoutés aux aliments pour rehausser le goût et qui ont aussi un effet antimicrobien empêchant les contaminants alimentaires de se développer.

Le thym peut être utilisé dans diverses préparations alimentaires comme le smen par exemple.

L'utilisation duparagam qui un produite sous forme de bombe à base d'essence naturelle, d'alcools, d'acide benzoïque et surtout d'huiles hydrogénées (75%) aétablis le pouvoir bactéricide, acaricide et fongistatique. Il s'est révélé sans aucune toxicité pour l'homme (Chahrazed & Djamel, 2014).

2.5.2. Intérêts pharmaceutiques

Depuis plusieurs années, les HEs obtenues de plantes aromatique ont été très utilisés dans les produits destinés pour l'hygiène buccodentaire. Des HEs du menthe (Menthol), du citron (Limonène) et d'eucalyptus (Eucalyptol) ainsi que d'autres sont des molécules de référence qu'on peut les trouvés dans toute les types de dentifrices, des bains de bouche de pâte à mâcher. En effet, ces molécules volatiles ne sont pas utilisées uniquement pour leur arôme caractéristique, mais aussi pour leurs propriétés antimicrobiennes et antioxydante.

De plus, les HEs sontavérées très efficaces envers les germes résistants aux antibiotiques ; ce qui leur donne une place parmi les moyens thérapeutiques et de désinfection. Les HEs sont utilisées comme anti-infectieux (girofle, eucalyptus, myrtes), analgésiques (girofle). Les essences d'eucalyptus qui, à cause de leur volatilité, favorisent l'expectoration et sont, de ce fait, indiquées dans les bronchites chroniques. Il est à noter également que les HEs sont aussi utilisées dans le milieu hospitalier pour la désinfection des locaux(Chahrazed & Djamel, 2014).

Partie expérimentale

Chapitre 03 :

Matériel et Méthodes

3.1. Produits naturels étudiés

Tableau 2.Données sur le matériel végétal étudié.

Espèce végétale	Produit utilisé	Région	Période de récolte	Produit chimique utilisé Pour comparer	Référence
<i>Citrus × sinensis</i>	HE			Chloroforme	(Rehman et al., 2013)
<i>Zataria multiflora</i> <i>Aloe barbadensis</i> (<i>Aloe vera</i>)	HE	Shiraz, d'Iran Golfe Persique		Ca(OH) ₂	(Abbaszadegan et al., 2014)
<i>Ammi visnaga</i> <i>Ammoides verticillata</i> <i>Artemisia arborescens</i> <i>Dittrichia graveolens</i> <i>Lavandula dentata</i> <i>Lavandula multifida</i> <i>Mentha piperita</i> <i>Origanum glandulosum</i> <i>Rosmarinus eriocalyx</i> <i>Thymbra capitata</i>		Tlemcen –Algérie	Juillet 11 Juillet 11 Juillet 11 Aout11 Juillet 11 Octobre 11 Mai12 Juin11 Juin11 Juillet 11	/	(Benbelaïd et al., 2014)

<i>Pinus elliottii</i>	Oléorésine	Brésil		Chlorhexidine	(Silva et al., 2014)
<i>Lippia sidoides</i>	HE	Brésil	Aout 2010	DMSO/NaOCl	(Veras et al., 2014)
<i>Ferula gummosa</i>	HE	Iran	2010	NaOCl/CHX/DMSO	(Abbaszadegan et al., 2015)
<i>Syzygium aromaticum</i> <i>Cinnamomum zeylanicum</i> <i>Eucalyptus globulus</i> <i>Mentha piperita</i>	EndoPam	Inde		NaOCl/CHX	(Mathew et al., 2015)
<i>Cuminum cyminum</i>	<i>Cumin</i>	Jubar-Iran		CHX/cotrimoxazole	(Abbaszadegana et al., 2016)
<i>Salvia officinalis</i>	/	/		NaOCl/CHX/CTR/OCT méthanol	(Gunser & Akbulu, 2016)
<i>Citrus × sinensis</i> <i>Eucalyptus globules</i>	HE	/		Apoxit plus Endomethasone N Adseal	(Yadav et al., 2016)
<i>Syzygium aromaticum</i> <i>Allium sativum</i> <i>Ocimumtenuiflorum</i> <i>Azadirachta indica</i>	HE	Inde		/	(Hugar et al., 2017)

<i>Cinnamomum cassia</i>	HE	Tlemcen	Juillet 2012	Ethanol NaOCl CHX	(Benbelaïd <i>et al.</i> , 2018)
<i>Chrysopogon zizanioides</i> <i>Matricaria chamomilla</i>	HE		/	CHX Ca(OH) ₂	(Shakya <i>et al.</i> , 2019)
<i>Glycyrrhiza glabra</i> <i>Cinnamomum cassia</i>	glabridine, licochalcone A licoricidine HE	/	/	CHX Ca(OH) ₂	(Marcoux <i>et al.</i> , 2020)
<i>Cymbopogon martinii</i> <i>Thymus zygis</i>	/	/	/	NaOCl NaCl	(Marinković <i>et al.</i> , 2020)
<i>Butia capitata</i> <i>Copaifera spp</i>	Copier ("copaiba" oleoresin)				(Reiznautt, <i>et al.</i> , 2020)
<i>Myristica fragans</i>	HE	/	/	DMSO	(Setty <i>et al.</i> , 2020)

<i>Cymbopogon flexuosus</i> <i>Eugenia caryophyllata</i> <i>Melaleuca alternifolia</i> <i>Thymus vulgaris</i> <i>Origanum vulgare</i>	HE	Inde Madagascar Kenya/Australie Allemagne Turquie		NaOCl	(Nagy-Bota et al., 2021)
<i>Tagetes minuta</i> <i>Mentha piperita</i> <i>Bixa orellana</i>	HE	/	/	/	(Santos et al., 2021)

3.2. Méthodes d'extraction

La majorité des HEs étudiées ont été obtenues par l'hydrodistillation, une méthode très utilisée qui consiste à émerger le matériel végétal dans de l'eau, puis le mélange est chauffé jusqu'à l'ébullition. Ensuite, les vapeurs sortants sont récupérées dans une burette à l'aide d'un condensateur, dans laquelle les HEs se séparent de l'hydrolat à cause de leur hydrophobicité et densité généralement inférieure à celle de l'eau. La durée de l'hydrodistillation varie selon la plante à traiter. Néanmoins, il existe d'autres méthodes de l'extraction des HE dont distillation à vapeur, utilisés pour extraire les HE de la camomille. Cette technique ne diffère de l'hydrodistillation uniquement au niveau du chauffage du matériel végétal, qui doit être placé au-dessus de l'eau bouillante (Shakya et al., 2019).

3.3. Analyses chimiques

La détermination des composés chimiques des HEs est effectuée généralement via la chromatographie en phase gazeuse couplée à et la spectrophotométrie de masse. Ainsi, la plupart des auteurs ont utilisé cette méthode (Reznautt, et al., 2020 ; Abbaszadegan et al., 2015 ; Veras, et al., 2014). Tandis que le reste des chercheurs ont utilisé d'autres techniques de caractérisation telle que la CCM haute performance (Setty et al., 2020), le spectrophotomètre UV/Vis (Santos et al., 2021), et la Chromatographie sous vide sur gel de silice (Silva, et al., 2014).

3.4. Evaluation de l'activité antimicrobienne

3.4.1. Souches microbiennes

Tableau 3. Données sur les souches microbiennes étudiées.

Souche	Référence
<i>E. faecalis</i>	(Abbaszadegan et al., 2014)
<i>E. faecalis</i>	(Benbelaïd et al., 2014)

<i>Actinomycesnaeslundii</i> (ATCC 19039)	
<i>Bacteroidesfragilis</i> (ATCC 25285)	
<i>Prevotella nigrescens</i> (ATCC 33563)	
<i>Bacteroidesthetaiotaomicron</i> (ATCC 20741)	
<i>Porphyromonas gingivalis</i> (ATCC33277)	
<i>Fusobacterium nucleatum</i> (ATCC 25586)	(Silva et al., 2014)
<i>Peptostreptococcusanaerobius</i> (ATCC 27337)	
<i>Propionibacteriumacnes</i> (ATCC 6919)	
<i>Peptostreptococcus micros</i> (isolat clinique)	
<i>Prevotella buccae</i> (isolat clinique)	
<i>Prevotella intermedia</i> (isolat clinique)	
<i>E.faecalis</i>	(Veras et al., 2014)
<i>E.faecalis</i> (AGH04)	
<i>Streptococcus mitis</i> (ATCC 49456)	(Abbaszadegan et al., 2015)
<i>Staphylococcus aureus</i> (ATCC 25923)	
<i>Candida albicans</i> (<i>C.albicans</i>)(ATCC 10231)	
<i>E. faecalis</i>	(Mathew et al., 2015)
Mélange de bactéries aérobies	
Mélange de bactéries anaérobies	(Abbaszadegana et al., 2016)
<i>E. faecalis</i>	
<i>E. faecalis</i> (A197A)	(Gunser & Akbulu, 2016)
<i>E.faecalis</i> ATCC21292	(Hugar et al., 2017)
<i>E.faecalis</i>	
<i>C.albicans</i>	(Benbelaïd et al., 2018)
<i>E.faecalis</i>	(Shakya et al., 2019)
<i>E.faecalis</i>	(Reiznautt et al., 2020)

<i>E. faecalis</i> ATCC 19433	
<i>Streptococcus mutans</i>	
ATCC 25175	
<i>Actinomyces israelii</i> 872	
<i>Fusobacterium nucleatum</i> ATCC 25586	(Marcoux et al., 2020)
<i>Prevotellaintermedia</i> ATCC 25611	
<i>Porphyromonas endodontalis</i> ATCC35406	
<i>C. albicans</i> ATCC 28366	

<i>Streptococcus mitis</i>	
<i>Streptococcus sanguinis</i>	(Marinković et al., 2020)
<i>E. faecalis</i>	

<i>Escherichiacoli</i>	
<i>S.aureus</i>	
<i>E. faecalis</i>	
<i>S.mutans</i>	
<i>C.albicans</i>	(Setty et al., 2020)
<i>Lactobacillus casei</i>	
<i>Actinomycesviscous</i>	
<i>Prevotella.intermedia</i>	
<i>Porphyromonas gingivalis</i>	

<i>E. faecalis</i> ATCC29212	(Nagy-Bota et al., 2021)
------------------------------	--------------------------

<i>E. faecalis</i> ATCC 4083	
<i>S. mutans</i> ATCC 25175	(Santos et al., 2021)
<i>C. albicans</i> ATCC 62342	

3.4.2. Méthodes utilisées

Tableau 4. Les méthodes utilisées.

Référence	Méthodes
(Benbelaïd et <i>al.</i> , 2014)	Identification des souches d' <i>E. faecalis</i> par Galerie API 20 Strep Antibiogramme Activité antimicrobienne des HE envers <i>E. faecalis</i> à l'état planctonique : 1-Méthode de diffusion sur gélose 2-Détermination des Concentration minimale inhibitrice(CMI)des HE par la méthode de micro-dilution. Activité antimicrobienne des HE contre les souches d' <i>E. faecalis</i> en biofilm 1-Détermination des Concentration minimale inhibitrice du biofilm (CMIB) et Concentration minimale d'éradication du biofilm(CMEB) des HE par la méthode de micro-dilution.
(Silva et <i>al.</i> , 2014)	CMI Concentration bactéricide minimale(CMB) Concentration minimale de l'agent antimicrobien capable d'inhiber 50% de la formation de biofilm (CMIB50)

(Abbaszadegan et <i>al.</i> , 2015)	Méthode de diffusion sur gélose CMI CMB Concentration minimale fongicide (CMF) Cytotoxicité
(Mathew et <i>al.</i> , 2015)	Diffusion sur gélose
(Abbaszadegana et <i>al.</i> , 2016)	Méthode de diffusion sur gélose CMI CMB CMIB
(Yadav et <i>al.</i> , 2016)	Évaluer l'efficacité de dissolution de l'huile d'eucalyptus, de l'huile d'orange, du xylène et eau distillée sur trois scellants endodontiques différents.

(Hugar et <i>al.</i> , 2017)	Méthode de turbidité Méthode des stries sur plaque de gélose au sang Examen microscopique
(Benbelaïd et <i>al.</i> , 2018)	CMI (méthode de micro dilution)
(Shakya et <i>al.</i> , 2019)	Diffusion sur gélose CMI
(Marcoux et <i>al.</i> , 2020)	CMI Concentration mixte internationale (CMM) Test de luminescence Méthode du damier
(Marinković et <i>al.</i> , 2020)	Micro dilution Dosages de Microculture tetrazolium assay(MTT) Dosage de cristal violet Comptage sur plaque

(Reiznautt et <i>al.</i> , 2020)	Mesuré : Le degré de conversion, l'épaisseur du film, le temps de prise, le débit, la sorption et la solubilité de l'eau et la radio-opacité pendant ce temps, des tests antimicrobiens (test de contact direct modifié). Test cytotoxicité
(Setty et <i>al.</i> , 2020)	CMI CMB
(Nagy-Bota et <i>al.</i> , 2021)	CMI (la méthode de micro dilution)
(Santos et <i>al.</i> , 2021)	CMI Test de contact direct

3.4.3. Techniques spéciales

Tableau 5. Les méthodes spéciales utilisées.

Référence	Méthodes
(Rehman et al., 2013)	Etude expérimentale <i>in vitro</i> menée à l'hôpital universitaire Aga Khan de Karachi, au Pakistan.
(Abbaszadegan et al., 2014)	Etude <i>in vitro</i> : Analyse des séquences d'ARNr (Acide ribonucléique ribosomique). La contamination bactérienne des canaux radiculaires par <i>E. faecalis</i> .
(Veras et al., 2014)	Activité antimicrobienne <i>in vitro</i> des HEs envers des biofilms avec un temps d'exposition de 30 et 60 minutes à des concentrations de 2,5 et 10 %.
(Mathew et al., 2015)	Eude <i>ex vivo</i> sur des dents extraites, quatre HEs avec une activité antimicrobienne puissante ont été utilisées comme une solution d'irrigation de combinaison pour irriguer le canal radiculaire.
(Abbaszadegana et al., 2016)	Le test du temps de suspension –killin <i>in vitro</i>
(Gunser & Akbulu, 2016)	Test d'irrigation « étude <i>in vitro</i> » Microphotographies en microscopie électronique à balayage (MEB)

(Hugar et <i>al.</i> , 2017)	Evaluation comparative <i>in vitro</i> de l'efficacité désinfectante des HEs étudiées sur cinquante limes endodontiques exposées au <i>E.faecalis</i>
(Benbelaïd et <i>al.</i> , 2018)	Evaluation <i>in vitro</i> de l'efficacité des solutions d'irrigation préparées à base des HEs en fonction de leur capacité à réduire le nombre de cellules viables d' <i>E. faecalis</i> et de <i>C. albicans</i> dans des biofilms en fonction du temps d'exposition.
(Shakya et <i>al.</i> , 2019)	Étude <i>ex vivo</i> : évaluation de l'efficacité antibactérienne de deux HEs par rapport à la chlorhexidine et à l'hydroxyde de calcium contre <i>E. faecalis</i> . Evaluation de la synergie de l'activité antimicrobienne en vers <i>E. faecalis</i> .
(Marinković et <i>al.</i> , 2020)	Pré-cribler l'activité anti biofilm des HEs et estimer l'efficacité des irrigants endodontiques à base de ces HEs.
(Nagy-Bota et <i>al.</i> , 2021)	Etude <i>in vitro</i> :Analyse bactériologique des dents infectées.
(Santos et <i>al.</i> , 2021)	Étude <i>in vitro</i> effectuée en deux parties : 1- Sélection et caractérisation des HEs et teinture éthanolique de graines de Bixaorellana. 2- Caractérisation des scellants endodontiques expérimentaux à base de résine après incorporation des extraits végétaux.

Chapitre 04 :

Résultats et Discussion

4.1. Rendement des extractions

Les rendements en HEs en pourcentage (%) volume/poids (v/p) calculés par rapport au poids frais et sèche a été calculé dans certaines études mentionnées. Les valeurs de rendement des huiles variaient de 1,06 jusqu'à 32 % étant le meilleur rendement constaté dans les fruits de *Ferulagummosa*. (Abbaszadegan et al., 2015)

4.2. Caractérisation chimique

Les composés majoritaires trouvés dans les HEs étudiées sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 6. Composition chimique des HEs.

Espèce	Composés	%	Référence
<i>Aloe barbadensis</i>	Carvacrol	50,78	(Abbaszadegan et al., 2014)
	Thymol	16,94	
	Linalol	12,68	
<i>Zataria multiflora</i>	Thymol	32,52	
	Carvacrol	32,17	
	Linalol	10,89	
<i>Thymbra capitata</i>	Carvacrol	58,68	(Benbelaïd et al., 2014)
<i>Lavandula multifida</i>	Carvacrol	57,75	
	Bêta- Bisabolène	22,91	
<i>Origanum glandulosum</i>	Thymol	41,62	
	Gamma- Terpinène	27,03	
	Para- Cymène	17,07	
<i>Ammoides verticillata</i>	Thymol	50,13	
	Para-Cymène	15,58	
	Limonène	15,02	
<i>Mentha piperita</i>	Le linalool	51,59	
	Acétate de linalyle	21,12	
<i>Artemisia arborescens</i>	Bêta-Thuyone	47,58	
<i>Dittrichia graveolens</i>	Acétate de bornyle	56,16	
<i>Lavandula dentate</i>	1, 8-cinéole	36,72	
<i>Rosmarinus eriocalyx</i>	Camphre	35,50	
<i>Lippia sidoides</i>	Thymol	84,9	(Veras et al., 2014)
	p-Cymène	5,33	
	Ethyl-méthyl carvacrol	3,01	

<i>Ferula gummosa</i>	Le Beta- Pinène	51.83	(Abbaszadegan et al., 2015)
<i>Syzygium aromaticum</i>	Eugénol Acétate D'eugénol Acide Gallique		
<i>Eucalyptus globulus</i>	1,8-Cinéole, Citronellal, Citronellol, Acétate De Citronellyle, P-Cymène, Eucamalol, Limonène, Linalol, B-Pinène, Terpinène, A-Terpinol, Allocimène, Aromadendrène	/	(Mathew et al., 2015)
<i>Cuminum cyminum</i>	Aldéhyde de cumin γ -Terpinène	/	(Abbaszadegana et al., 2016)
<i>Syzygium aromaticum</i>	Eugénol	62	
<i>Allium sativum</i>	Méthyl-eugénol	86	(Hugar et al., 2017)
<i>Ocimumtenuiflorum</i>	Allicine	/	
<i>Azadirachta indica</i>	Eugénol	70-90	
<i>Cinnamomum cassia</i>	Cis-Cinnamaldéhyde	75.85	(Benbelaïd et al., 2018)
<i>Matricaria chamomilla</i>	α -bisobolol Lutéoline Quercétine Apigénine	/	(Shakya et al., 2019)
<i>Cinnamomum cassia</i>	Cinnamaldéhyde	71.4	
	Eugénol	6.2	
	Caryophyllène	6	
	Acétate de cinnamyle	4	(Marcoux et al., 2020)
<i>Glycyrrhiza glabra</i>	glabridine, licochalcone A licoricidine	/	
<i>Thymus zygis</i>	Thymol P-Cymène Terpinène Linalol	/	(Marinković et al., 2020)
<i>Cymbopogon martinii</i>	Carvacrol Géraniol Acétate de géranyle		

<i>Butia capitata</i>	Acide laurique Acide oléique Acide caprique Acide myristique Acide caprylique	/	(Reiznautt et al., 2020)
<i>Copaifera spp</i>	Acide 2,2,3,3-tétraméthyl- cyclopropane- carboxylique 4-méthylphénylester 2-norpinanol 3,6,6-triméthyle Bêta-cadinène		
<i>Myristica fragans</i>	Sabinène G-pinène Elémicine safrole Myristicine	/	(Setty et al., 2020)
<i>Tagetes minuta</i>	D-carvone	74.38	
<i>Mentha piperita</i>	Trans-beta Ocimene Cis-Tagetone	30.47 18.81	(Santos et al., 2021)
<i>Bixa orellana</i>	Caroténoïdes Composés phénoliques	/ /	

4.3. Résultats des activités biologiques

Pendant des milliers d'années, les produits à base de plantes ont été utilisés dans les pratiques dentaires et médicales et sont devenus encore plus populaires aujourd'hui en raison de leur activité antimicrobienne élevée, de leur biocompatibilité, de leur propriété anti-inflammatoire et antioxydante (Cogulu et al., 2006). A cet égard, de nombreuses plantes dans le monde ont été étudiées afin de découvrir leur application potentielle en thérapie endodontique.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 7. Résultats des activités biologiques.

Référence	Méthodes
(Benbelaïd et <i>al.</i> , 2014)	<p>Antibiogramme : a montré que la quasi-totalité de bactéries étudiées sont multirésistantes à la majorité des antibiotiques, notamment la vancomycine et la gentamicine, seule l'amoxicilline était efficace sur toutes ces souches d'<i>E. faecalis</i> cliniques.</p> <p>Activité antimicrobienne des HEs étudiées contre <i>E. faecalis</i> à l'état planctoniques : La méthode de diffusion sur gélose et la détermination CMI ont montré que les HE de <i>T. capitata</i> et <i>O. glandulosum</i> étaient les plus actives, avec une zone d'inhibition supérieure à 27 mm et des CMI inférieures à 0,07 % (v/v).</p> <p>Activité antimicrobienne des HEs étudiées contre les souches d'<i>E. faecalis</i> en biofilm : Les HEs de <i>T. capitata</i> et d'<i>O. glandulosum</i> étaient également les huiles efficaces, qui peuvent inhiber la croissance du biofilm de toutes les souches d'<i>E. faecalis</i> à 0,75%, et peuvent éradiquer toutes les cellules microbiennes viables protégées dans les biofilms à une concentration de 1,50 %.</p>
(Silva et <i>al.</i> , 2014)	<p>Les CMI de l'Oléorésine en vers les bactéries <i>P. gingivalis</i>, <i>P. nigrescens</i>, <i>P. buccae</i>, <i>B. fragilis</i> et <i>F. nucleatum</i> étaient remarquablement. En revanche, les valeurs de CMI obtenues pour PE2, PE3, PE4 et PE5 n'étaient pas significatives (n'ont présenté aucune action antibactérienne contre presque aucune des bactéries testées).</p> <p>L'acide déhydroabiétique, a exercé une action bactéricide (avec des CMB intéressantes) sur toutes les bactéries anaérobies testées sauf <i>P.nigrescens</i> sur lequel l'acide avait un effet bactériostatique. Quant à la Chlorhexidine digluconates (CHX) s'est avérée actives envers toutes les bactéries testées avec une action bactéricide.</p> <p>Les CMIB50 se situait entre 7,8 et 62,5 mg/ml ainsi l'acide déhydroabiétique a empêché la formation des biofilms chez toutes les bactéries étudiées.</p>

Méthode de diffusion sur gélose : Les HES de *Zataria multiflora* et d'*Aloe barbadensis* avaient le même effet inhibiteur et bactéricide vis-à-vis tous les micro-organismes étudiés.

(Abbaszadegan et
al., 2015)

CMI/CMB : Etaient les mêmes pour tous les tests organismes. Hypochlorite de sodium (NaOCl) était moins efficace contre *E. faecalis* que les autres solutions d'irrigation. L'HE de *Z. multiflora* était efficace avec des concentrations très faibles envers *E. faecalis* par rapport aux NaOCl et CHX.

CMF : L'HEa inhibé *Candida albicans* avec une zone d'inhibition de plus de 14 mm.

Cytotoxicité : L'HE était une cytocompatible solution, et avait une toxicité significativement plus faible par rapport à la NaOCl et la CHX.

(Mathew et *al.*,
2015)

Diffusion sur gélose : CHX a donné la zone d'inhibition la plus large (14 mm). L'endopam a donné une zone d'inhibition comparable à celle de NaOCl. Tandis que la solution saline n'a aucun effet.

Le cotrimoxazole a montré la plus grande zone d'inhibition (ZOI) suivi du cumin et du CHX. Les ZOI induites par le cumin et le cotrimoxazole n'étaient pas statistiquement différentes pour les trois groupes de bactéries alors que cette différence était significative pour la CHX.

(Abbaszadegana et
al., 2016)

Le DMSO n'a montré ni CMI ni CMB.

La plus petite CMI et CMB a été enregistré pour le cotrimoxazole suivi du cumin et du CHX pour tous les groupes de bactéries à l'exception de *E. faecalis* pour lequel la CMB du cumin était plus petite que le cotrimoxazole. Cette tendance était également similaire pour les résultats de MBIC dans lesquels la plus petite MBIC constatée était contre tous les bactéries ainsi que dans tous les intervalles de temps par le cotrimoxazole suivi du cumin et du CHX, respectivement.

(Yadav et al., 2016)	<p>Évaluer l'efficacité de dissolution des HEs d'eucalyptus, d'orange, du xylène et de l'eau distillée sur trois scellants endodontiques différents.</p> <p>Le xylène était le plus efficace pour dissoudre les scellants canalaires que les autres solvants organiques. Les HEs se sont avérées similaires dans leur capacité à dissoudre à celle de Apexit Plus et de l'Endomethasone.</p>
(Hugar et al., 2017)	<p>Méthode de turbidité : Tous les fichiers endodontiques utilisés dans l'étude n'ont pas montré aucune croissance d'<i>E. faecalis</i>. Tandis que les fichiers désinfectés avec le groupe d'huile de neem ont montré une turbidité dans l'eau peptonée.</p> <p>Méthode des stries sur plaque de gélose au sang : une croissance particulière d'<i>E. faecalis</i>.</p> <p>Examen microscopique : Des colonies de cocci à Gram positif.</p>
(Benbelaïd et al., 2018)	<p>CMI : La CHX montre la plus forte activité antimicrobienne contre les cellules microbiennes au phénotype planctonique, en particulier contre <i>C. albicans</i>. L'HE de <i>C. cassia</i> et le NaOCl ont la même CMI envers <i>E. faecalis</i> et <i>C. albicans</i>.</p>
(Shakya et al., 2019)	<p>CMI : L'étude a montré une bonne efficacité des HEs de la camomille contre l'infection du canal radiculaire par <i>E. faecalis</i> par rapport aux autres solutions d'irrigation testées.</p>
(Marcoux et al., 2020)	<p>CMI : Aucun des composés testés n'a induit la désorption d'<i>E. faecalis</i> en biofilm. Cependant, les composés testés ont éradiqué 11,2 % à 90,4 % des cellules d'<i>E. faecalis</i> incrustées dans des biofilms.</p> <p>CMM : L'huile de cannelle était le microbicide le plus actif. <i>E. faecalis</i> était le micro-organisme le plus résistant.</p> <p>Test de luminescence : Les composés naturels étaient actifs à divers degrés contre <i>E. faecalis</i> en biofilm.</p> <p>Cytotoxicité : La licochalcone A, la licoricidine et la glabridine n'ont démontré aucune cytotoxicité envers les fibroblastes gingivaux. Tandis que l'huile de la cannelle et, dans une moindre mesure, la chlorhexidine a montré une certaine cytotoxicité.</p>

(Marinković et al., 2020)	Micro dilution : Le potentiel inhibiteur de l'HE de <i>C. martinii</i> était plus élevé en comparaison avec l'huile essentielles de <i>T. zygis</i> .
(Reiznautt et al., 2020)	Les groupes expérimentaux contenant des HEs ont montré des valeurs élevées degré de conversion et une solubilité dans l'eau plus faibles. EM, B0,5, B1, B2 et SR (scellants de résine) ont montré des épaisseurs de film similaires. Les valeurs de débit étaient statistiquement similaires dans tous les groupes. Les données étaient statistiquement similaires parmi tous les groupes expérimentaux ($p < 0,05$). SR présentait la radio-opacité la plus élevée ($p < 0,05$). Test cytotoxicité : Parmi les groupes expérimentaux, tous les groupes ont montré une viabilité cellulaire adéquate (supérieure à 80 %) à l'exception de C2, qui a montré des valeurs légèrement inférieures (~ 77 %). RS était significativement plus cytotoxique que les groupes expérimentaux.
(Setty et al., 2020)	CMI : L'HE de <i>M. fragrans</i> s'est montrée efficace contre tous les microorganismes testés, notamment vis-à-vis <i>C. albicans</i> , car aucune croissance microbienne a été observée même à une concentration faible de de 1 g/ml.
(Santos et al., 2021)	CMI : Les souches utilisées étaient sensibles à la teinture de <i>B. Orellana</i> et aux HEs de <i>M. piperita</i> et <i>T. minuta</i> , <i>S. mutans</i> , <i>E. faecalis</i> et <i>C. albicans</i> était sensible aux concentrations minimales utilisées. Test de contact direct : La teinture de <i>B. orellana</i> ont atteint des valeurs plus élevées que les matériaux contenant les HEs de <i>M. piperita</i> et <i>T. minuta</i> . Les scellants expérimentaux sont prometteurs en tant que nouveau scellant végétal avec une grande activité antimicrobienne et aussi une grande propriété physico-mécanique.

Tableau 8. Résultats des méthodes spéciales utilisés.

Référence	Méthodes
(Rehmanet <i>al</i> , 2013)	Comparaison l'efficacité de l'huile d'orange et du chloroforme dans l'élimination de la gutta-percha lors d'un retraitement endodontique sur des dents permanentes extraites des patients : Il n'y a pas de différence significative entre l'efficacité de l'huile d'orange et du chloroforme dans l'élimination de la gutta-percha. Ainsi, l'huile d'orange peut être utilisée comme une alternative efficace au chloroforme.
(Abbaszadegan et <i>al.</i> , 2014)	Etude <i>in vitro</i> : Analyse des séquences d'ARNr 16S d' <i>Enterococcus spp.</i> Les résultats prouvent la contamination bactérienne des canaux radiculaires par <i>E. faecalis</i> L'efficacité antimicrobienne de tous les médicaments testés était similaire après 14 jours. Les HES d' <i>Aloe vera</i> et de <i>Z. multiflora</i> ont montré une efficacité antimicrobienne équivalente envers <i>E. faecalis</i> dans les canaux radiculaires infectés. L'efficacité était équivalente à celle de l'hydroïde de calcium Ca (OH) ₂ lorsque la durée de contact est prolongée jusqu'à 14 jours.
(Veras et <i>al.</i> , 2014)	Activité antimicrobienne des HEs envers les biofilms <i>in vitro</i> avec un temps d'exposition de 30 et 60 min à des concentrations de 2,5 et 10 %. Les HEs et le Thymol ont réduit le nombre des unités formants colonies (UFC) d' <i>E. faecalis</i> dans des biofilms (maturés à 72 h) avec un temps d'exposition de 30 et 60 min à des concentrations de 2,5 et 10 %. Il n'y avait pas de différence statistique entre l'effet des HEs et le Thymol, démontrant ainsi que ce monoterpène phénolique était le composé possiblement responsable de l'activité antimicrobienne de l'HE étudiée.
(Mathew et <i>al.</i> , 2015)	Le dosage qualitatif réalisé en cultivant les bactéries après une période de 3 semaines n'a montré aucune croissance bactérienne, dans l'un des irrigants testés, sauf dans une solution saline normale, qui a été le groupe témoin négatif.

Le test de suspension time-kill *in vitro* a révélé que tous les médicaments inhibaient totalement la croissance bactérienne dans tous les groupes.

(Abbaszadegana et al., 2016)

Cytotoxicité sur fibroblastes L929 (Analyse des médicaments sur les fibroblastes L929) : CHX était la solution la plus cytotoxique alors qu'il n'y avait pas de différence significative entre la cytocompatibilité de différentes concentrations de l'HE de cumin et de cotrimoxazole.

(Gunser & Akbulu, 2016)

Étude *in vitro* : Test d'irrigation et Microphotographies en microscopie électronique à balayage (MEB) L'image MEB du groupe témoin positif a confirmé la formation de biofilm à l'intérieur du système canalaire. Tous les groupes testés ont montré des valeurs moyennes de Log10 significativement inférieures à celles du groupe témoin positif ($p < 0,05$). Les groupes NaOCl (2,5 et 5,25 %), le groupe CHX et le groupe octerinidine (OCT) ont pu éliminer toutes les cellules d'*E. faecalis* (UFC=0), et il n'y avait pas de différence entre le groupe témoin négatif (UFC=0). Le groupe CHX+CTR (cetermide) (Log10 UFC=5,65±1,06) et l'extrait méthanolique du groupe *S. officinalis* (log10 UFC=5,90±0,92) étaient des cellules d'*E. faecalis* réduites mais ils n'ont pas pu atteindre une élimination totale. Les différences entre les deux groupes n'étaient pas statistiquement significatives ($p > 0,05$).

(Hugar et al., 2017)

L'HE de l'ail, de clou de girofle et de tulsi sont aussi efficaces que l'autoclave dans la désinfection et peut être considéré comme une alternative. Tandis que l'huile de neem s'est avérée inefficace.

(Benbelaïd et al., 2018)

L'HE de *Cinnamomum cassia* a une activité antimicrobienne très significative contre *E. faecalis* et *C. albicans* supérieure à celle de la CHX et du NaOCl notamment en 30 secondes d'irrigation. CHX est significativement plus efficace que NaOCl dans l'éradication d'*E. faecalis* et *C. albicans*, surtout en 30 secondes et 1 minute de traitement avec l'huile de *C. cassia*.
Toutes les solutions d'irrigation ont montré une réduction très significative du nombre d'UFC par rapport à la solution saline.

(Shakya <i>et al.</i> , 2019)	Les résultats montrent que l'HE étudiée nécessite des doses très élevées pour être efficace à des fins endodontiques. Alors qu'à faible dose l'HE n'a montré aucune propriété antibactérienne significative.
(Setty <i>et al.</i> , 2020)	L'HE de <i>M. fragrans</i> a une excellente activité antimicrobienne contre les agents pathogènes endodontiques de la parodontite apicale primaire. L'HE s'est avérée efficace contre tous les microorganismes, notamment envers <i>C. albicans</i> .
(Marcoux <i>et al.</i> , 2020)	La combinaison des composés naturels n'avait aucun effet de synergie antibactérien. Cependant, les composés naturels combinés à la CHX ont entraîné une activité antibactérienne synergique contre <i>E. faecalis</i> . La synergie la plus forte a été observée avec l'association de glabridine et la CHX.
(Marinković <i>et al.</i> , 2020)	L'HE de <i>T. zygis</i> était plus efficace envers les microorganismes testés. L'HEs de <i>C. martinii</i> et de <i>T. zygis</i> ont induit une réduction bactérienne significative des cellules incrustées dans des biofilms par rapport au contrôle positif.
(Nagy-Bota <i>et al.</i> , 2021)	Analyse bactériologique des dents infectées montre que le Thym et le clou de girofle ont complètement inhibé la croissance d' <i>E. faecalis</i> . Néanmoins , une croissance bactérienne a été observée dans tous les échantillons après enrichissement, à l'exception du NaOCl.
(Santos <i>et al.</i> , 2021)	L'incorporation d'extraits végétaux , à savoir les HEs de <i>T. minuta</i> et de <i>M. piperita</i> ainsi que la teinture éthanolique brute de <i>Borellana</i> , avec des concentrations pertinentes a démontré un excellent pouvoir antimicrobien dans l'irrigation endodontique expérimentale. L'HE de <i>T. minuta</i> a montré les meilleurs résultats pour être utilisé comme scellant pour les canaux radiculaires.

4.4. Discussion

La présente recherche a été conçue pour synthétiser les études évaluant l'activité antimicrobienne des HEs envers les microorganismes responsables des infections endodontiques. En particulier, Abbaszadegan et al. (2015) ont évalué l'efficacité antimicrobienne et activité cytotoxique de l'HE de *Ferula gummosa* contre *E. faecalis*, *Streptococcus mitis*, *Staphylococcus aureus* et *Candida albicans* par rapport aux désinfectants NaOCl 5% et CHX 0.2%. L'hydrodistillation des fruits de *Ferula gummosa* a donné un excellent rendement en HE de 32 %. Vingt-sept constituants ont été reconnus par GC/MS dont le composé principal de l'huile était le β -pinène (51,83 %). Les auteurs ont conclu que le HE de *Ferula gummosa* a montré une prometteuse activité antimicrobienne biologique en tant qu'un désinfectant du canal radiculaire. Les chercheurs Setty et al. (2020) ont testé l'effet antimicrobien de *M. fragrans* sur les agents pathogènes endodontiques courants de la parodontite apicale primaire. L'HE de la muscade était efficace contre tous les microorganismes endodontiques testés en raison de leurs composants actifs tels que la myristicine, l'acide myristique, la trimyristine, l'élémicine et le safrole.

Dans une autre étude, Abbaszadegan et al. (2016) il a comparé l'HE de *Cuminum cyminum* en tant que médicament intra canalair par rapport au gel de CHX. Dix-sept constituants ont été reconnus dans l'huile de cumin à savoir l'aldéhyde de cumin et le Terpinène. Les auteurs ont conclu que L'HE étudiée a montré une forte activité antimicrobienne contre la flore microbienne des dents extraites à partir des traitements endodontiques échoués.

L'étude *in vitro* de Abbaszadegan et al. (2014) portée sur l'efficacité antimicrobienne temporelle des HEs et des huiles végétales d'*Aloe vera* et de *Z. multiflora* dans l'éradication d'*E. faecalis* des canaux radiculaires. L'extraction au solvant n-hexane de l'*Aloe vera* a donné une huile fixe de couleur vert tandis que l'HE isolée par hydrodistillation de *Z. multiflora* s'est avérée jaune avec une forte odeur aromatique dont le carvacrol, le thymol et le linalol étaient les principaux constituants de cette HE. Les résultats de cette étude montrent une différence significative entre les huiles testées et le désinfectant $\text{Ca}(\text{OH})_2$ après des traitements allant de 1 et 7 jours. Cependant, Penumudi et al. (2015) ont mentionné que l'effet inhibiteur du gel d'*Aloe vera* envers *S. pyogenes* et *E. faecalis* est inférieure à l'Hydroxide de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$ à cause de l'antraquinone.

Néanmoins, Agrawalet *al.*(2017) ont indiqué que l'huile fixe de l'*Aloe vera* possède une bonne activité antibactérienne et antifongique. Il s'est également avéré efficace contre les micro-organismes résistants que l'on trouve couramment dans la pulpe dentaire. Bien qu'une récente étude de Sahebi et *al.* (2014) a montré que l'*Aloe vera* n'est pas aussi efficace que le NaOCl contre *E. faecalis* ainsi les auteurs n'ont pas recommandé cette plante comme irrigateur du canal radiculaire.

Dans ce cadre, Benbelaïd et *al.*(2014) ont évalué certaines HES de l'Algérie dans le traitement des infections buccales intractables telles que les infections endodontiques persistantes, principalement causées par le biofilm d'*E. faecalis*. Selon leurs résultats analytiques quantitatifs et qualitatifs par GC et GC/MS, les auteurs ont indiqué que les HES étudiées ayant une variabilité chimique intéressante. Les HES d'espèces appartenant à la famille des *Lamiacées* et des *Apiacées* sont principalement riches en monoterpènes oxygénés, notamment en alcools, tels que le Thymol, le Carvacrol et le Linalol avec un pourcentage élevé. Alors que le reste des HE étudiés sont constitués principalement de terpènes non alcoolisés, comme la bêta-Thuyone, Acétate de bornyle, 1,8-Cinéole et le Camphre. En résumé, l'étude a prouvé que les HE étudiées ont une bonne activité antimicrobienne avec une grande capacité d'éradication du biofilm d'*E. faecalis*, notamment ceux d'*Origanum glandulosum* et *Thymbra capitata* avec des valeurs de CMI intéressantes et des concentrations inhibitrices et éradicatrices de biofilm qui ne dépassent pas 0,063%, 0,75% et 1,5%, respectivement.

De plus, l'équipe de Benbelaïd et *al.*(2018) ont réalisé une autre étude *in vitro* afin d'évaluer l'efficacité d'une solution d'irrigation préparée à base de l'HE de *Cinnamon cassia*. L'analyse chimique par GC/MS a déterminé le composé majoritaire de l'HE de *C. cassia* à savoir le Cis-Cinnamaldéhyde à 75.85%. A travers cette étude, les auteurs ont prouvé que l'HE préparées dans l'éthanol sont des excellentes solutions d'irrigation ayant une forte activité éradicatrice des biofilms d'*E. faecalis* qui a dépassé les solutions d'irrigation les plus utilisées en médecine dentaire à savoir NaOCl et le di gluconate de chlorhexidine.

Les chercheurs Mathew et *al.*(2015) ont évalué *ex vivo* l'efficacité d'un extrait EndoPam de quarts de plantes préparé en tant qu'irrigant endodontique. L'espèce *Syzygium aromaticum*, communément appelée clou de girofle, est une plante médicinale largement utilisée dans des applications pharmaceutiques, cosmétiques, alimentaires et agricoles, car ses

extraits sont riches en composés pharmacologiquement actifs tels que l'Eugénol, l'acétate d'eugénol et l'acide gallique. Il a été constaté également que le produit expérimental EndoPam était aussi efficace comme irrigants conventionnels pour réduire le nombre de microbes. De plus, des HEs ont été étudiés par Hugar et *al.* (2017) notamment l'huile de clou de girofle, huile d'ail, huile de neem et huile de tulsi pour tester leur efficacité dans la désinfection des limes endodontiques contaminées par des biofilms d'*E. faecalis* avec comparaison avec l'autoclavage (étant considéré comme méthode recommandée idéale de stérilisation, car il entraîne une éradication complète des spores et des micro-organismes). Les résultats ont montré que les HEs étudiées ont une efficacité considérable contre *E. faecalis* similaire à l'autoclave. Premièrement, l'huile de clou de girofle contient de l'eugénol qui provoque une sensibilisation de la bicouche phospholipidique de la membrane cytoplasmique microbienne entraînant des fuites des constituants cellulaires et enfin la mort cellulaire bactérienne. Deuxièmement, l'huile d'ail s'est avérée efficace en raison de contenir un composant actif, l'Allicine, qui induit une perturbation du métabolisme bactérienne provoquant la lyse cellulaire. Finalement, l'huile de Tulsi a été largement étudiée en raison de sa facilité de disponibilité et de propriétés antimicrobiennes, leurs principaux constituants sont les tanins. L'action antimicrobienne des tanins est due à leur capacité de former des complexes avec des enzymes ou des substrats requis par micro-organismes pour leur fonctionnement ou peuvent être liés à son action sur la membrane cellulaire des micro-organismes.

D'autre part, Hugar et *al.*, (2017) ont trouvé que l'HE de neem s'est avéré inefficace vis-à-vis les microorganismes testés, dont l'espèce endodontique *E. faecalis*. En revanche, Aarati et *al.* (2011) a montré que l'extrait aqueux et alcoolique de neem sont dotés d'une activité antibactérienne significative contre *S. mutans* et *E. faecalis* et une activité antifongique significative contre *C. albicans*.

D'après Santos et *al.* (2021), l'utilisation d'un scellant canalair avec une bonne activité antimicrobienne est essentiel pour le succès d'un traitement endodontique. Ainsi, les auteurs ont évalué l'activité antimicrobienne et les propriétés physiques d'un scellants endodontiques à base de la résine avec incorporation individuelle d'extraits végétaux obtenus à partir de *Bixa orellana*, *Mentha piperita* et *Tagetes minuta*. Les scellants ont été évalués en mesurant le temps de prise, le degré de conversion, stabilité dimensionnelle, radio-opacité, écoulement et épaisseur de film de ces matériaux, et également son effet antimicrobien évalué à l'aide du test

de contact direct. Tous les extraits ont prouvé un effet antibactérien contre *E. faecalis* ($p < 0,05$). Les auteurs ont conclu que leurs scellants expérimentaux sont prometteurs en tant que nouveau scellant végétal avec une activité antimicrobienne efficace et des propriétés physico-mécanique intéressantes.

Dans une autre étude, effectuée par Yadav et al. (2016), les auteurs ont évalué l'efficacité de dissolution des HE d'eucalyptus et d'orange, du xylène et de l'eau distillée sur trois scellants endodontiques différents. Toutes les huiles testées sont s'avérées efficaces pour dissoudre les scellants canalaire, tandis que le xylène était plus efficace. Néanmoins, il est important à signaler que durant cette enquête les auteurs n'ont pas pris en compte les paramètres imposés cliniquement tels que le système canalaire anatomie, température, accès, volume d'échange, dilution ou déplacement par des fluides biologiques, ou des irrigants concernant l'action des solvants sur le ciment de scellement canalaire. Par conséquent, leurs résultats ne peut pas être directement extrapolés dans des scénarios cliniques.

Une récente étude basée sur le développement des scellants endodontiques à base de résine de Reznautt et al. (2020) dont le but est de synthétiser et évaluer les propriétés physico-chimiques, l'activité antimicrobienne et la cytocompatibilité des scellants endodontiques à base des HEs de butia ou de copaïba. Les résultats constatés ont montré que les scellants testés avaient une cytocompatibilité satisfaisante, des effets antimicrobiens et des propriétés physico-chimiques adéquates. Ainsi, les auteurs ont proposé leurs scellants comme une alternative prometteuse pour l'endodontie.

Concernant l'utilisation des extraits brutes dans les traitements endodontiques, nombreux auteurs sont intéressés tels que Shafiei et al. (2014), ayant trouvé une diminution significative de la charge bactérienne d'*Aggregatibacter actinomycetemcomitans* et de *P. gingivalis* avec l'utilisation des extraits à l'acétate d'éthyle et à l'éthanol de *M. fragrans*. Il ont conclu que *M. fragrans* peut potentiellement être utilisée comme agent antimicrobien naturel dans les produits de soins bucco-dentaires. Dans une autre étude réalisée par Marcoux et al. (2020), les auteurs ont étudié trois polyphénols dérivés de la réglisse (glabridine, licochalcone A, licoricidine) ainsi que l'HE de la cannelle pour leurs activités antimicrobiennes contre les différents pathogènes endodontiques. L'efficacité marquée de l'huile de cannelle contre le biofilm d'*E. faecalis* incorporé étant déjà prouvée dans les études ci-dessus, peut être lié à sa teneur élevée en terpènes, qui se caractérisent par leur faible poids moléculaire, leur volatilité élevée et hydrophobie. Cette étude apporte la preuve que les

composés végétaux naturels testés sont prometteurs en tant qu'agents de désinfection des canaux radiculaires.

Egalement, les chercheurs ont testé les interactions synergiques entre les quatre métabolites secondaires et la CHX envers *E. faecalis* ainsi que leur biocompatibilité évaluée à l'aide de fibroblastes gingivaux humains. Les irrigants à base des HEs ont montré une activité antibiofilm comparable au contrôle (1,5 % d'hypochlorite de sodium) pour *C. martini* et presque deux fois plus élevée pour *T. zygis*. Des irrigations successives avec de l'hypochlorite de sodium à 1,5 %, une solution saline et un irrigant à base d'huile ont été plus efficaces pour *C. martini* que pour les témoins. Le mécanisme qui peut conduire aux effets synergiques ci-dessus peut être lié à une action multi-cibles dans laquelle les composés agissent sur différentes voies ou cibles. Plus précisément, la CHX est connue agir sur la membrane bactérienne entraînant une perte d'intégrité cellulaire (Cieplik et al., 2019). Cela peut faciliter l'entrée des autres agents antibactériens dont les HEs qui vont agir sur différentes cibles intracellulaires. En revanche, les solutions d'irrigation alternatives doivent être biocompatibles avec les tissus humains. La Glabridine, licochalcone A et licoricidine n'ont aucun effet cytotoxique sur les fibroblastes gingivaux humains, même à des concentrations correspondantes aux CMM de toutes les bactéries endodontiques pathogènes testées.

Dans un autre type d'étude, Rehman et al. (2013) ont comparé l'efficacité de l'HE d'orange et du chloroforme dans l'élimination de la gutta-percha lors d'un retraitement endodontique sur des dents permanentes extraites des patients avec une technique mécanique simple. Les auteurs ont constaté qu'il n'y a pas de différence significative entre l'huile d'orange et le chloroforme étant utilisés comme solvant pour éliminer la gutta-percha. La caractérisation chimique de l'HE d'orange montre que celle-ci est composée principalement de D-limonène, ainsi que des alcools hydrocarbonés aliphatiques à longue chaîne, des aldéhydes tels que l'octanal et l'octanal. C'est ainsi, l'HE de l'orange est suggérée comme alternative au chloroforme ou au xylène pour ramollir la gutta-percha et également pour dissoudre les scellants endodontiques (Penumudi et al., 2015).

Dans le même cadre d'étude, Veras et al. (2014) ont évalué l'HE de *L. sidoides* et son composé majoritaire le Thymol dans la réduction des UFC d'*E. faecalis* dans les biofilms isolés des canaux radiculaires. Les résultats ont montré que l'HE et le Thymol ont réduit les UFC d'*E. faecalis* dans les biofilms (temps de maturation 72 h) avec un temps d'exposition de 30 et 60 min à des concentrations de 2,5 et 10 %. Les auteurs ont également indiqué que les

bactéries structurées dans le biofilm se comportent différemment lorsqu'elles sont exposées aux substances chimiques, car la matrice extracellulaire du biofilm entrave leur diffusion. La vitesse de pénétration des substances varie en effet selon le micro-organisme et la composition de la matrice d'exopolysaccharides. Ainsi, la susceptibilité du biofilm est directement liée au temps d'exposition et à la concentration de la substance testée, ainsi que la phase de développement du biofilm.

Conclusion

La présente étude porte sur une synthèse de toutes les recherches dont les auteurs se sont intéressés à évaluer l'efficacité des produits naturels dans les traitements endodontiques. Différentes méthodes ont été employées par les auteurs pour mesurer le potentiel antimicrobien de leurs produits allant de simples méthodes de détermination des CMI, CMB envers des pathogènes endodontiques (principalement *E. faecalis*, *Candida albicans*, *Streptococcus spp.* etc.). Tandis que certains chercheurs ont évalué leurs produits par des méthodes plus sophistiquées *in vitro* et *in vivo*, en utilisant des modèles et des dents extraits des patients, voir même l'utilisation du microscope électronique. Dans ces approches, les auteurs ont focalisé surtout sur l'éradication effective des biofilms des canaux radiculaires.

Notre recherche bibliographique a montré que l'utilisation des produits naturels, surtout les HES ne sont pas appliqués cliniquement jusqu'à présent du fait que ce volet ne n'intéresse pas la communauté des dentistes. Alors que les résultats pertinents trouvés par les auteurs prouvent, sans doute, que l'utilisation des HES, des flavonoïdes et les autres substances issues de plantes en pratique endodontique semble plutôt prometteuse, à cause de leur efficacité à éradiquer les biofilms des pathogènes endodontiques, notamment ceux d'*E. faecalis*. Les résultats discutés ont montré également qu'en plus de leur potentiel antimicrobien, ayant même dépassé celui des antiseptiques les plus utilisées en pratique endodontique (CHX, NaOCl, etc.), les produits naturels sont sécurisés pour l'usage humain et offre davantage des propriétés thérapeutiques intéressantes, dont l'activité antioxydante et celle anti-inflammatoire.

Vu les conclusions discutées, il serait très intéressant de valoriser les plantes de notre patrimoine végétale dans la confection des solutions d'irrigation ayant plusieurs avantages tels que l'efficacité éradicatrice, le faible coût, leur sûreté ainsi que leur non-susceptibilité vis-à-vis de la résistance microbienne.

Référence Bibliographique

Abbaszadegan, A., Gholami, A., Mirhadi, H., Saliminasab, M., Kazemi, A., & Moein, M. R. (2015). Antimicrobial and cytotoxic activity of *Ferula gummosa* plant essential oil compared to NaOCl and CHX: a preliminary in vitro study . Restorative Dentistry & Endodontics , pp. 50-57.

Abbaszadegan, A., Sahebi, S., Gholami, A., Delroba, A., Kiani, A., Iraj, A., et al. (2014). Time-dependent antibacterial effects of *Aloe vera* and *Zataria multiflora* plant essential oils compared to calcium hydroxide in teeth infected with *Enterococcus faecalis*. Journal of Investigative and Clinical Dentistry , pp. 1-9.

Abbaszadegana, A., Gholami, A., Ghahramani, Y., Ghareghan, R., Ghareghan, M., Kazemi, A., et al. (2016). Antimicrobial and cytotoxic activity of *Cuminum cyminum* as an intracanal medicament compared to Chlorhexidine gel. Iranian Endodontic Journal , pp. 44-50.

Agrawal, V., Kapoor, S., & Agrawal, I. (2017). Critical review on eliminating endodontic dental infections using herbal products. Journal of Dietary Supplements, 2, pp. 229-240.

Ali, B. (2012). Etude des activités biologiques de l'huile essentielle extraite des graines de *Foeniculum vulgare Mill.* en vue de son utilisation comme conservateur alimentaire. Mémoire représenté pour l'obtention du Diplôme de Magister en Sciences Alimentaires, Université Mentouri Constantine, Département de biotechnologie alimentaire, Constantine.

Amri, J. E., Elbadaoui, K., Zair, T., H. b., chakir, S., & Alaoui, T. I. (2014). Étude de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de *Teucrium capitatum L* et l'extrait de *Silène vulgaris* sur différentes souches testées. Maroc: Journal of Applied Biosciences.

Arati, N., N, N. R., B, G. S., Kishore, B., & Mithun, K. (2011, Jan-Feb). Evaluation of antibacterial and anticandidial efficacy of aqueous and alcoholic extract of neem (*Azadirachta indica*) an in vitro study. International Journal of research in Ayurveda & pharmacy, 1, p. 230-235.

Benbelaid, F. (2015). Effets des huiles essentielles de quelques plantes aromatiques sur *Enterococcus faecalis* responsable d'infections d'origine dentaire. Thèse [diplôme de Doctorat

en Biologie], Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, Faculté des sciences de la nature et de la vie de la terre et de l'univers, Tlemcen.

Benbelaïd, F., Khadir, A., Abdoune, M. A., Bendahou, M., Muselli, A., & Costa, J. (2014). Antimicrobial activity of some essential oils against oral multidrug-resistant *Enterococcus faecalis* in both planktonic and biofilm state. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 6, pp. 463-472.

Benbelaïd, F., Khadira, A., Bendahoua, M., Ben-Yelles, I., Muselli, A., & Costa, J. (2018). Eradication of *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans* Biofilms by *Cinnamomum cassia* Essential Oil Solution as a Root Canal Irrigant. *The Natural Products Journal* (8), pp. 54-60.

Berger, L. (2010). Le biofilm bactérien endodontique. Thèse pour le diplôme d'état de Docteur en chirurgie dentaire, Université Henry Poincaré-Nancy 1, Faculté de chirurgie dentaire, France.

Bouthayna, Z., & Hadjer, T. (2020). Contribution d'étude de l'activité antifongique des huiles essentielles de thym (*Thymus vulgaris*) contre *Aspergillus niger*. Mémoire de master, Université de Biskra, Département des sciences de la nature et de la vie.

Bouzidi, S. (2020). Les infections bucco dentaires : prise en charge et le rôle de laboratoire. Thèse, Université Mohammed V de Rabat, Faculté de médecine et de pharmacien, Rabat.

Chahrazed, B., & Djamel, A. (2014). Les huiles essentielles (éd. 5145). Ben Aknoun-Alger: office des publications universitaires.

Christian, G. (2007). Étude structure-fonction des transporteurs ABC de *Candida albicans* impliqués dans la résistance aux agents antifongiques. Thèse, Université de Montréal, Faculté des études supérieures.

Cieplik, F., Jakubovics, N. S., Buchalla, W., Maisch, T., Hellwig, E., & Ahmed, A. A. (2019). Resistance toward chlorhexidine in oral bacteria - is there cause for concern? *Front Microbiol*, 10, p. 587.

Cogulu, D., Uzel, A., Oncag, O., & Sorkun, K. (2006). Efficacy of propolis as an intracanal medicament against *Enterococcus faecalis*. *General Dentistry*, 54 (5), pp. 319-22.

Dakkaki, J., Benkirane, I., Karami, M., & Ouazzani, A. E. (2013). Désinfection endodontique : Principes et méthodologie. *le courrier du dentiste* .

Daouda, T. (2015). Etudes chimique et biologique des huiles essentielles de quatre plantes aromatiques médicinales de côte d'ivoire. Thèse présentée pour l'obtention du Titre de Docteur de L'Université Félix Houphouët- Boigny, Université Félix Houphouët- Boigny, Biologie Humaine Tropicale, Côte d'ivoire.

Donlan, R. M., & Costerton, J. W. (2002). Biofilms: Survival Mechanisms of Clinically Relevant Microorganisms. *Clin Microbiol Reviews*, 15 (2).

Florian, L. S. (2016). Rôle du biofilm dans les infections endodontiques et prise en charge thérapeutique. Thèse pour le diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire charge thérapeutique, Université Claude Bernard-Lyon I, France.

Gouet, J.-S. (2011). Bacterial biofilms and implications in endodontics.

Gunser, M. B., & Akbulu, M. B. (2016). Antibacterial effect of chlorhexidine-cetrimide combination, *Salvia officinalis* plant extract and octenidine in comparison with conventional endodontic irrigants. *Dental materials* , pp. 736-741.

Heydel, P. (2016). Les infections endodontiques secondaires et persistantes : estimation des coûts en santé publique. Thèse pour le diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire, Université de Lorraine, Faculté d'odontologie.

Houvion, E. (2018). Le biofilm dentaire : composition, formation et propriétés. Faculté d'odontologie, Université de Lorraine , France.

Hugar, S., Patel, P. M., Nagmoti, J., Uppin, C., Mistry, L., & Dhariwal, N. (2017). An in vitro comparative evaluation of efficacy of disinfecting ability of Garlic Oil, Neem Oil, Clove Oil, and Tulsi Oil with autoclaving on endodontic K files tested against *Enterococcus faecalis*. 3, pp. 283-288.

Jr, J. F., & Rôças, I. N. (2009, Nov). Diversity of endodontic microbiota revisited. *Sage Journal*, 11, pp. 969-81.

Kolnik, J. (2013). Utilisation clinique du laser Er,Cr:YSGG dans le traitement endodontique. Dental tribune .

Lagane, C. (2007). Role de L'IL-13 et des ligands de ppar-y dans la reponse anti-infectieuse des macrophages murins et des monocytes humains vis-a-vis de *Candida albicans*. These pour obtention du grade de docteur de l'universite Toulouse III.

Leila, L. (2015). Evaluation de l'activite antibacterienne d'huiles essentielles marocaines sur *aggregatibacter actinomycetemcomitans* : etude in vitro . Thèse de doctorat, Centre d'etudes doctorales des sciences de la vie, Faculte de medecine dentaire de rabat facultie de medecine dentaire Rebat, Rebat.

Levy, S. B., & Marshall, B. (2004). Antibacterial resistance worldwide: causes, challenges and responses. *Nature Medicine*, 10, pp. 122-129.

Lins, I. X., Andrade, A. O., Junior, R. H., Wilson, M. J., A.O.Lewis, M., W.Williams, D., et al. (2013). Antimicrobial resistance and virulence traits of *Enterococcus faecalis* from primary endodontic infections. *Journal of Dentistry*, 41 (9), pp. 779-786.

Mardegan, R. d., Foglio, M. A., Gonçalves, R. B., & Höfling, J. F. (2005). *Candida albicans* proteinases. *Braz J Oral Sci*, 16, pp. 944-952.

Marinković, J., Čulafić, D. M., Nikolić, B., Đukanović, S., Marković, T., Tasić, G., et al. (2020). Antimicrobial potential of irrigants based on essential oils of *Cymbopogon martinii* and *Thymus zygis* towards in vitro multispecies biofilm cultured in ex vivo root canals. *Archives of Oral Biology* , p. 10.

Mathew, J., Pathrose, S., Kottoor, J., Karaththodiyil, R., Alani, M., & Mathew, J. (2015). Evaluation of an indigenously prepared herbal extract (EndoPam) as an antimicrobial Les lésion inflammatoiresendodontic irrigant: an Ex vivo study. *Journal of International Oral Health*, 6, pp. 88-91.

Mortier, Engels-Deutsch, M., & Vincent, M. (2015). Les lésions inflammatoires *Information Dentaire*. MCU-PH Odontologie Conservatrice-Endodontie Faculté.

Nagy-Bota, M. C., Man, A., Santacroce, L., Brinzaniuc, K., Pap, Z., Pacurar, M., et al. (2021). Essential oils as alternatives for root-canal treatment and infection control against *Enterococcus faecalis*—a preliminary study. *Applied science* , pp. 2-12.

Penumudi, S. M., Mandava, R. B., D, D. S., Santhi, V., B, S., & Gandhi, B. (2015, Jan-Apr). Antimicrobial efficacy of herbs in endodontics. *Journal of Advanced Oral Research* .

Pujar, M., & Makandar, S. (2011). Herbal usage in endodontics. *Journal of Contemporary Dentistry* , p. 34.

RCD, S., T, C., RJG, D. M., & Meire, M. A. (2019). Biofilm model systems for root canal disinfection:a literature review. *International Endodontic Journal*, 52, pp. 604–628.

Rehman, K., Khan, F. R., & Aman, N. (2013). Comparison of orange oil and chloroform as gutta percha solvents in endodontic retreatment. *Journal of Contemporary Dental Practice*, 3, pp. 478-482.

Reiznautt, C. M., Ribeiroa, J. S., Kreps, E., Rosa, W. L., Lacerda, H. d., Peralta, S. L., et al. (2020). Development and properties of endodontic resin sealers with natural oil. *Journal Pre-proof .Journal of Dentistry* .

Sahebi, S., Khosravifar, N., Sedighshamsi, M., & Motamedifar, M. (2014). Comparison of the antibacterial effect of sodium hypochlorite and amoe vera solution as root canal irrigants in human extracted teeth contaminated with *Enterococcus faecalis*. *J Dent (Shiraz)*, 15 (1), pp. 39-43.

Santos, D. C., Barboza, A. d., Schneider, L. R., Cuevas-Suárez, C. E., Ribeiro, J. S., Damian, M. F., et al. (2021). Antimicrobial and physical properties of experimental endodontic sealers containing vegetable extracts. *Scientific Reports* .

Setty, J. V., Srinivasan, I., Sathiesh, R. T., Kale, M., Shetty, V. V., & Venkatesh, S. (2020). In vitro evaluation of antimicrobial effect of *Myristica fragrans* on common endodontic pathogens. *Journal of Indian Society of Pedodontics and Preventive*, 38 (2), pp. 145--151.

Shakya, V. K., Luqman, S., Tikkul, A. P., Chandra, A., & Singh, D. K. (2019). A relative assessment of essential oil of *Chrysopogon zizanioides* and *Matricaria*

chamomilla along with calcium hydroxide and chlorhexidine gel against *Enterococcus faecalis* in ex vivo root canal models. *Journal of Conservative Dentistry*, 22 (1), pp. 39-9.

Silva, S. D., Souza, M. G., Cardoso, M. J., Moraes, T. d., Ambrosio, S. R., Veneziani, R. C., et al. (2014). Antibacterial activity of *Pinus elliottii* against anaerobic bacteria present in primary endodontic infections. *Anaerobe Clinical microbiology* , pp. 146-152.

Toninoli, F., & Meglioli, V. (2013). *Huiles essentielles l'encyclopédie*. France: Judena.

Torabinejad, M., Fouad, A., Walton, R. E., & Lévy, G. (2016). *Endodontie: principes et pratique*. California: Elsevier Health Sciences.

Tremblay, C.-L. (2012). Étude de la résistance aux antibiotiques des entérocoques d'origine animale du Québec. Thèse présentée à la Faculté de médecine vétérinaire, Université de Montréal, Département de pathologie et microbiologie, Canada.

Veras, H. N., Rodrigues, F. F., Botelho, M. A., Menezes, I. R., Coutinho, H. D., & Costa, J. G. (2014). Antimicrobial effect of *Lippia sidoides* and Thymol on *Enterococcus faecalis* biofilm of the bacterium isolated from root canals. *The Scientific World Journal* , p. 5.

Wa, L. D. (2006). *Parodontites apicales d'origine endodontique et qualité des traitements canalaires: étude descriptive dans un centre d'odontologie*.

Yadav, H. K., Yadav, R. K., Chandra, A., & Thakkar, R. R. (2016). L'efficacité de l'huile d'eucalyptus, de l'huile d'orange et xylène pour dissoudre différents scellants endodontiques. *Journal de dentisterie conservatrice* , p. 332.

ملخص

تعد العدوى اللبية الأولية والثانوية من بين إصابات الفم الأكثر تعقيدا والتي تتطلب معالجة خاصة. الهدف من هذه الدراسة هو تحليل كل الأبحاث التي ركز مؤلفوها على التأثير المثبط للمنتجات الطبيعية ضد الكائنات الحية الدقيقة المسؤولة عن العدوى اللبية. أظهرت مناقشتنا أن المواد المشتقة من النباتات الطبية، بما في ذلك الزيوت الأساسية، تتمتع بنشاط قوي مضاد للميكروبات المسببة للأمراض اللبية وكذلك الأغشية الحيوية الخاصة بها. اتضح إذا ان المنتجات الطبيعية هي مادة ممتازة لانتاج محلولات لعلاج اللبي بدلا من المطهرات الكيميائية المستخدمة حاليا.

الكلمات المفتاحية: نشاط مضاد للميكروبات، الأغشية الحيوية، الزيوت الأساسية، التهابات اللبية، منتجات طبيعية، محلول للعلاج اللبي

Résumé

Les infections endodontiques primaires et secondaires sont parmi les lésions bucco-dentaires les plus compliquées qui nécessitent une prise en charge adéquate. L'objectif de cette étude est de synthétiser l'ensemble des recherches à travers lesquelles les auteurs ont focalisé sur l'effet inhibiteur des produits naturels vis-à-vis des microorganismes responsables des infections endodontiques. Notre discussion a montré que les substances issues des plantes médicinales, dont les huiles essentielles, sont dotées d'une forte activité antimicrobienne vis-à-vis des pathogènes endodontiques ainsi que leurs biofilms. Il s'avère ainsi que les produits naturels sont une excellente matière première pour la formulation des solutions d'irrigation prometteuses pour les soins endodontiques à la place des antiseptiques chimiques actuellement utilisés.

Mots clés : Activité antimicrobienne ; Biofilms ; Huile essentielle ; Infections endodontiques ; Produits naturels ; Solution d'irrigation.

Abstract

Primary and secondary endodontic infections are among the most complicated oral lesions that require adequate management. The aim of this study is to summarize all the research whose authors focused on the inhibitory effect of natural products on microorganisms responsible for endodontic infections. Our discussion showed that substances derived from medicinal plants, including essential oils, have a high antimicrobial activity against endodontic pathogens and their biofilms. It turns out that natural products are an excellent raw material for the formulation of promising irrigation solutions for endodontic care instead of chemical antiseptics.

Keywords : Antimicrobial activity; Biofilms; Essential oil; Endodontic infections; Natural products; Irrigation solution.