

République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de ABDERRAHMANE MIRA -BEJAIA-

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Microbiologie

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Biotechnologie et Santé



Réf :

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

Thème

**Etude de l'activité antimicrobienne des extraits
éthanoliques de caroubier (*Ceratonia siliqua L*)**

Présenté par :

Mlle ZEBBOUDJ Ilhem

Mlle ZENNACHE Feriel

Soutenu le : 22 Juin 2023

Devant le jury composé de :

Mr. BENSAID K.	MAA	Président
Mme. FERHI-BOUADAM B.	MCB	Promotrice
Mme. BENACHOUR K.	MAA	Examinatrice

Année universitaire : 2022 / 2023

Remerciements

Au terme de la réalisation de ce mémoire, nous tenons en premier lieu à exprimer nos profonds et sincères remerciements au bon dieu pour nous avoir accordé la force, la persévérance et les opportunités nécessaires pour mener à bien ce mémoire de fin d'étude.

*Nous tenons à exprimer nos profondes gratitudee et nos sincères remerciements à **Mme FERHI-BOUADAM B.** pour son précieux encadrement dans la préparation de notre mémoire de fin d'étude. Votre soutien inestimable, votre dévouement et vos précieux conseils ont été d'une importance cruciale tout au long de ce projet. Nous sommes reconnaissantes pour la confiance que vous nous avez accordée. Sans votre encadrement et votre soutien, cette réalisation n'aurait pas été possible. Nous sommes honorées d'avoir eu l'opportunité de travailler avec vous et d'apprendre de vous.*

*Notre respect le plus profond s'adresse au président de jury **Mr BENSALD K.** pour avoir accepté de présider le jury de soutenance.*

*Nos sincères remerciements vont également à l'examinatrice **Mme BENACHOUR K.** Nous vous remercions vivement de nous faire l'honneur de consacrer une partie de votre temps précieux pour examiner ce modeste travail*

*Nos remerciements les plus distinguées à **toute l'équipe du laboratoire d'Agro-alimentaire IDRES,** nous avons été touchés par votre disponibilité, votre gentillesse et votre accueil chaleureux.*

*Nous adressons un grand merci à **tous les enseignants** ayant assurés nos cours pendant nos années d'études.*

*Nous remercions aussi **nos familles** qui ont toujours cru en nous.*

*A tous **nos collègues** et **ami(e)s** de la promotion BS 2023*

Dédicace

En cette occasion spéciale de la fin de mes études, j'adresse mes plus profondes gratitude et tout mon amour à celle qui a été ma source d'inspiration tout au long de mon parcours éducatif : **ma mère bien-aimée**. Grâce à ton exemple inspirant, j'ai appris à poursuivre mes rêves avec passion et à ne jamais abandonner, même lorsque les obstacles semblaient insurmontables. Merci d'avoir été ma plus grande supportrice ;

Je souhaite poursuivre ces mots empreints de gratitude et d'affection en remerciant **mon cher père**. Ta présence bienveillante a été un pilier sur lequel j'ai pu m'appuyer tout au long de ma vie. Tes précieux conseils ont façonné mon chemin et m'ont aidé à devenir la personne que je suis aujourd'hui. Tu as été là pour m'encourager lorsque j'en avais besoin, pour me reconforter lorsque j'étais découragée et pour célébrer mes succès avec une fierté évidente. Merci papa d'avoir cru en moi ;

J'aimerais également dédier ce travail à **mes sœurs bien-aimées** : Samra et Chahla qui ont été des piliers de soutien inconditionnels. Merci pour votre présence chaleureuse et vos mots d'encouragements tout au long de mon parcours, sans oublier mes petites princesses Israa et Ania, mon petit prince Mouhamed qui sont ma source d'inspiration ;

A ma très **chère grand-mère**, qui a été une source d'inspiration et de soutien inestimable tout au long de ma vie. Puisse l'éternel te préserver pour de nombreuses années à venir,

A **mes meilleures amies** : Yasmine, Sara, Zineb, Thinhinane, Lydia, Samia, Rima, Lydia et Lynda sur qui je peux compter et en témoigner de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble.

A ma complice de projet, **ma chère amie** de confiance 'Ilhem', qui a été bien plus qu'une simple partenaire de travail. Notre complicité et notre capacité à travailler en harmonie ont créé une dynamique unique et efficace. Merci d'être mon binôme, mon amie et mon alliée ;

A toute la promotion Biotechnologie et santé 2023.

Feriel

Dédicace

En cette occasion unique, je souhaite exprimer ma profonde gratitude et rendre hommage à votre dévouement, votre persévérance et votre passion tout au long de ce parcours académique exigeant.

À mes parents SAADIA et TAYEB, à mes deux sœurs SARAH et KENZA et à mon petit frère HAKIM, je vous suis infiniment reconnaissant pour votre amour, votre patience et votre soutien indéfectible tout au long de ce parcours. Votre présence et vos encouragements ont été une source inestimable de motivation. Vous êtes l'incarnation de l'amour inconditionnel, du soutien indéfectible et de la confiance inépuisable. Je vous dédie ce modeste travail en reconnaissance de tout ce que vous avez sacrifié pour me permettre d'atteindre mes rêves. Votre amour et votre soutien ont été ma source d'inspiration constante et ma motivation inépuisable, Je vous aime infiniment.

À ma famille bien-aimée, cette dédicace est un témoignage de l'amour profond et inconditionnel que je porte à chacun d'entre vous. Vous êtes ma force, ma source d'inspiration et mon soutien inébranlable. Votre soutien inconditionnel, vos encouragements chaleureux et votre présence constante ont été les fondations solides sur lesquelles j'ai construit ma réussite académique. Je suis infiniment reconnaissante d'avoir une famille aussi extraordinaire, dont le soutien indéfectible m'a permis d'atteindre mes objectifs.

À mes amies bien-aimées BAYA, DAYA, THILLELI et HIZIA, mes amies les plus chères. tout au long de cette aventure académique, vous avez été mes piliers, ma source d'inspiration et ma force inébranlable. Vos encouragements sincères, vos mots de soutien et vos éclats de rire ont illuminé les jours les plus sombres. Vous avez été mes confidentes, mes conseillères et mes compagnes de route inconditionnelles, toujours prêtes à m'écouter, à me comprendre et à me soutenir. Je tiens à vous remercier du fond du cœur pour votre amour inconditionnel, votre présence réconfortante et votre croyance en moi lorsque j'en avais le plus besoin. Vous m'avez montré que l'amitié véritable transcende les frontières de l'académie et qu'elle est un soutien précieux qui nous accompagne à chaque étape de notre vie, à travers ce mémoire, je souhaite dédier une part de mon succès à vous, votre amitié m'a donné la force de persévérer, la confiance pour relever les défis et la joie d'être entourée de personnes aussi merveilleuses que vous.

À mes camarades de classe et à toute ma promo de Biotechnologie et Santé 2023.

Avec gratitude,

Ilhem

Liste des tableaux

Tableau I	Correspondances des numéros des extraits aux parties de la plante utilisées.	Page 11
Tableau II	Caractéristiques des souches bactériennes et la levure testées.	Page 11
Tableau III	Matériels et équipement du laboratoire utilisés durant la pratique.	Page 12
Tableau IV	La liste des ATB utilisé dans cette étude.	Page 12
Tableau V	Les DO des solutions bactériennes préparées.	Page 15
Tableau VI	La DO de la solution fongique.	Page 16
Tableau VII	Dilutions successives réalisées sur les extraits et les concentrations qui leurs correspondent.	Page 20
Tableau VIII	Les DO des solutions bactériennes de l'évaluation de la CMI.	Page 21
Tableau IX	Diamètres moyens des zones d'inhibition d' <i>Escherichia coli</i> obtenus avec la méthode des disques et les puits.	Page 23
Tableau X	Diamètres des zones moyens d'inhibition de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> obtenus avec la méthode des disques et puits.	Page 25
Tableau XI	Diamètres moyens des zones d'inhibition de <i>Salmonella enterica</i> obtenus avec la méthode des disques et puits.	Page 27
Tableau XII	Moyennes des diamètres des zones d'inhibition de <i>Staphylococcus aureus</i> obtenus avec la méthode des disques et puits.	Page 29
Tableau XIII	Moyennes des diamètres des zones d'inhibition de <i>Bacillus cereus aureus</i> obtenus avec la méthode des disques et puits.	Page 31
Tableau XIV	Diamètres moyens des zones d'inhibition de <i>Candida albicans</i> obtenus avec la méthode des disques et puits.	Page 32
Tableau XV	Résultats de la CMI obtenu pour <i>Pseudomonas aeruginosa</i> et <i>Bacillus Cereus</i>	Page 34

Liste des figures

Figure n° 01	Schéma démontrant les cibles d'un antibiotique dans la cellule bactérienne	Page 4
Figure n° 02	Mécanismes de résistance aux antibiotiques adaptés par la cellule bactérienne.	Page 5
Figure n° 03	Les différentes parties utilisées de la plante <i>Ceratonia siliqua</i> L.	Page 10
Figure n° 04	Coulage des boîtes pétri avec le bouillon de GMH	Page 14
Figure n° 05	Boîtes de repiquage des bactéries à tester.	Page 15
Figure n° 06	Flacons de la gélose Sabouraud misent dans un bain marie	Page 16
Figure n° 07	Ensemencement par stries serrées des boîtes pétri	Page 16
Figure n° 08	Réalisation des disques de papier Whatman n° 3	Page 17
Figure n° 09	Disques du papier Whatman imprégnés avec les extraits éthanoliques de <i>Ceratonia siliqua</i> L.	Page 17
Figure n° 10	Dépôt des disques sur la gélose des boîtes de pétri inoculées.	Page 18
Figure n° 11	Réalisation et remplissage des puits.	Page 18
Figure n° 12	Incorporation des dilutions des extraits avec la GMH.	Page 20
Figure n° 13	Représentation en histogramme des diamètres moyens des zones d'inhibition d'<i>Escherichia coli</i> obtenus avec la méthode des disques et les puits.	Page 23
Figure n° 14	Zones d'inhibition apparues avec des disques et des puits des extraits de <i>Ceratonia siliqua</i> L. sur <i>Escherichia coli</i>.	Page 24

Figure n° 15	Représentation en histogramme des diamètres moyens des zones d'inhibition de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> obtenus avec la méthode des disques et la méthode des puits.	Page 25
Figure n° 16	Zones d'inhibition apparues avec des disques et des puits des extraits (3,4,7,8) de <i>Ceratonia siliqua</i> L. sur <i>Pseudomonas aeruginosa</i>.	Page 26
Figure n° 17	Représentation en histogramme des diamètres moyens des zones d'inhibition de <i>Salmonella enterica</i> obtenus avec la méthode des disques et la méthode des puits.	Page 27
Figure n° 18	Zones d'inhibition apparues avec des disques et des puits des extraits (3,4,7,8) de <i>Ceratonia siliqua</i> L. sur <i>Salmonella enterica</i>.	Page 28
Figure n° 19	Représentation en histogramme des diamètres moyens des zones d'inhibition de <i>Staphylococcus aureus</i> obtenus avec la méthode des disques et la méthode des puits.	Page 29
Figure n° 20	Zones d'inhibition apparues avec des disques et des puits des extraits (1,2,3,4,6,7 et 8) de <i>Ceratonia siliqua</i> L. sur <i>Staphylococcus aureus</i>.	Page 30
Figure n° 21	Zones d'inhibition apparues avec des disques et des puits des extraits (7,8) de <i>Ceratonia siliqua</i> L. sur <i>Bacillus cereus</i>.	Page 30
Figure n° 22	Représentation en histogramme des diamètres moyens des zones d'inhibition de <i>Bacillus cereus</i> obtenus avec la méthode des disques et la méthode des puits.	Page 31
Figure n° 23	Représentation en histogramme diamètres moyens des zones d'inhibition de <i>Candida albicans</i> obtenus avec la méthode des disques et la méthode des puits.	Page 33
Figure n° 24	Résultats de l'activité antifongique obtenus des extraits 3, 4, 7 et 8 sur <i>Candida albicans</i> (avec la méthode des puits et des disques.	Page 33
Figure n° 25	Résultats du Témoin et la CMI des extraits 3, 4, 7 et 8 évaluée sur <i>Pseudomonas aeruginosa</i>.	Page 34
Figure n° 26	Résultats du Témoin et de la CMI des extraits 7 et 8 évaluée sur <i>Bacillus cereus</i>.	Page 35

Liste des abréviations

EXTR :	Extrait
ATB :	Antibiotique
DO :	Densité optique
GMH :	Gélose Muller-Hinton
CMI :	Concentration minimale inhibitrice
ØZI :	Diamètre de la zone d'inhibition

Table de matière

Remerciement

Dédicace

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction 1

Partie 1. Synthèse bibliographique

I. Activité antimicrobienne 4

I.1. Mécanismes de résistance des bactéries aux antibiotiques 4

I.2. Présentation des bactéries appartenant aux souches traitées dans le travail 5

II. Activité antimicrobienne des extraits de plantes 6

II.1. Présentation de l'espèce *Ceratonia siliqua* L. 8

II.2. Utilité de *Ceratonia siliqua* L. 9

Partie 2. Matériels et Méthodes

I. Matériels 10

I.1 Matériels biologiques 10

I.1.1. Végétal 10

I.1.2. Souches bactériennes 11

I.2. Matériels non biologiques 12

II. Méthodes 13

II.1. Evaluation de l'activité antibactérienne 13

II.1.1. Evaluation de l'activité antimicrobienne 13

Préparation de la gélose GMH 13

Préparation de l'inoculum 14

II.1.2. Evaluation de l'activité antifongique 15

Préparation de la gélose dextrose agar additionné de 2% de glucose 15

Préparation de la solution fongique 16

II.1.3. Ensemencement des boîtes pétri 16

II.2. Méthodes de diffusion sur gélose 17

II.2.1. La méthode de diffusion sur gélose avec des disques imprégnés 17

II.2.2. La méthode de diffusion sur gélose avec des puits 18

II.3. La concentration minimale inhibitrice (CMI) 19

II.1 Préparation des dilutions successives 19

II.3.2. Préparation des solutions bactériennes 20

Partie 3. Résultats

I. Résultats de l'activité antibactérienne 22

I.1 Résultats de la sensibilité d'*Escherichia coli* (N°ATCC = 8739) 22

I.2	Résultats de la sensibilité de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (N° ATCC = 9027)	24
I.3	Résultats de la sensibilité de <i>Salmonella enterica</i> (N° ATCC = 14028).....	26
I.4	Résultats de la sensibilité de <i>Staphylococcus aureus</i> (N° ATCC = 6538)	28
I.5	Résultats de la sensibilité de <i>Bacillus cereus</i> (Réf N° ATCC = 6633)	30
II.	Résultats de l'activité antifongique	32
III.	Résultats de la concentration minimale inhibitrice (CMI).....	33
Partie 4.	Discussion et résultats.....	35
	Conclusion	39
	Références bibliographiques	

INTRODUCTION

Depuis le temps les plantes ont été la source des matières premières pour l'homme : alimentation, abris, habits, prévention des maladies et soins. Leur importance dans la prévention et les soins réside dans le fait qu'elles contiennent un certain nombre de molécules chimiques connus et d'autres restes inconnus (**Manoharachary et al., 2016**).

Les substances naturelles issues des végétaux présentent des intérêts multiples en biotechnologie tant dans l'industrie alimentaire, cosmétique que pharmaceutique, une grande partie de ces substances sont les métabolites secondaires (**Mezouar et al., 2014**). Ces dernières sont classées selon leur structure chimique en trois grandes familles : les composées phénoliques, les terprénoides et les composés azotés ou alcaloïdes (**Elmtili et al., 2010**). Ces composés secondaires bioactifs donnent l'avantage aux plantes d'avoir plusieurs activités biologiques comme l'activité antioxydante, antidiabétique antifongique et antibactérienne, (**Shabir, 2021**).

Le recours à la phytothérapie, par utilisation des extraits des plantes médicinales, dans le domaine de la microbiologie est une conséquence de l'inefficacité de la plupart des médicaments -antibiotiques- en raison de la résistance microbienne aux agents disponibles (**Akharaiyi et Boboye, 2010**).

Les plantes de la famille des Fabacées sont parmi les plantes qui sont dotées d'un pouvoir antimicrobien tel qu'il a été démontré dans les travaux de (**Pissang et al. 2016**) sur l'efficacité de *Cassia alata* dans l'inhibition de la croissance de *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* et *Klebsiella oxytoca* et de levures (*Candida albicans* et *Candida krusei*). De plus, l'huile essentielle de *Detarium senegalense*, *Detarium microcarpum* et *Piliostigma reticulatum* a montré un effet antibactérien avec trois souches à Gram+, trois à Gram- et une activité antifongique avec *Candida albicans* (**Faye et al., 2022**)

De cette large famille, notre choix est porté sur l'espèce *Ceratonia siliqua* L. très utilisée depuis l'Antiquité pour l'alimentation ainsi que pour des remèdes traditionnels (**Mouas et al., 2021**). Selon **Berrougui (2007)**, *Ceratonia siliqua* L. se caractérise par son effet antiprolifératif, antidiarrhéique ainsi que contre les troubles digestifs. Et un effet cytotoxique et antimicrobien dans ses extraits (**Kivçak, 2002**), et dans ses huiles essentielles (**Ben Hsouna et al., 2011 ; Ayache et al., 2021**).

Plusieurs recherches ont été effectuées sur l'espèce *Ceratonia siliqua* L. D'abord dans le monde, nous citons les études réalisées, sur le caroubier d'IRAK, par **Al-Tikrity. (2007)**, qui ont démontré la sensibilité de l'agent causal de cette maladie (*Candida albicans*) vis-à-vis des extraits alcooliques de *Ceratonia siliqua* L. donnée comme des traitements de la candidose orale. Et par **Monjd AbdRazik et al. (2012)** sur l'effet des feuilles de *Ceratonia siliqua* L. sur des bactéries à Gram+ et Gram-. L'effet anti bactérien des extraits des feuilles de *Ceratonia siliqua* L. collectées en Egypte a été mis en évidence par **Ibrahim (2013)**. Récemment, les extraits de feuilles de caroube du Maroc ont montré un effet antibactérien contre plusieurs bactéries tels que *Escherichia coli* et *staphylococcus aureus* et des levures comme *Candida albicans* (**Elbouzidi, 2023**).

En Algérie l'activité antimicrobienne du caroubier qui pousse dans plusieurs régions a été évaluée. A l'exemple de l'étude réalisée par **Benguïar et al. (2015)** sur l'activité antibactérienne de l'extrait de caroubier de Mostaganem sur deux candidats probiotiques *Lactobacillus fermentum* et *Lactobacillus rhamnosus*. Puis, le travail d'**Ouis et Hariri. (2018)** qui ont mis en évidence l'activité antibactérienne des huiles essentielles des graines et pulpe de caroubier de Mascara testé contre *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Staphylococcus aureus*.

Enfin et à l'échelle locale, la sensibilité aussi du pathogène *Pectobacterium atrosepticum* vers l'extrait de caroubier de la région de Aftis (Bejaia) était mise en évidence (**Meziani et al., 2015**). Aussi, l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits aqueux et méthanoliques des graines du caroubier de Bejaia a démontré l'effet moyen de cet extrait sur *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Staphylococcus aureus* et son effet important sur *Candida albicans*. (**Benmansour et al., 2020**).

Cependant, aucune des études citées n'a testé des extraits de différentes parties de *Ceratonia siliqua* L. Les extraits utilisés par les autres études étaient principalement ceux des feuilles et des gousses ou des pulpes et des graines. Dans le présent travail, en plus des extraits déjà traités dans la bibliographie, nous avons testé aussi ceux des autres parties non

traitées déjà à savoir : extraits des rameaux, extraits des feuilles jeunes, extraits des gousses jeunes et extraits des feuilles endommagées.

Alors, l'objectif de notre travail est d'évaluer, *in vitro*, l'effet antimicrobien des différents extraits, sus cités, sur cinq bactéries à Gram positif et à Gram négatif et sur une souche de levure (*Candida albicans*) en utilisant la méthode de diffusion sur milieu gélosé avec deux techniques (des disques et des puits), puis d'estimer la concentration minimale inhibitrice des souches qui ont été trouvées sensibles aux extraits.

La présente introduction sera suivie par :

- En premier lieu, une synthèse bibliographique qui synthétisera l'ensemble des informations relatives à la plante en question et celles de l'activité antimicrobienne.
- En second lieu, une méthodologie qui fournira brièvement les différents protocoles et utilisés dans notre travail pour aboutir aux résultats qui seront bien illustrés dans la partie résultats et discussions.
- En dernier lieu, une conclusion qui résumera les résultats les plus marquants de notre travail et dans laquelle quelques perspectives seront proposées.

Synthèse bibliographique

I. Activité antimicrobienne

Les antimicrobiens sont définis comme étant des agents qui inhibent la croissance des bactéries (activité antibactérienne), champignons (activité antifongique), virus (activité antivirale) et protozoaires (activité antiprotozoaire), ils sont autrement appelés les agents désinfectants et ils sont utilisés aussi comme étant des stérilisateurs et antiseptiques (**Kahrs, 1995 ; Chassagne et al., 2021**). Les antibiotiques sont les agents antibactériens les plus utilisés contre les micro-organismes. Cependant, la résistance des micro-organismes pathogènes aux antibiotiques ces dernières années représente un problème de santé publique de plus en plus important dans le monde (**Dever et Dermody., 1991**). Plusieurs composés antibactériens d'origine végétale inhibent la croissance bactérienne en agissant sur des cibles cellulaires différentes de celles des antibiotiques (fig.01) (**Messara et Chebab., 2022**).

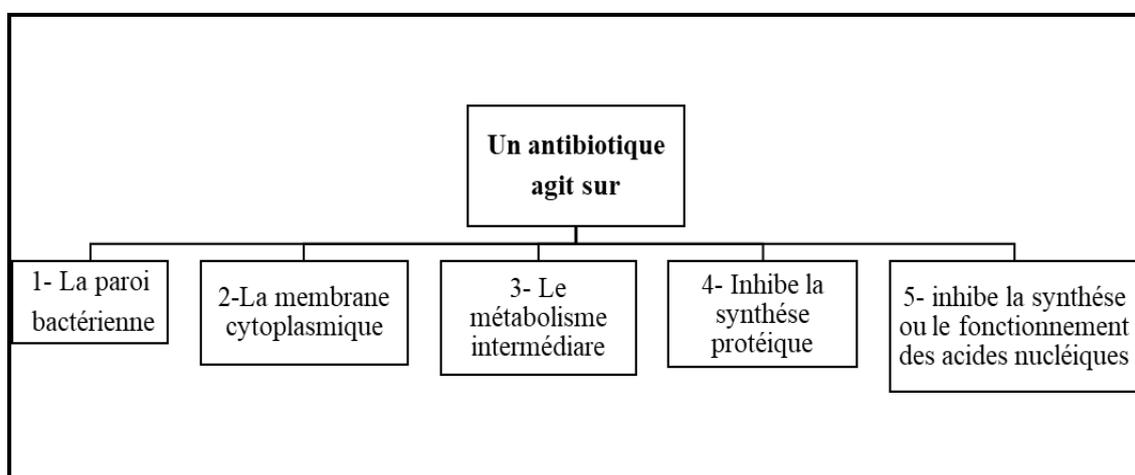


Figure n° 01. Schéma démontrant les cibles d'un antibiotique dans la cellule bactérienne

I.1. Mécanismes de résistance des bactéries aux antibiotiques

On dit d'un micro-organisme qu'il est résistant à l'égard d'un antibiotique, lorsque la concentration inhibitrice minimale d'un antibiotique est plus élevée par rapport à celle qui inhibe le développement de la majorité des autres souches de la même espèce. Génétiquement cette résistance peut se définir par la présence des gènes de résistance aux substances des antibiotiques (**Guillot, 1989 ; Carle, 2009**). Pour que les bactéries puissent résister aux différents antibiotiques elles adoptent un ensemble de mécanisme comme une sorte de défense (fig. 02).

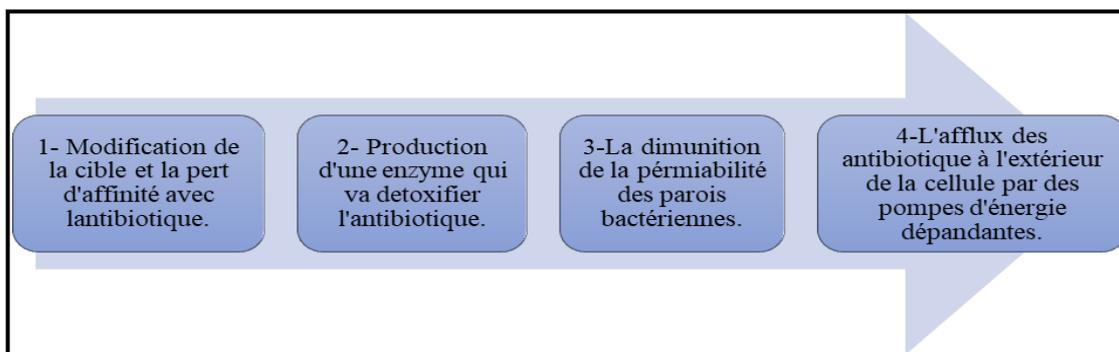


Figure n°02. Mécanismes de résistance aux antibiotiques adaptés par la cellule bactérienne.

I.2. Présentation des bactéries appartenant aux souches traitées dans le travail

- *Escherichia coli*

Des bacilles à gram négatif, qui appartient à la famille des entérobactéries, non sporulé. *E.coli* est une espèce de bactérie aéro-anaérobie facultative qui apparaît sous forme de bâtonnets mesurant de 2 à 6 μm de long sur 1,1 à 1,5 μm de large, lorsqu'elle est observée au microscope optique. Elle démontre une grande versatilité en ce qui concerne son adaptation aux conditions environnementales ainsi qu'aux différents hôtes. (Hubert, B. 2013), (Sabri, M. 2008).

- *Bacillus cereus*

C'est un bacille aéro-anaérobie facultatif à Gram positif volumineux qui mesure de 1 à 8 μm de diamètre avec une longueur de 4 à 8 μm (fig.4) et cette bactérie est considérée comme pathogène et elle est résistante aux traitements thermiques grâce à sa capacité de produire des endospores. C'est un micro-organisme omniprésent, facilement cultivable et manipulable. Dans la nature, il occupe essentiellement le sol, les racines végétales et l'environnement aquatique (Martinez, 2001 ; Bottone, 2010 ; Guérin, 2016).

- *Pseudomonas aeruginosa*

C'est un bacille aérobie strict à Gram négatif et hydrotellurique ubiquitaire de 1 à 3 μm de long et 0,5 à 1 μm de large (fig.4) et qui produit des pigments bleus et verts, sa capacité à accepter les transferts génétiques explique sa résistance aux antibiotiques. C'est une

bactérie opportuniste et virulente qui est à l'origine de plusieurs infections, elle possède des facteurs de virulence jouent un rôle important dans sa résistance aux traitements. **(Biquand, 2017).**

- *Salmonella enterica*

Elle appartient à la famille des entérobactéries, c'est une bactérie non sporule de type aéro-anaérobie facultatif, elle est de gram négatif, mésophile, ces bâtonnets sont de 2 à 3µm de long (fig.4), **(David, J.2009).**

- *Staphylococcus aureus*

C'est un Cocci à Gram positif, aéro-anaérobie facultative non exigeante, regroupé en amas (fig.4), caractérisé par une résistance importante en milieu extérieur grâce à sa capacité de former des capsules, c'est une bactérie facilement cultivable qui possède des caractéristiques biochimiques catalase positive, oxydase négative, mannitol positif et coagulase positive **(Ballet, 2020).**

- *Candida albicans*

C'est une levure pathogène, cosmopolite qui mesure de 3 à 15µm (fig.4), aérobie et elle ne possède ni de capsule ni de pigment. Une caractéristique remarquable pour cette levure est sa capacité à se développer sous différentes formes morphologiques. **(Lagane, C. 2007 ; Plain, A, 2006).**

II. Activité antimicrobienne des extraits des plantes

Les plantes médicinales sont des plantes qui synthétisent des substances qui peuvent être utilisées à des fins thérapeutiques **(Sofowora, et al., 2015).** Cependant, des extraits purifiés et des composants issus des plantes sont utilisés dans la fabrication de nombreux médicaments **(Eto, 2018).** Les extraits des plantes sont des mélanges complexes de composés qui sont largement reconnus pour leur potentiel en tant que sources de composés chimiques ayant des activités biologiques importantes telles que l'anti-oxydation,

l'antibiose, l'antiviral, l'anticancéreux, l'antiparasitaire, l'antifongique (Armendáriz-Barragá et al., 2016).

Plusieurs études ont montré l'utilisation, *in vitro*, des extraits des plantes appartenant à différentes familles botaniques pour évaluer leur effet antimicrobien à l'exemple :

- Dans les plantes de la famille des Poacées, les extraits n-butanol et méthanol de *Ampelodesma Mauritanica* du parc national de EL Kala en Algérie, ont démontré une activité antibactérienne et antifongique vis-à-vis les micro-organismes qui ont été testés (Toudert, et al., 2009), l'activité antibactérienne des extraits de *Pennisetum polystachion* du Sénégal a été observée contre les bactéries à Gram positif *Enterococcus faecalis* et *Staphylococcus aureus* ainsi que contre les Gram négatif *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa* (Niass, et al., 2015). Les extraits de *Echinochloa pyramidalis* récoltée dans la région de Lubumbashi (Congo) ont révélés à leur tour une activité antimicrobienne contre *Neisseria meningitidis*, *Salmonella typhi*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pneumoniae*, *Candida albicans* et *Trichophyton rubrum* (Bashige, et al., 2020).

- Au niveau des plantes de la famille des Lamiacées, l'évaluation de l'activité antimicrobienne, *in vitro*, des extraits de *Rosmarinus officinalis* de la wilaya de Jijel a montré une bonne que l'espèce est très active sur *Candida albicans*, *Candida glabrata*, *Candida tropicalis* et *Candida kruse* et *Streptococcus pneumoniae* (Akroum, 2020). De plus, les extrait des huiles essentielles de *Lavandula angustifolia* récolté dans la région de Provence-Alpes-Côte d'azur ont inhibé la croissance d'*Escherichia coli* et de *Staphylococcus aureus* (Kaloustian, et al., 2007). Ainsi, l'activité antimicrobienne des extraits de *Thymus vulgaris* de la wilaya de Batna, est importante vis-à-vis les souches : *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Escherichia coli*. (Yakhlef, et al., 2011).

- Pour les plantes de la famille des Oléacées, l'extrait de *Nyctanthes arbortristis* a montré une activité antibactérienne vis-à-vis les souches *Staphylococcus aureus*, *Micrococcus luteus*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, et *Pseudomonas aeruginosa* et une activité antifongique contre *Candida albicans* et *Aspergillus niger* (Vats et al., 2009), L'extrait de *Jasminum grandiflorum* L. a

donné une forte activité inhibitrice contre *Proteus vulgaris grandiflorum* (Mahmudur et al., 2014).

- Enfin, dans les plantes de la famille de Fabacées nous pouvons citer le cas de *Mucuna pruriens* qui a présenté une activité inhibitrice sur la croissance de *Bacillus pumillus*, *Escherichia* et *Vibrio cholerae* tel qu'il a été rapporté par Rajeshwar et al. (2005). Une grande sensibilité de *Salmonella enteridis*, et *Streptococcus pyogenes* vis-à-vis les des extraits des différentes parties de *Crotalaria bernieri Baill* (Andriamampianina et al., 2016). L'activité de *Médicago sativa* est élevée contre les bactéries Gram-positives telles que *Bacillus cereus*, *B. subtilis*, *Staphylococcus aureus* et *Enterococcus faecalis*. Une activité antifongique légère a également été observée, principalement contre *Saccharomyces cerevisiae* (Bora et al., 2010). *Canidada albicans* est sensible à l'extrait éthanolique et aqueux des écorces de *Cassia alata* tandis que *S.aureus* est sensible à l'extrait éthanolique et aqueux des feuillettes de cette plante (Somchit et al., 2003). De cette dernière famille, l'espèce *Ceratonia siliqua* L. qui a fait l'objet de notre travail.

II.1. Présentation de l'espèce *Ceratonia siliqua* L.

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) fait partie de la famille des Fabacées, est un arbre à feuilles persistantes. Il est originaire d'Asie occidentale, après il a été domestiqué dans toute la Méditerranée, la côte Ouest de l'Amérique et la côte Ouest des Etats-Unis, l'Afrique du Sud et le sud de l'Australie (Benmahioul et al. 2016). Selon ces dernier, le caroubier est une espèce héliophile et thermophile qui résiste très bien à la sécheresse mais résiste moins bien au froid. C'est un arbre facile à cultiver dans les zones arides et semi-arides, c'est une espèce agro-sylvo-pastorale d'un grand intérêt socio-économique et écologique en raison de ses propriétés d'adaptation aux conditions hydriques limitées (Bouaziz et al. 2015).

En ce qui concerne les caractéristiques de l'arbre, le caroubier est toujours vert et il présente une cime très étendue qui peut atteindre une hauteur de 8 à 17 mètres et un diamètre de 85 cm. Il peut vivre jusqu'à 200 ans. Les feuilles sont paripennées, ce qui signifie qu'elles sont composées de 2 à 6 folioles ovales ou elliptiques (Sbay., 2017). Les gousses sont brunes,

ridées et coriaces à maturité. La pulpe se compose d'une couche externe coriace (péricarpe) et d'une couche interne plus molle (mésocarpe). Les graines sont situées latéralement dans la gousse et séparées par le mésocarpe (**Batlle, 1997**).

II.2. Utilité de *Ceratonia siliqua* L.

Parmi les propriétés attribuées au caroubier, on peut citer son potentiel anti-inflammatoire, antimicrobien, anti-diarrhéique, antioxydant et anti-constipation (**Rtibi et al., 2017**). Le caroubier possède une large gamme d'activité biologique due à sa richesse en métabolites secondaires tels que les composés phénoliques, flavonoïdes et les tanins qui sont des molécules biologiquement actives utilisés comme des substances inhibitrices, antioxydantes, anti-allergènes, antimicrobienne, antivirales et même anticancérigènes et qui protègent la plante contre les infections, insectes et les herbivores tout de même contre les attaques fongiques et bactérienne (**Sallouh, et Nouioui., 2019**).

D'après **Rtibia, et al. (2017)**, les différents extraits (n-hexane, méthanolique, d'acétate d'éthyle et aqueux) du caroubier ont révélé un pouvoir antibactérien contre *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Staphylococcus épidermoïdes*. Les résultats de l'activité antimicrobienne, *in vitro*, de *Ceratonia siliqua* L. a démontré que les extraits méthanoliques des gousses possèdent un effet inhibiteur contre des bactéries à Gram-négatives *Proteus* sp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* et *Enterococcus* sp. ainsi que celles de Gram-positives *Lactobacillus* sp. Et *Staphylococcus aureus* (**Razik et al., 2012**). De plus, une action inhibitrice sur les bactéries *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteritidis*, *Brochothrix thermosphacta*, *Staphylococcus aureus* et *Pseudomonas fragi* a été observé avec les extraits de la caroube (**Tassou et al., 1997**).

Matériels et Méthodes

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'activité antimicrobienne de huit extraits éthanoliques, extraits à partir de différentes parties, de *Ceratonia siliqua* L. vis-à-vis cinq souches bactériennes et une levure et de déterminer leurs concentrations minimales inhibitrices. L'ensemble de ces tests ont été effectués au niveau de laboratoire d'analyse des produits agro-alimentaires, cosmétiques et hygiènes corporelles Eurl LABO IDRES dans le cadre d'un stage d'une durée de 30 jours.

I. Matériels

I.1. Matériels biologiques

I.1.1. Végétal

Le matériel végétal utilisé correspond à huit extraits récupérés à partir de différentes parties de la plante *Ceratonia siliqua* L. (Le caroubier) (Tab. I), ces parties ont été récoltées dans la région de Béjaia, nettoyées et séchées puis broyées en poudre qui est utilisée dans la préparation des extraits éthanoliques (fig.03), ces derniers sont employés dans le protocole de l'évaluation de l'activité antimicrobienne.



Figure n° 03. Les différentes parties utilisées de la plante *Ceratonia siliqua* L.

Tableau I. Correspondances des numéros des extraits aux parties de la plante utilisées.

N° d'extrait	Partie d'extraction
EXTR 01	Rameaux
EXTR 02	Graines
EXTR 03	Feuilles endommagées
EXTR 04	Gousses jeunes
EXTR 05	Gosses matures 1
EXTR 06	Gosses matures 2
EXTR 07	Feuilles 1
EXTR 08	Feuilles 2

I.1.2. Souches bactériennes (Pathogènes)

Les souches bactériennes de référence que nous avons utilisées sont présentés ci-dessus (Tab. II).

Tableau II. Caractéristiques des souches bactériennes et la levure testées.

Espèce microbienne	Code génétique (Référence)	Morphologie et le Gram	Période et T° d'incubation
<i>Escherichia coli</i>	ATCC = 8739	Coccobacille à Gram négatif	24h à 37°C
<i>Staphylococcus aureus</i>	ATCC = 6538	Coque à Gram positif	24h à 37°C
<i>Bacillus cereus</i>	ATCC = 6633	Bacille à Gram positif	24h à 37°C
<i>Salmonella enterica</i>	ATCC = 14028	Bacille Gram négatif	24h à 37°C
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	ATCC = 9027	Bacille à Gram négatif	24h à 37°C
<i>Candida albicans</i>	ATCC = 10231	/	48h à 30°C

I.2. Matériels non biologiques

Le tableau suivant présente l'ensemble du matériel utilisé dans notre travail (Tab. III).

Tableau III. Matériels et équipement du laboratoire utilisés durant la pratique.

Solvants	Milieux de cultures	Appareillage	Verreries et ustensiles
-Solution de Chlorure de Sodium (NaCl) stérile - l'eau distillée, - l'eau de javel, - l'alcool à 98%, - la base NaOH, - l'acide HCl.	- La gélose de Mueller-Hinton - La gélose Sabouraud dextrose agar additionné de 2% de glucose.	- Autoclave, - Vortex, - l'étuve, - pH mètre, - spectrophotomètre, - balance électronique, - la hotte, - Poupinel (four pasteur).	-Pipettes Pasteur, - Micropipettes, - Boîtes de pétri, - Ecouvillons, - Bec bunsen, - Tubes à essai stériles, - Papier Whatman N°3, - Cuves, - pissette d'eau, - portoir, - pince, - embouts de micropipette, - fiole jaugée(500ml), - flacons secs de 250ml et 500ml, - entonnoir, - pipette graduée - perforateur de papier

La sensibilité de certaines bactéries vis-vis des antibiotiques a été évaluée dans les deux techniques (Tab. IV).

Tableau IV. La liste des ATB utilisé dans cette étude.

La souche bactérienne	L'antibiotique testé
<i>Escherichia coli</i> ATCC = 8739	Ticarcilline
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC = 6538	Pristinamycine
<i>Salmonella enterica</i> ATCC = 14028	Ticarcilline
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC = 9027	Ticarcilline

II. Méthodes

Pour l'évaluation de l'activité antimicrobienne de nos extraits, nous avons réalisé des antibiogrammes avec la méthode de diffusion sur gélose en utilisant deux techniques à savoir la technique des disques et celle des puits. Cette méthode est utilisée principalement pour étudier l'aptitude des substances à produire des effets antibactériens vis-à-vis des bactéries testées (**Khebichat, 2013**).

II.1. Evaluation de l'activité antimicrobienne

Cinq souches de bactéries ont été testées pour étudier l'activité antibactérienne et une souche de levure a été testée pour évaluer l'activité antifongique (Tab. IV).

II.1.1. Evaluation de l'activité antibactérienne

A. Préparation des géloses Muller Hinton (GMH)

Conçu en 1941 par J. Howard Muller et Jane Hinton, la gélose Mueller-Hinton est le milieu de culture le plus recommandé pour les antibiogrammes par diffusion en gélose qui ont pour but d'étudier la sensibilité de la plupart des bactéries. (**Leysour de rohelo, 2020**).

Nous avons préparé la GMH en utilisant le milieu sous forme déshydraté selon les étapes suivante :

- Pour préparer 1L de la gélose Muller Hinton on a dissous 38gramme de la poudre de GMH dans un 1L de l'eau distillée.
- Après agitation de l'eau distillée et la GMH, on contrôle à l'aide d'un pHmètre la stabilité de ce mélange à un pH= 7, 3 puis on le chauffe jusqu'à ébullition.
- Nous avons versé le bouillon dans des flacons secs qui sont stérilisés par la suite dans un l'autoclave à 121°C pendant 15min. Après leurs refroidissements à une température de 45°C, nous avons versé le milieu GMH dans des boites de pétries d'un diamètre de 90mm sous la hotte en faisant sorte d'obtenir une épaisseur homogène de la gélose de 4 à 5mm (fig.04).

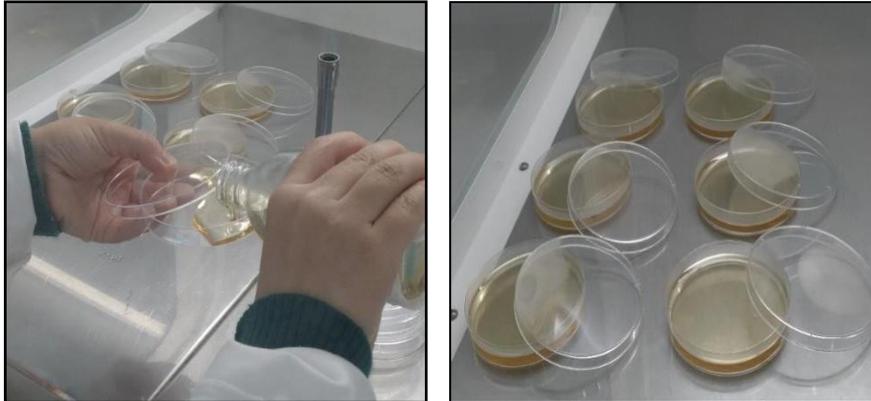


Figure n° 04. Coulage des boîtes pétri avec le bouillon de GMH

- Les boîtes qui contiennent les deux géloses doivent être mises à température ambiante pour être gelées avant d'êtreensemencées avec la bactérie à tester.

B. Préparation de l'inoculum

B.1. Préparation de la solution NaCl à 0.85%

- Pour préparer la solution saline de NaCl à 0.90% nous avons dissout 4,25 g de la poudre NaCl dans 500 ml de l'eau distillée, le pH de la solution est ajusté à pH= 7 ($\pm 0,2$).
- La solution préparée est versée dans un flacon de 500ml qui est mis à une stérilisation dans un autoclave à 121°C pendant 15min.

B.2. Préparation de la solution bactérienne

- Dans cette étape on note bien qu'il est nécessaire d'obtenir un inoculum dont la turbidité est identique à l'étalon 0,5 de la gamme de McFarland ce qui correspond à une valeur de $1 \text{ à } 2 \times 10^8$ UFC/ml pour les bactéries pour une DO = 0,08 à 0,1 à une longueur de $\lambda = 625$ nm. Les valeurs des DO obtenus, pour les solutions bactériennes que nous avons préparées, sont présentées dans le tableau V.

Tableau V. Les DO des solutions bactériennes préparées.

La souche	DO blanc	DO échantillon
<i>Escherichia coli</i> ATCC = 8739	0,93	0,080
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC = 9027	0,113	0,091
<i>Salmonella enterica</i> ATCC = 14028	0,124	0,098
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC = 6538	0,123	0,091
<i>Bacillus cereus</i> ATCC = 6633	0,128	0,087

▪ Pour préparer la solution bactérienne, nous avons prélevé à partir des boîtes de repiquage (fig.05), des colonies jeunes en utilisant une pipete pasteur puis nous les avons dilué dans des tubes contenant 10ml de la solution de chlorure de sodium à 0.90%. Nous avons mélangé la solution à l'aide d'un vortex pour une meilleure homogénéité.

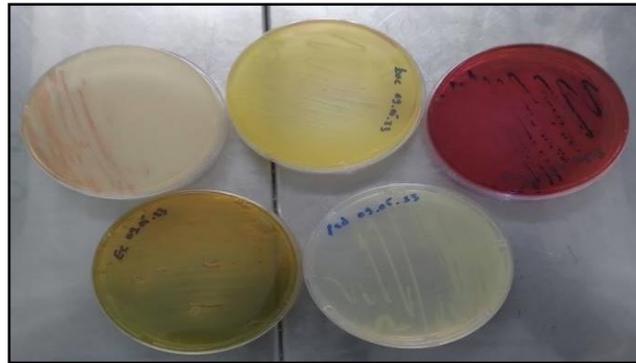


Figure n° 05. Boîtes de repiquage des bactéries à tester.

II.1.2. L'évaluation de l'activité antifongique

A. Préparation de la gélose Sabouraud dextrose agar additionné de 2% de glucose

La gélose de Sabouraud dextrose agar additionné de 2% de glucose favorise la croissance des levures et des moisissures, c'est pour cela on l'emploie dans les tests de sensibilité des levures.

Dans ce travail, nous avons utilisé des flacons de Sabouraud dextrose agar additionné de 2% de glucose prêt à l'emploi stérilisé qu'on a mis dans un bain marie (fig.06) pour les faire fondre afin de les couler dans des boîtes pétries à une épaisseur de la gélose de 4 à 5mm.

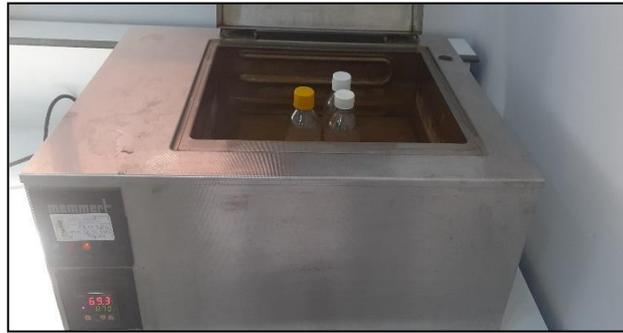


Figure n° 06. Flacons de la gélose Sabouraud misent dans un bain marie.

B. Préparation de la solution fongique

Des jeunes colonies d'une culture fongique de *Candida albicans* ont été prélevées avec une pipete pasteur puis diluées dans 10 ml de la solution de NaCl à 0,90% en faisant sorte d'obtenir aussi un inoculum dont la turbidité est identique à l'étalon 0,5 de la gamme de McFarland ce qui correspond à une DO = 0,12 à 0,15 sur une longueur d'onde de $\lambda = 530$ nm (Tab. VI).

Tableau VI. La D.O de la solution fongique.

La souche	DO blanc	DO échantillon
<i>Candida albicans</i> ATCC = 10231	0,83	0,146

II.1.3. Ensemencement des boîtes pétri

Après refroidissement des boites de pétri contenant le milieu de culture, nous les avonsensemencé avec l'inoculum en plongeant un écouvillon en coton dans la suspension bactérienne, par stries serrées en 3 étalements en tournant la boîte à environ 60° après chaque étalement, puis on termine en écouvillonnant autour des bords de la surface de la gélose (fig.07).

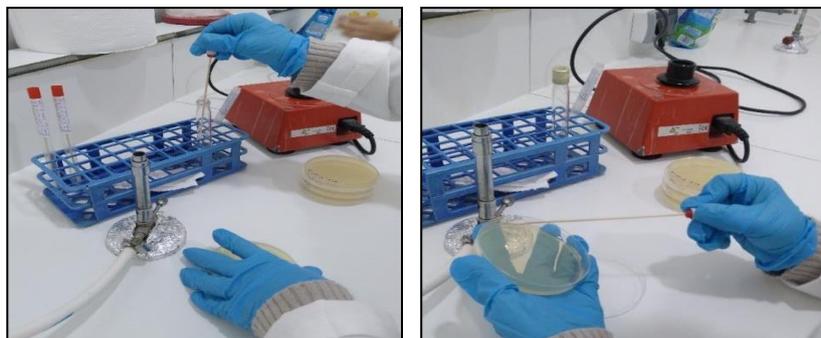


Figure n° 07. Ensemencement par stries serrées des boîtes pétri.

II.2. Méthodes de diffusion sur gélose

II.2.1. La méthode de diffusion sur gélose avec des disques imprégnés

Cette méthode consiste à préparer premièrement des disques de papier Whatman n° 3 avec un diamètre de 6 mm à l'aide d'un perforateur de papier (fig.08), et les stériliser dans un autoclave à une température de 121°C pendant 15min.



Figure n° 08. Réalisation des disques de papier Whatman n° 3.

Avec une micropipette, 100µl de chaque extrait sont prélevés et versés sur les disques stérilisés, après le séchage de ces derniers, ils seront imbibés une deuxième puis une troisième fois par le même volume de l'extrait (fig.09).



Figure n° 09. Disques du papier Whatman imprégnés avec les extraits éthanoliques de *Ceratonia siliqua* L.

Un disque imprégné de l'éthanol comme un témoin positif a été ajouté, et aussi avec un disque d'antibiotique, pour certaines bactéries, afin de tester leurs sensibilités envers ces ATB. (Voir Tab. IV).

En utilisant une pince stérile on dépose sur la surface de milieu inoculé de la boîte pétri de premier essai deux disques imprégnés d'extrait et un disque imprégné d'alcool, et dans la

boite de 2^{ème} essai deux disques imprégnés d'extrait et un disque imprégné d'alcool en rajoutant le disque d'antibiotique sur la surface de milieu inoculé (Fig.10), ensuite on incube les boites à 37 °C pendant 24h pour les bactéries et à 30°C pendant 48h pour la levure.



Figure n° 10. Dépôt des disques sur la gélose des boites de pétri inoculées.

II.2.2. La méthode de diffusion sur gélose avec des puits

Pour la méthode des puits, après le séchage des boites pétriensemencées avec les bactéries et la levure, nous avons réalisé à l'aide d'un embout stérile des puits de 2mm de profondeur dans l'épaisseur de la gélose (fig.11). Les puits formés sont remplis en utilisant une micropipette avec 5 à 10 µl de chaque extrait, en ajoutant pour la boîte de deuxième essai un disque d'ATB.

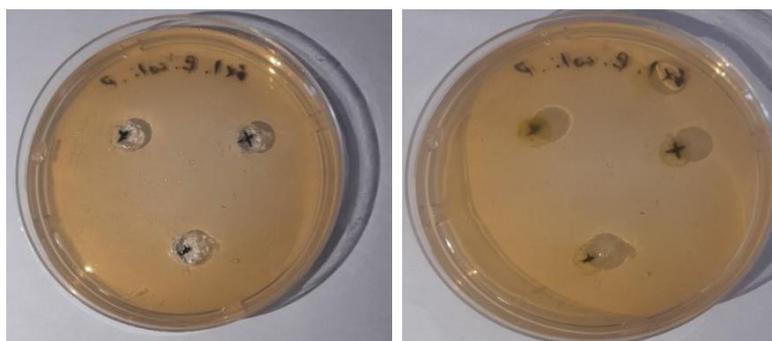


Figure n° 11. Réalisation et remplissage des puits.

Les boites de pétries issues des deux méthodes utilisées sont incubées à 37°C pendant 24h pour les bactéries et à 30°C pendant 48h pour la levure.

La mesure des diamètres des zones d'inhibition apparues, dans les deux techniques, est effectuée à l'aide d'une règle. La mesure des diamètres nous permet de déduire l'activité antibactérienne et antifongiques des extraits testés (**Boulou et al., 2011**)

II.3. Concentration minimale inhibitrice (CMI)

La CMI d'un extrait correspond à sa plus faible concentration qui, dans des conditions de contrôle strictes, inhibe complètement, *in vitro*, la croissance visible à l'œil nu d'une souche bactérienne (**Kowalska-Krochmal et al., 2021**)

Pour l'évaluation de la CMI, nous avons adopté la méthode de Micro-dilutions sur milieu solide, cette technique est recommandée par le Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) pour l'étude de sensibilité des bactéries aux agents antibactériens (**Esmail et al., 2015**), la méthode consiste à réaliser des séries de dilutions selon une progression géométrique de 1/2 en différentes concentrations des extraits à étudier (**Sifour et al., 2023**), (**Klotoe et al., 2014**), puis les incorporées dans les milieux de culture standard choisis pour l'étude et y déposer ensuite sur ces géloses des spots d'une solution bactérienne d'un germe choisi (**Esmail et al., 2015**).

Uniquement la CMI des quatre extraits ayant un effet antibactérien, chez toutes les bactéries testées, a été évaluée, il s'agit de l'extrait 03, l'extrait 04, l'extrait 07 et l'extrait 08.

II.3.1. Préparation des dilutions successives

Des dilutions successives des quatre extraits avec une progression géométrique de 1/2 ont été réalisées selon le tableau suivant (Tab. VII). Dans ce dernier sont présentées aussi les concentrations qui correspondent à chaque dilution.

Tableau VII. Dilutions successives réalisées sur les extraits et les concentrations qui leurs correspondent.

Solution mère (Extrait)	Dilution 1/2 (D1)	Dilution 1/4 (D2)	Dilution 1/8 (D3)
100ml pour chaque extrait éthanolique	50ml de l'extrait + 50ml de l'eau distillée	50ml de D1 + 50ml de l'eau distillée	50ml de D2 + 50ml de distillée
$2,5 \cdot 10^{-2}$ mg/ml	$1,25 \cdot 10^{-2}$ mg/ml	$0,625 \cdot 10^{-2}$ mg/ml	$0,3125 \cdot 10^{-2}$ mg/ml

II.3.2. Préparation des solutions bactériennes

A. Préparation des boîtes de pétri

On prépare des tubes à essai qui contient 19mL de milieu gélosé GMH, après stérilisation, à 121°C pendant 15min, et refroidissement on leurs ajoute 1mL de chaque dilution réalisée pour chaque extrait. Après une bonne agitation on verse le mélange d'une façon rapide dans la boîte de Pétri et on les laisse se solidifier (Fig.12).

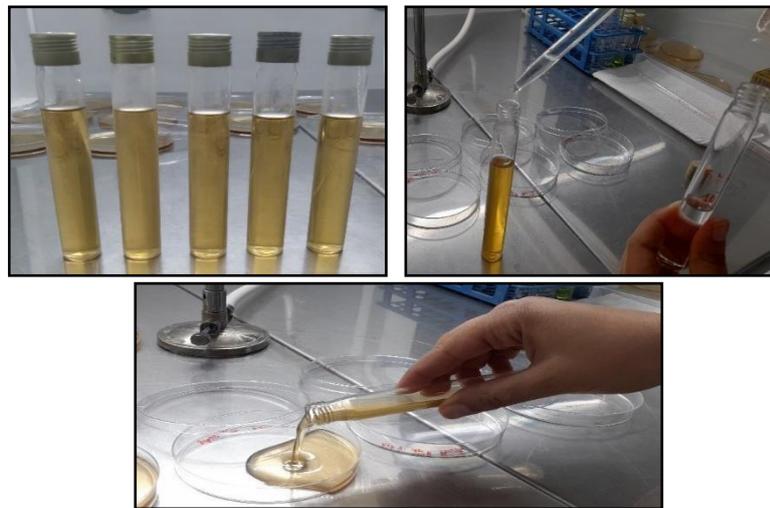


Figure n° 12. Incorporation des dilutions des extraits avec la GMH.

Des témoins négatifs sont également réalisés et cela en incorporant 1ml de l'eau stérilisé à 19ml de la gélose Muller-Hinton. Après refroidissement de milieu de culture, on met à l'aide d'une micropipette sur la surface des gélases qui contiennent les différentes concentrations des extraits, des spots de 2 μ L d'un inoculum à $1-2 \times 10^8$ UFC/ml pour les bactéries ce qui correspond à une DO = 0,08 à $0,1/\lambda = 625$ nm) (Tab. VIII)

Tableau VIII. Les D.O des solutions bactériennes de l'évaluation de la CMI.

La souche	DO blanc	DO échantillon
<i>Escherichia coli</i> ATCC = 8739	0,133	0,084
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC = 9027	0,205	0,083
<i>Salmonella enterica</i> ATCC = 14028	0,163	0,094
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC = 6538	0,158	0,090
<i>Bacillus cereus</i> ATCC = 6633	0,125	0,080

Les boîtes sont ensuite incubées pendant 18h à 24h à 37°C, puis la CMI de l'extrait est déterminée à partir de la première boîte de pétri dépourvue de croissance microbienne visible à l'œil nu (Esmail et al., 2015).

Résultats et discussion

Afin de mettre en évidence le pouvoir antibactérien et antifongique de nos huit extraits éthanoliques de la plante médicinale *Ceratonia siliqua* L., nous avons effectué un ensemble d'antibiogrammes en diffusion sur un milieu gélosé (Muller Hinton) en réalisant deux méthodes (les disques et les puits).

Pour ce faire, cinq souches bactériennes référenciées ont été testées il s'agit de *Escherichia coli* (N°ATCC = 8739), *Pseudomonas aeruginosa* (N°ATCC = 9027), *Salmonella enterica* (N°ATCC = 14028), *Staphylococcus aureus* (N°ATCC = 6538) et *Bacillus cereus* (N°ATCC = 6633) et aussi une levure qui correspond à *Candida albicans* (N°ATCC = 10231).

Nos résultats de l'activité antimicrobienne sont exprimés selon l'échelle rapporté par (Moreira, 2005) en calculant le diamètre de la zone d'inhibition (\emptyset ZI) comme le suivant : Non sensible si \emptyset ZI \leq 8 mm, sensible si $9 \text{ mm} \leq \emptyset$ ZI \leq 14 mm, très sensible si $15 \text{ mm} \leq \emptyset$ ZI \leq 19 mm et extrêmement sensible si \emptyset ZI \geq 20 mm.

Ensuite la concentration minimale inhibitrice (CMI) des extraits qui présentaient un fort effet inhibiteur est déduite avec la méthode de la micro-dilution sur milieu solide.

I. Résultats de l'activité antibactérienne

Après incubation des bactéries à 37°C pendant 24h nous avons obtenu des résultats qui sont synthétisés dans les tableaux et les figures ci-dessous.

I.1. Résultats de la sensibilité d' *Escherichia coli* (N°ATCC = 8739)

Les résultats de la sensibilité d'*Escherichia coli* vis-à-vis les huit extraits de *Ceratonia siliqua* L., ont montré des zones d'inhibition avec différents diamètres pour quelques extraits selon la méthode utilisée (Tab. IX), (fig.13).

Tableau. IX. Diamètres moyens des zones d'inhibition d'*Escherichia coli* obtenus avec la méthode des disques et les puits.

EXTRAITS	\bar{X} des diamètres des puits	\bar{X} des diamètres des disques
EXTR 1	15±2,8	14,25 ±1,5
EXTR 2	0	0
EXTR 3	0	14,5±1,2
EXTR 4	16,1±2,6	12,25±2,2
EXTR 5	0	0
EXTR 6	0	0
EXTR 7	17,1±0,75	15,75±0,5
EXTR 8	11,16±2,7	12,5±1,9

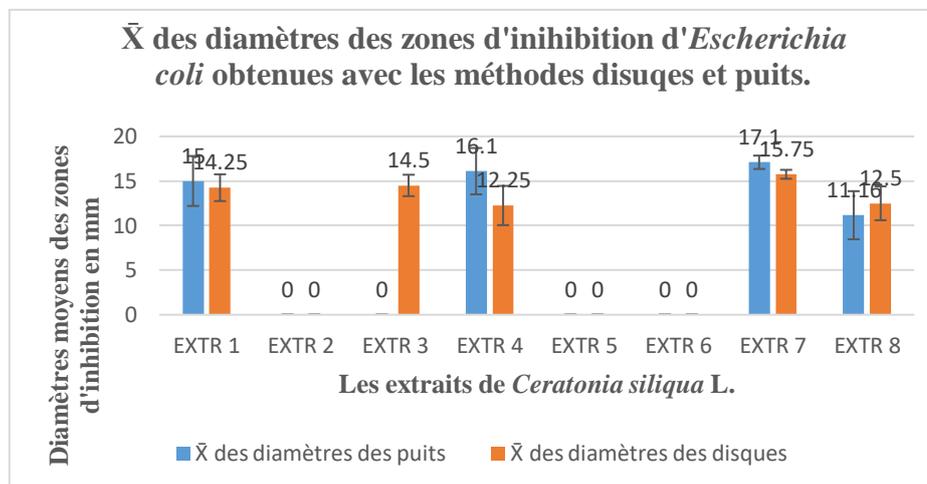


Figure n°13. Représentation en histogramme des diamètres moyens des zones d'inhibition d'*Escherichia coli* obtenus avec la méthode des disques et les puits.

D'après le tableau IX, nous avons constaté que dans les résultats obtenus, en utilisant la méthode des disques (fig.14), les zones d'inhibition des extraits 1, 3, 4, 7 et 8 ont été observées, avec des diamètres moyens de 14,25 mm ($\pm 1,5$), 14,5 mm ($\pm 1,2$), 12,25 mm ($\pm 2,2$), 15,75 mm ($\pm 0,5$) et 12,5 mm ($\pm 1,9$) respectivement, contrairement à la méthode des puits dans laquelle nous avons noté des zones d'inhibition seulement pour les extraits 1, 4, 7 et 8 avec des diamètres moyens de 15 mm ($\pm 2,8$), 16,1 mm ($\pm 2,6$), 17,1 mm ($\pm 0,75$) et 11,16 mm ($\pm 2,7$) respectivement pour chaque extrait. Le disque d'antibiotique Ticarcilline a révélé des zones d'inhibitions avec un diamètre moyen de 30 mm.

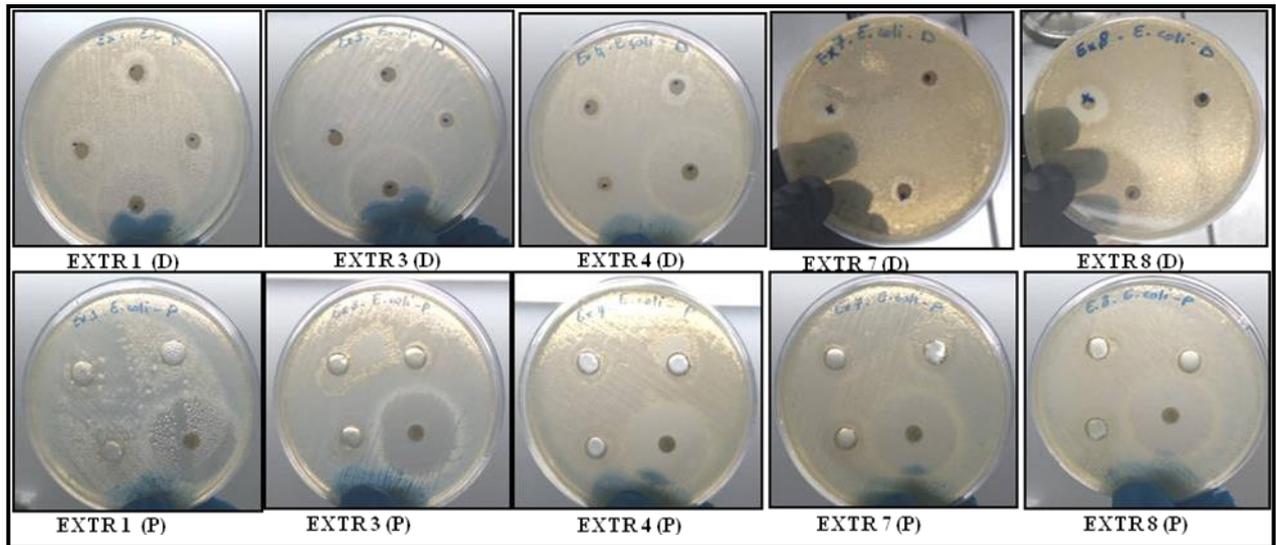


Figure n°14. Zones d'inhibition apparues avec des disques et des puits des extraits de *Ceratonia siliqua* L. sur *Escherichia coli*.

En résumé, le pouvoir antibactérien le plus élevé a été enregistré par les extraits 7, 1 et 3 dans la méthode des disques et les extraits 4 et 7 dans la méthode des puits. En effet, l'expression des résultats selon l'échelle rapporté par (Moreira, 2005) la souche *Escherichia coli* est très sensible à l'extrait 7 et elle est sensible aux autres extraits.

I.2. Résultats de la sensibilité de *Pseudomonas aeruginosa* (N°ATCC = 9027)

En ce qui concerne la bactérie *Pseudomonas aeruginosa*, d'après les résultats présentés dans le tableau X, nous avons remarqué des zones d'inhibition qui se sont mieux développées avec les disques imprégnés des extraits 3, 4, 7 et 8, d'un diamètre moyen de 8,25 mm ($\pm 0,5$), 7,75 mm ($\pm 0,9$), 10 mm ($\pm 1,4$) et 7,25 mm ($\pm 0,9$) respectivement (fig.15).

Tableau X. Diamètres moyens des zones d'inhibition de *Pseudomonas aeruginosa* obtenus avec la méthode des disques et la méthode des puits.

EXTRAITS	\bar{X} des diamètres des puits (mm)	\bar{X} des diamètres des disques (mm)
EXTR 1	0	0
EXTR 2	0	0
EXTR 3	17,6±2,1	8,25±0,5
EXTR 4	16,3±0,8	7,75±0,9
EXTR 5	0	0
EXTR 6	0	0
EXTR 7	17,66±0,8	10±1,4
EXTR 8	15±2,6	7,25±0,9

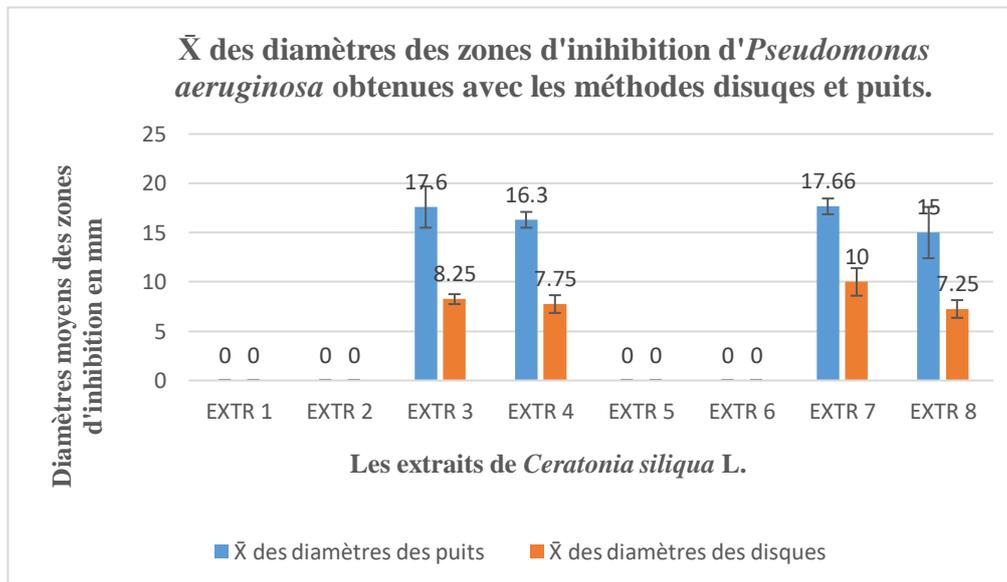


Figure n°15. Représentation en histogramme des diamètres moyens des zones d'inhibition de *Pseudomonas aeruginosa* obtenus avec la méthode des disques et la méthode des puits.

Les résultats de la méthode des puits (Tab. X), ont indiqué que les diamètres moyens des zones obtenues pour les mêmes extraits précédents étaient de 17,6 mm ($\pm 2,1$), 16,3 mm ($\pm 0,8$), 17,66 mm ($\pm 0,8$) et 15 mm ($\pm 2,6$) en ordre pour chaque extrait (fig.16). De plus, le disque d'antibiotique Ticarcilline a fourni le diamètre moyen de 26,5mm $\pm 2,1$.

Selon l'échelle rapporté par (Moreira, 2005), la sensibilité de la croissance de *Pseudomonas aeruginosa*, aux extraits de *Ceratonia siliqua* L., cités en haut, est apparue dans les résultats de la méthode des puits. En effet, elle très sensible à l'extrait 7 et sensible aux

extraits 3,4 et 8 dans la méthode des disques et à l'extrait 7 et 8 dans la méthode des puits. Néanmoins, dans les résultats de cette dernière la souche, l'extrait 3 n'a aucun effet sur la croissance de la souche en question.

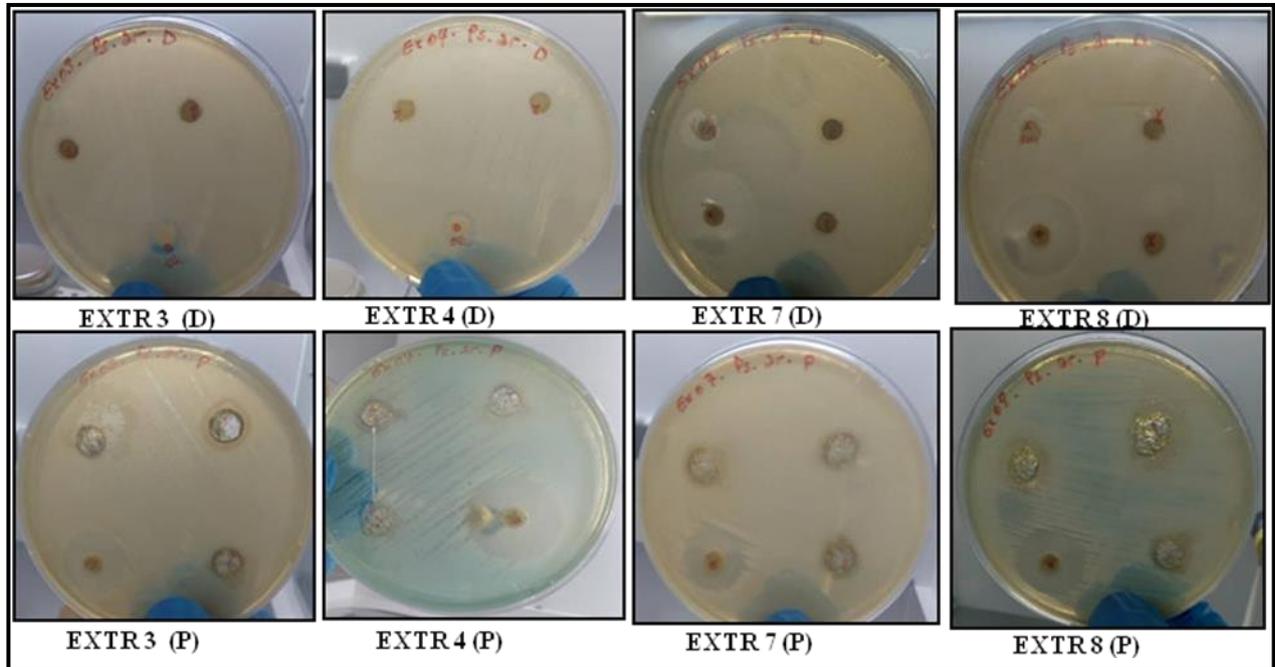


Figure n° 16. Zones d'inhibition apparues avec des disques et des puits des extraits (3,4,7,8) de *Ceratonia siliqua* L. sur *Pseudomonas aeruginosa*.

I.3. Résultats de la sensibilité de *Salmonella enterica* (N°ATCC = 14028)

Les résultats mentionnés dans le tableau XI indiquent que les extraits 3, 4, 7 et 8 ont montré un pouvoir antibactérien vis-à-vis la souche *Salmonella enterica* en donnant par la méthode des disques des halos d'inhibition (fig.17) d'un diamètre moyens de 8,75mm ($\pm 0,9$), 8mm (± 0), 10,75mm ($\pm 0,9$) et 9,75mm ($\pm 0,5$) en ordre pour chaque extrait, et en utilisant la méthode des puits des zones d'inhibition, un peu plus élevée aux premières, d'un diamètre moyen de 12,5mm ($\pm 1,3$), 11,1 mm ($\pm 1,7$), 14,3mm (± 1) et 14mm ($\pm 2,3$) respectivement.

La sensibilité de *Salmonella enterica* à la Ticarcilline a été mesurée avec un diamètre moyen de 27,5mm ($\pm 0,7$)

Tableau XI. Diamètres moyens des zones d'inhibition de *Salmonella enterica* obtenus avec la méthode des disques et la méthode des puits.

EXTRAITS	\bar{X} des diamètres des puits (mm)	\bar{X} des diamètres des disques (mm)
EXTR 1	0	0
EXTR 2	0	0
EXTR 3	12,5±1,3	8,75±0,9
EXTR 4	11,1±1,7	8±0
EXTR 5	0	0
EXTR 6	0	0
EXTR 7	14,3±1	10,75±0,9
EXTR 8	14±2,3	9,75±0,5

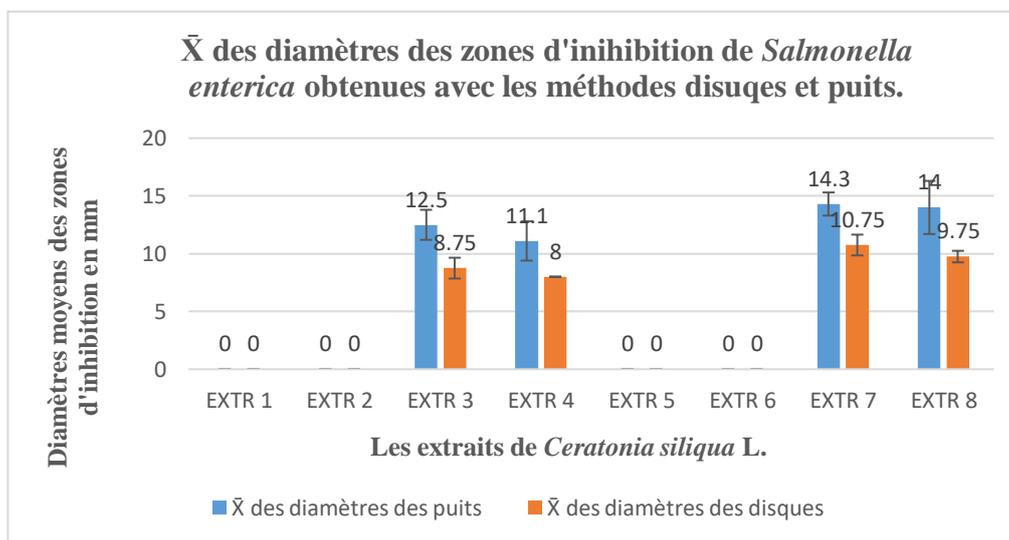


Figure n°17. Représentation en histogramme des diamètres moyens des zones d'inhibition de *Salmonella enterica* obtenus avec la méthode des disques et la méthode des puits.

L'application de l'échelle rapporté par (Moreira, 2005) sur les résultats obtenus dans l'activité antibactérienne des huit extraits vis-à-vis *Salmonella enterica* nous a permis de déduire que la souche en question est sensible aux quatre extraits qui ont présenté des zones d'inhibition positives. (fig.18)

Cependant, l'extrait 7 a exprimé le diamètre d'inhibition le plus élevé par la méthode des puits, de plus il a développé la zone la plus étendue, par rapport aux autres, parla méthode des disques.

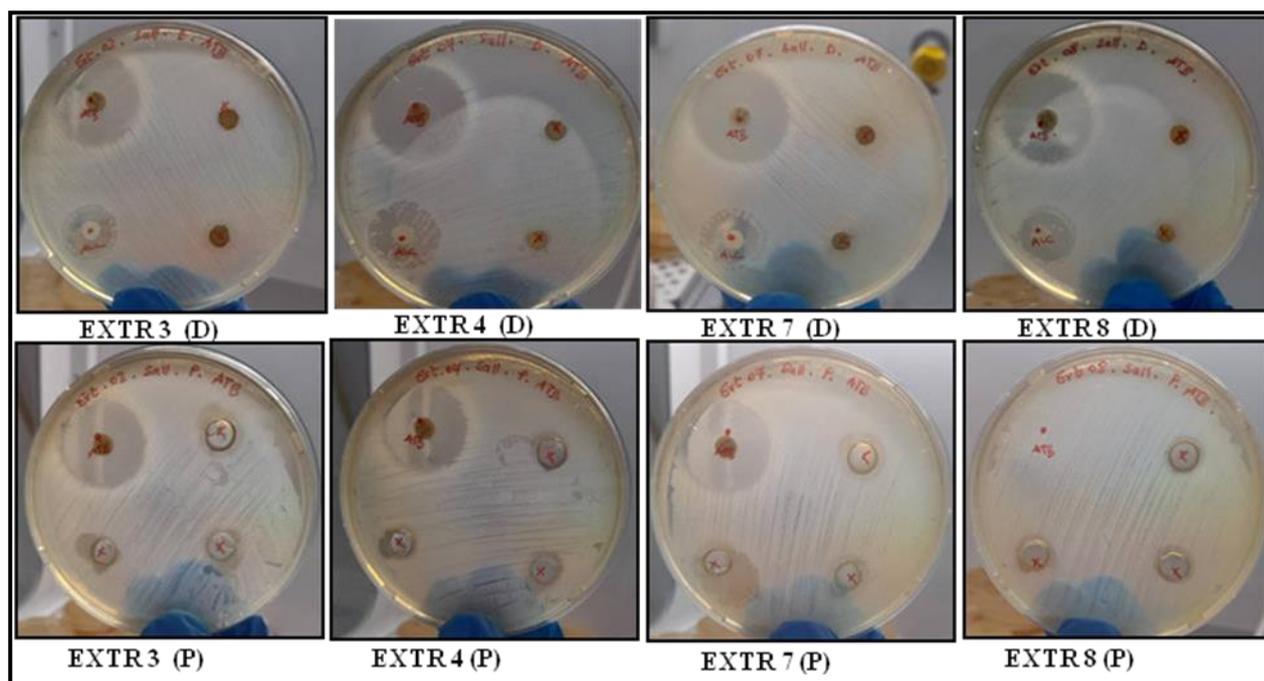


Figure n° 18. Zones d'inhibition apparues avec des disques et des puits des extraits (3,4,7,8) de *Ceratonia siliqua* L. sur *Salmonella enterica*.

I.4. Résultats de la sensibilité de *Staphylococcus aureus* (N°ATCC = 6538)

En analysant l'antibiogramme de la souche *Staphylococcus aureus* dont les résultats sont synthétisés dans le tableau XII, et représentés dans la figure n°19, nous avons constaté, qu'avec la méthode des puits, les zones d'inhibition sont observées dans tous les puits, excepté celui qui est remplis par l'extrait 6. Les diamètres moyens mesurés sont 11,83mm ($\pm 0,9$) et 12,66mm ($\pm 1,2$), 12,83mm ($\pm 1,3$), 13,83mm ($\pm 2,8$) respectivement pour les extraits 1, 2, 3 et 4. Et ils sont de 10,16mm ($\pm 1,1$), 14,16mm ($\pm 1,3$) et 13,5mm ($\pm 1,7$) en ordre pour les extraits 6, 7 et 8. (fig. 20)

Néanmoins, avec la méthode des disques on aperçoit des zones d'inhibition seulement avec les extraits 3, 4, 7 et 8 où nous avons mesuré des diamètres moyens de 8,5mm ($\pm 0,5$), 8,75mm ($\pm 1,8$), 10,75mm ($\pm 1,7$) et 8,25mm ($\pm 1,5$) respectivement. (fig.20)

Tableau XII. Diamètres moyens des zones d'inhibition de *Staphylococcus aureus* obtenus avec la méthode des disques et la méthode des puits.

EXTRAITS	\bar{X} des diamètres des puits (mm)	\bar{X} des diamètres des disques (mm)
EXTR 1	11,83±0,9	0
EXTR 2	12,66±1,2	0
EXTR 3	12,83±1,3	8,5±0,5
EXTR 4	13,83 ±2,8	8,75±1,8
EXTR 5	0	0
EXTR 6	10,16±1,1	0
EXTR 7	14,16±1,3	10,75±1,7
EXTR 8	13,5±1,7	8,25±1,5

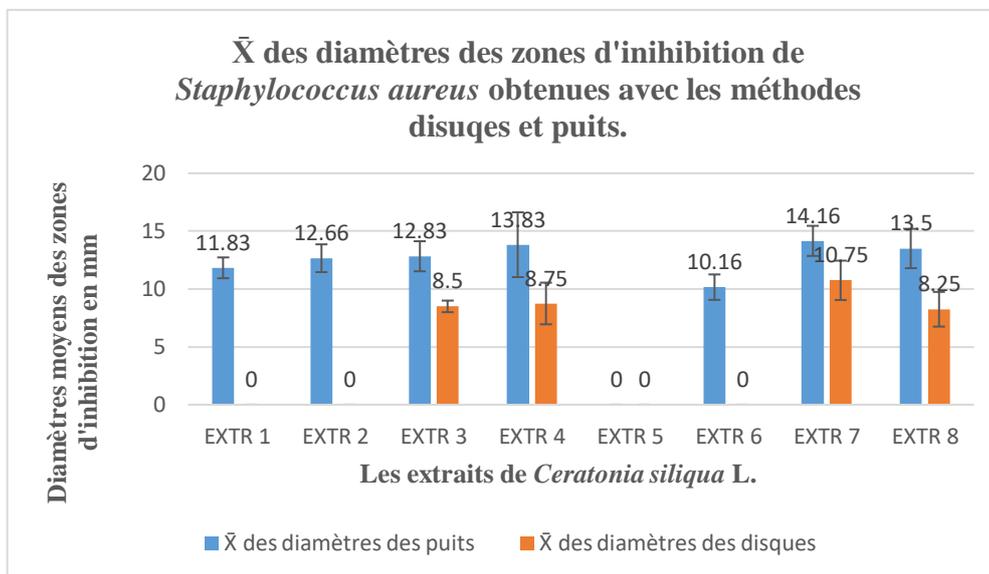


Figure n°19. Représentation en histogramme des diamètres moyens des zones d'inhibition de *Staphylococcus aureus* obtenus avec la méthode des disques et la méthode des puits.

Les disques d'antibiotiques de Pristinamycine testés ont développé des zones d'inhibition avec un diamètre moyen de 31,5mm ($\pm 1,3$).

Selon l'échelle rapporté par (Moreira, 2005), la méthode des puits est la meilleure pour l'expression de l'activité de six (1,2,3,4,7,8) extraits sur les huit testés, pour inhiber la croissance de *Staphylococcus aureus*. De plus, la souche est sensible aux extraits 3,4 et 7 lorsque l'activité est exprimée par la méthode des disques. Cependant, l'extrait 8 malgré la zone d'inhibition qu'il a développée il ne peut pas inhiber complètement la croissance de *Staphylococcus aureus* d'après l'échelle indiquée par (Moreira, 2005).

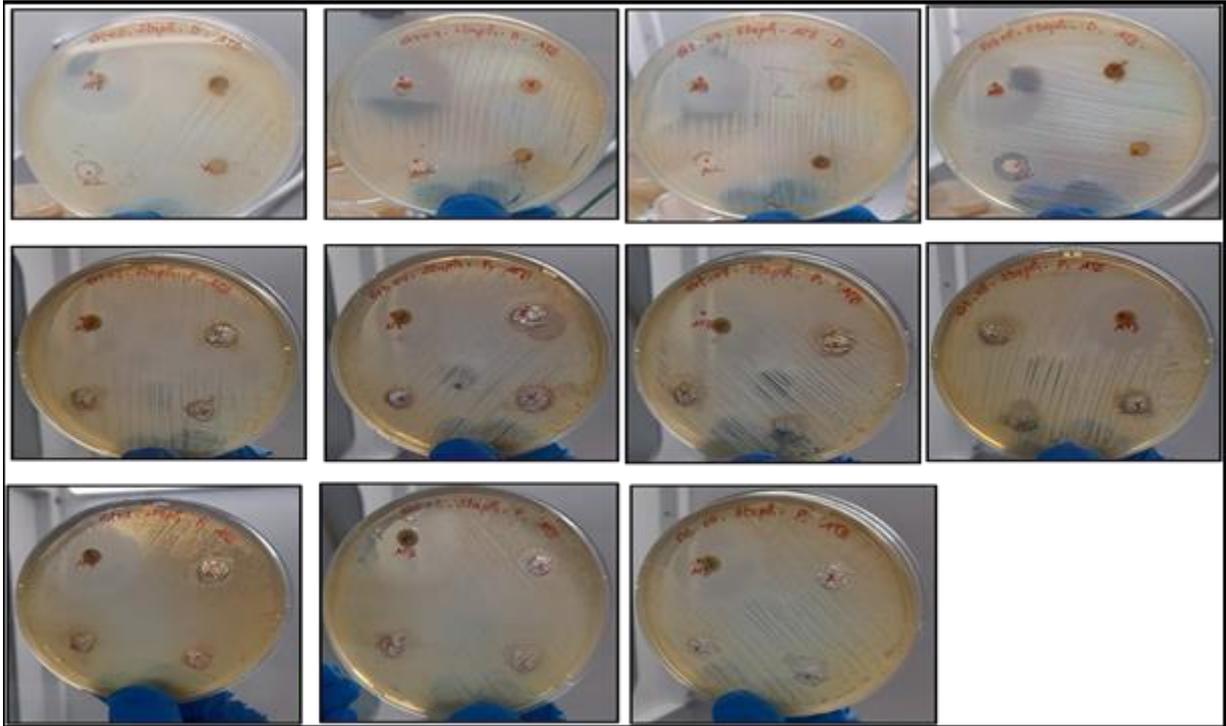


Figure n° 20. Zones d'inhibition apparues avec des disques et des puits des extraits (1,2,3,4,6,7 et 8) de *Ceratonia siliqua* L. sur *Staphylococcus aureus*.

I.5. Résultats de la sensibilité de *Bacillus cereus* (Réf N°ATCC = 6633)

Différemment des autres souches, *Bacillus cereus* a montré uniquement une sensibilité aux deux extraits (7 et 8) (fig.21).

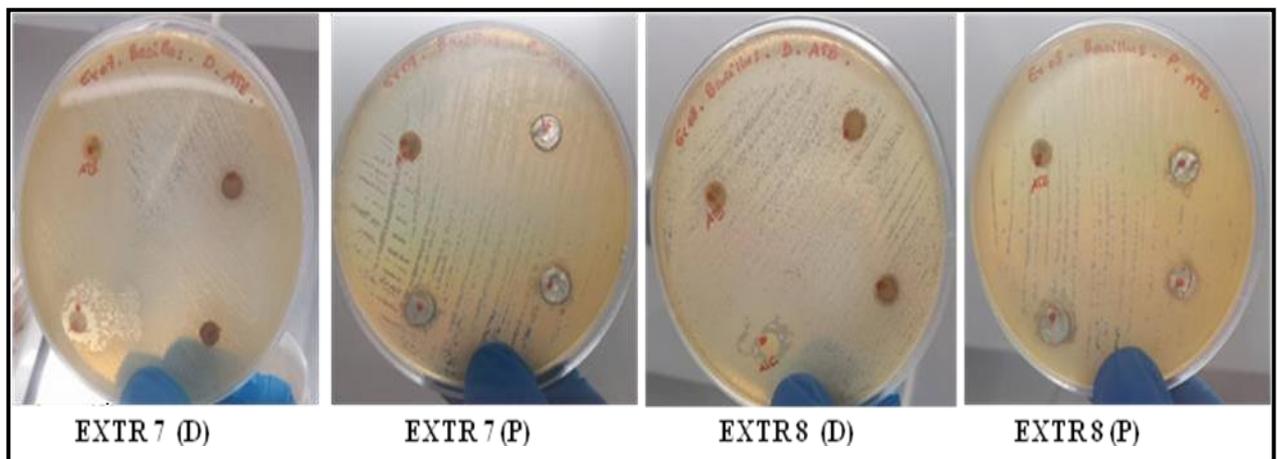


Figure n° 21. Zones d'inhibition apparues avec des disques et des puits des extraits (7,8) de *Ceratonia siliqua* L. sur *Bacillus cereus*.

Les zones d'inhibition développées par les extraits 7 et 8 contre la croissance de *Bacillus cereus* sont respectivement d'un diamètre moyen de 11,1 mm ($\pm 2,4$) et 15,1 mm ($\pm 2,9$) (Tab. XIII) avec la méthode des puits, et de 10,75mm ($\pm 2,7$) et 8,25mm ($\pm 1,7$) respectivement en utilisant celle des disques (Tab. XIII), (fig.22).

Tableau XIII. Diamètres moyens des zones d'inhibition de *Bacillus cereus* obtenus avec la méthode des disques et la méthode des puits.

EXTRAITS	\bar{X} des diamètres des puits (mm)	\bar{X} des diamètres des disques (mm)
EXTR 1	0	0
EXTR 2	0	0
EXTR 3	0	0
EXTR 4	0	0
EXTR 5	0	0
EXTR 6	0	0
EXTR 7	11,1 $\pm 2,4$	10,75 $\pm 2,7$
EXTR 8	15,1 $\pm 2,9$	8,25 $\pm 1,7$

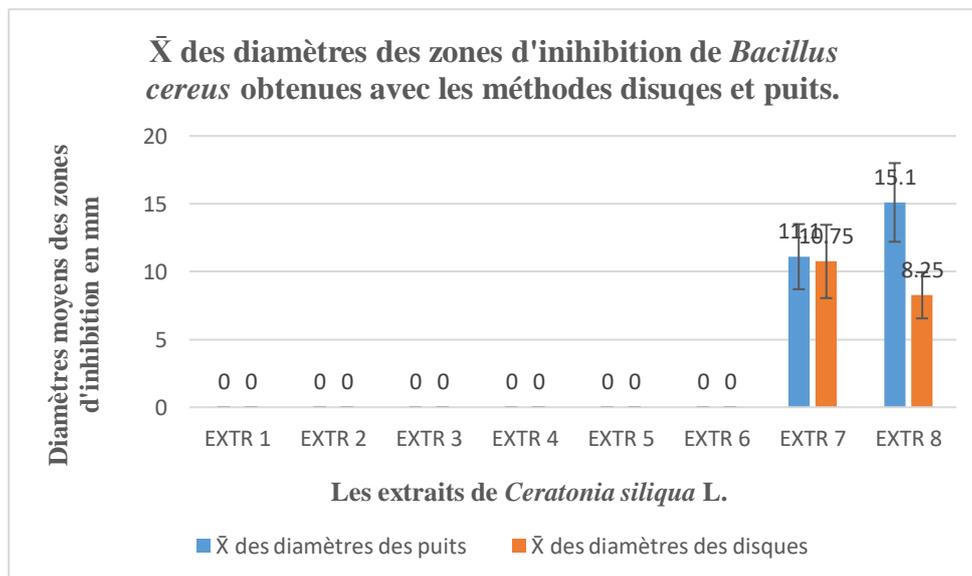


Figure n°22. Représentation en histogramme des diamètres moyens des zones d'inhibition de *Bacillus cereus* obtenus avec la méthode des disques et la méthode des puits.

Les résultats de l'activité antibactérienne suivant l'échelle que (Moreira, 2005) a rapporté, indiquent que la souche *Bacillus cereus* est sensible en présence des disques de l'extrait 7 et des puits de l'extrait 8.

Cependant, pour cette souche c'est l'extrait 7 qui a exprimé le diamètre d'inhibition le plus élevé par la méthode des disques, et c'est lui-même qui a enregistré la faible zone d'inhibition par la méthode des puits.

II. Résultats de l'activité antifongique

L'activité antifongique des huit extraits de *Ceratonia siliqua* L. a été évaluée sur la levure *Candida albicans* (Réf N° ATCC = 10231), après son incubation à 30°C pendant 24h aucun résultat n'a été noté (Tab. XIV), (fig.23), en remarquant l'absence des zones d'inhibition dans les deux méthodes utilisées et avec tous les extraits testés et en constatant une croissance normale de la levure (fig. 24).

Tableau XIV. Diamètres moyens des zones d'inhibition de *Candida albicans* obtenus avec la méthode des disques et la méthode des puits.

EXTRAITS	\bar{X} des diamètres des puits (mm)	\bar{X} des diamètres des disques (mm)
EXTR 1	0	0
EXTR 2	0	0
EXTR 3	0	0
EXTR 4	0	0
EXTR 5	0	0
EXTR 6	0	0
EXTR 7	0	0
EXTR 8	0	0

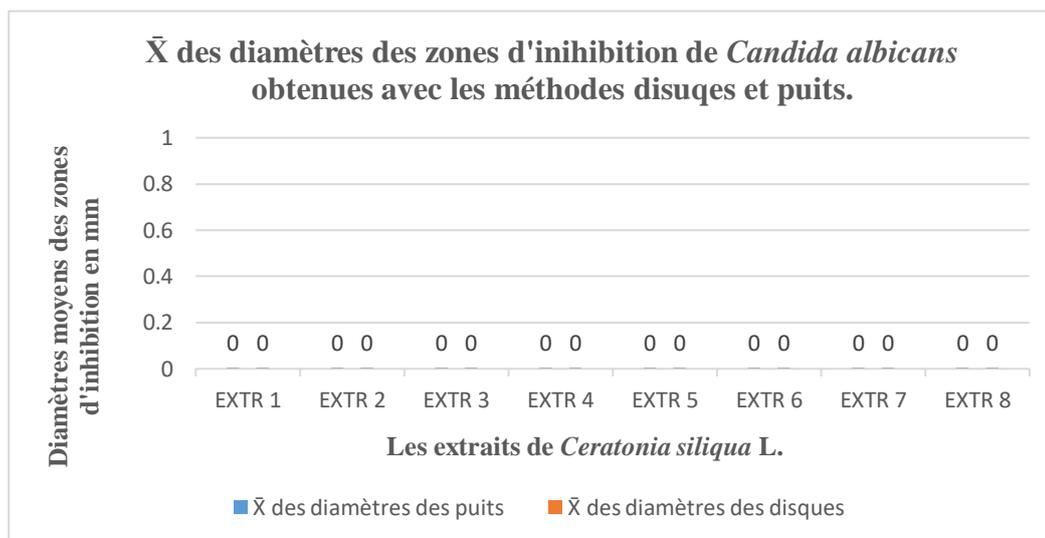


Figure n°23. Représentation en histogramme diamètres moyens des zones d'inhibition de *Candida albicans* obtenus avec la méthode des disques et la méthode des puits.

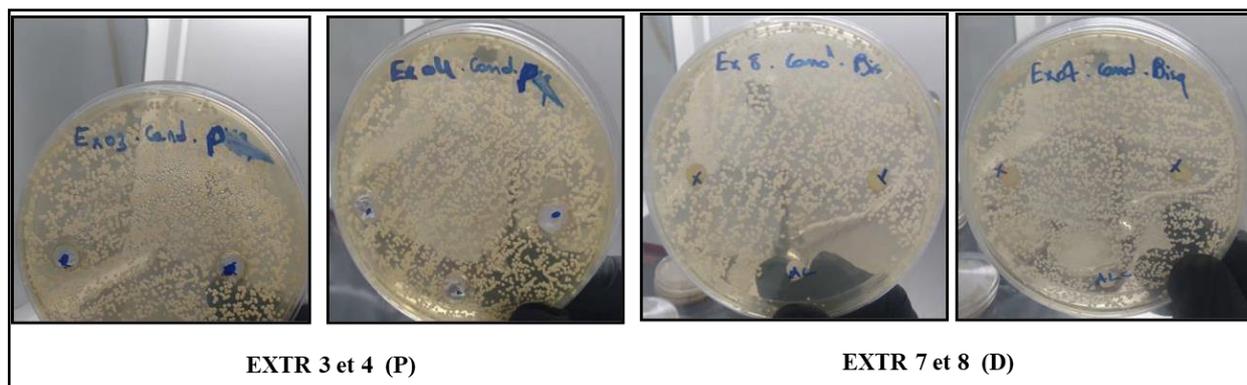


Figure n° 24. Résultats de l'activité antifongique obtenus des extraits 3, 4, 7 et 8 sur *Candida albicans* (avec la méthode des puits et des disques).

III. Résultats de la concentration minimale inhibitrice (CMI) activité

Pour ce test, nous avons considéré uniquement les extraits de *Ceratonia siliqua* L. qui ont développé des zones d'inhibition dans toutes les souches que nous avons testé qui sont les extraits 3, 4, 7 et 8.

Dans les résultats de la mise en évidence de la concentration minimale inhibitrice (CMI) des quatre extraits, sus cités, seulement *Pseudomonas aeruginosa* et *Bacillus cereus* qui ont montré une sensibilité à l'ensemble des dilutions successives réalisées pour chaque extrait, les résultats obtenus pour ces deux souches sont présentés dans le tableau XV.

Tableau XV. Résultats de la CMI obtenu pour *Pseudomonas aeruginosa* et *Bacillus cereus*.

La souche	Extrait	La dilution de la CMI	CMI en mg/ml
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (ATCC = 9027)	EXTR 3	1/2	$1,25.10^{-2}$
	EXTR 4	1/8	$0,3125.10^{-2}$
	EXTR 7	1/2	$1,25.10^{-2}$
	EXTR 8	1/8	$0,3125.10^{-2}$
<i>Bacillus cereus</i> (ATCC = 6633)	EXTR 7	1/4	$0,625.10^{-2}$
	EXTR 8	1/2	$1,25.10^{-2}$

Comme l'indiquent les résultats du tableau XV, *Pseudomonas aeruginosa* a révélé sa sensibilité à la dilution 1/2 des extraits 3 et 7 avec une CMI de $1,25.10^{-2}$ mg/ml et à la dilution 1/8 des extraits 4 et 8 à une CMI de $0,3125.10^{-2}$ mg/ml. En revanche, la dilution 1/4 de l'extrait 7 et la dilution 1/2 de l'extrait 8 inhibent la croissance bactérienne de *Bacillus cereus* à des CMI de $0,625.10^{-2}$ mg/ml et $1,25.10^{-2}$ mg/ml respectivement. (fig. 25) (fig. 26)

Alors que *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* et *Staphylococcus aureus* ont présenté une résistance à toutes les dilutions (1/2, 1/4 et 1/8) des quatre extraits (3, 4, 7 et 8) en donnant une croissance bactérienne visible à l'œil nu dans les boîtes pétri testées.

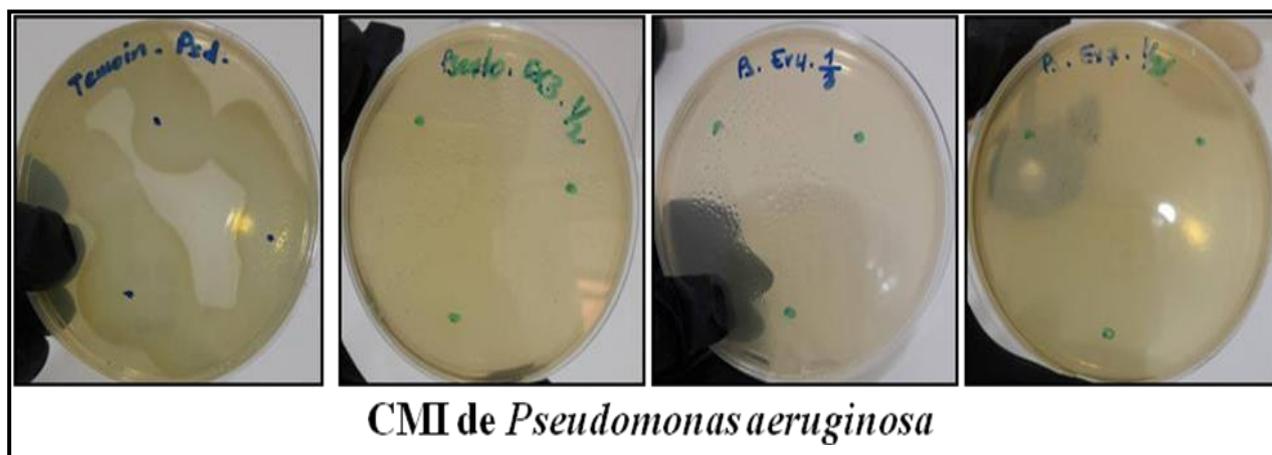


Figure n° 25. Résultats du Témoin et la CMI des extraits 3, 4, 7 et 8 évaluée sur *Pseudomonas aeruginosa*

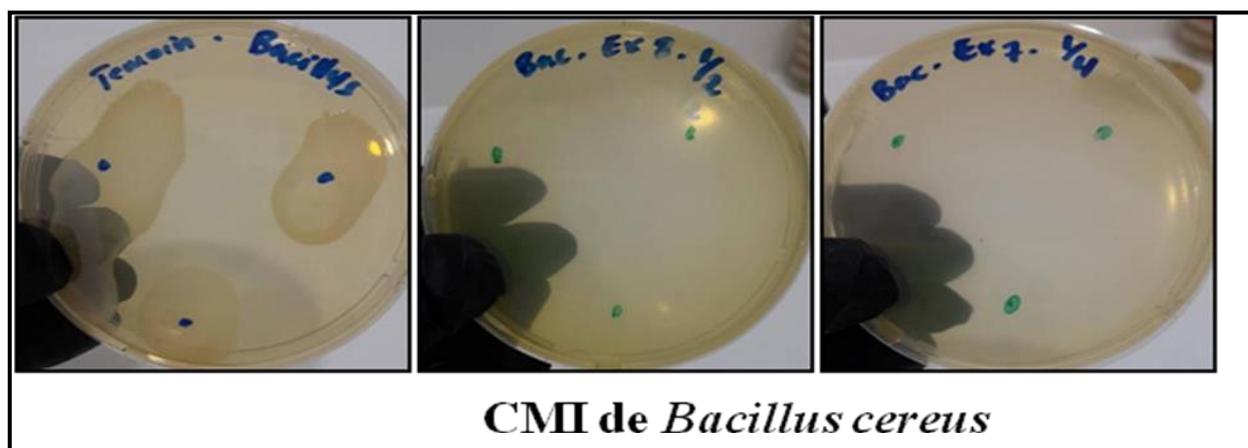


Figure n° 26. Résultats du Témoin et de la CMI des extraits 7 et 8 évaluée sur *Bacillus cereus*

IV. Discussion des résultats

À travers ce travail et nos recherches, nous avons pu montrer l'effet biologique de certains extraits préparés à partir des différentes parties de la plante médicinale *Ceratonia siliqua* L. Une forte activité antibactérienne était observée chez les cinq souches testées, en particulier avec les extraits qui ont été préparés à partir des feuilles (EXTR 3, EXTR 7, EXTR 8) et les gousses jeunes (EXTR 4) de *Ceratonia siliqua* L. et en notant aussi une faible activité pour l'extrait à base des rameaux de cette plante.

La souche *Escherichia coli* (ATCC = 8739) se révèle être la bactérie la plus sensible aux extraits de cette plante, en démontrant des zones d'inhibition avec six extraits (EXTR 1, EXTR 3, EXTR 4, EXTR 7 et EXTR 8), quant à *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC = 9027), *Salmonella enterica* (ATCC = 14028) et *Staphylococcus aureus* (ATCC = 6538), ces bactéries présentaient des zones d'inhibition uniquement avec les extraits des feuilles et ceux des jeunes gousses du caroubier. Contrairement à *Bacillus cereus* (ATCC = 6633), l'effet était présent seulement avec deux extraits (EXTR 7 et EXTR 8). En cherchant les concentrations minimales inhibitrices des extraits (EXTR 3, EXTR 4, EXTR 7 et EXTR 8) qui ont eu un effet inhibiteur majoritaire chez les cinq souches testées, nous avons constaté la sensibilité de *Pseudomonas aeruginosa* aux dilutions successives des quatre extraits et de *Bacillus cereus* aux dilutions des deux derniers extraits.

Nos résultats sont en accord à ceux obtenus par **Tabet (2014)** qui a mis en évidence la grande sensibilité de deux souches pathogènes de *Escherichia coli* (ATCC 25922 et ATCC 8739) vis-à-vis l'extrait aqueux de caroube de la région de Mostaganem avec des zones d'inhibition de 17mm et 15mm de diamètre et des CMI de 0.85 mg/ml et 0.98 mg/ml en ordre pour chaque souche, ainsi que *Staphylococcus aureus*(ATCC 33862 et ATCC 25923) avec des diamètres de 13mm et 12mm et des CMI= 2 mg/ml et CMI=2,5 mg/ml respectivement, suivie par *Bacillus cereus* (ATCC 14579 et ATCC 11778) avec des diamètres égales à 14mm et 10mm et des CMI de 1,5 mg/ml et 2,90 mg/ml par ordre, en prouvant ainsi la synthèse de **Ghanemi et al. (2021)** qui ont démontré la sensibilité de *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Bacillus cereus* aux polyphénols présents dans les feuilles de *Ceratonia siliqua* L. avec une CMI de 0,022mg/ml, 0,0025ml/ml et 0,011mg/ml respectivement pour chaque germe.

De plus, l'effet antibactérien de trois concentrations des extraits aqueux et alcooliques de *Ceratonia siliqua* L. sur des différentes espèces d'*Escherichia coli*, a été relevé dans l'analyse d'**Abdulkareem et al. (2020)**. Cependant, **Aydın et al. (2021)** ont observé que l'effet inhibiteur puissant de l'extrait de la caroube de la province de Mersin en Turquie sur *Escherichia coli* disparaît lorsque la concentration de l'extrait est réduite chaque fois à sa moitié.

L'étude de **Kivçak et al. (2002)**, sur les différents extraits (n-hexane, méthanol, éthanol, l'acétate d'éthyle et des extraits aqueux) des feuilles de *Ceratonia siliqua* L., de la région de Izmir (Turquie) a rapporté l'effet inhibiteur de ces derniers sur plusieurs bactéries notamment sur quelques souches de référence de *Escherichia coli* et de *Staphylococcus aureus*, et en cherchant l'activité antimicrobienne de *Lantago major* et *Ceratonia siliqua* **Monjd Abd Razik et al., (2012)** ont pu observer une forte sensibilité de plusieurs micro-organismes aux extraits méthanoïques des fruits de caroubier y compris *Staphylococcus aureus* qui est sensible à un rang de concentration qui va de 500-1000 mg/ml, *Pseudomonas aeruginosa* de 125- 1000 mg/ml et *Escherichia coli* de 500-1000 mg/ml, ce qui convient conformément aux résultats de **Fidan et al. (2018)** sur la composition chimique et les propriétés antibactériennes et antioxydantes des produits issus du caroubier de la province de Mersin et le miel du févier d'Amérique (*G. triacanthos*), où ils ont constaté un pouvoir antibactérien de l'extrait de la caroube sur des bactéries testées, en obtenant des zones d'inhibition avec des diamètres de 10mm pour *Salmonella enterica*, de 13mm pour *Staphylococcus aureus*, et de 12mm pour *Escherichia coli*.

Un autre travail réalisé par **Hussein et al. (2011)** sur l'effet antioxydant, antifongique et antibactérien de l'infusion des feuilles de caroubier de l'Égypte, qui montre l'inhibition de la croissance de *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* et *Bacillus cereus* après l'ajout de l'infusion préparée avec les feuilles de caroubier à leurs milieux de cultures. De leur côté, **Benmansour, et al. (2020)** ont évalué l'activité antimicrobienne, *in vitro* des extraits aqueux et méthanoïques des graines du caroubier de la wilaya de Bejaia, et ils ont constaté un effet inhibiteur moyen de l'extrait méthanoïque vis-à-vis *Escherichia coli* ($\text{ØZI} = 13\text{mm}$), *Staphylococcus aureus* ($\text{ØZI} = 12\text{mm}$) et *Pseudomonas aeruginosa* ($\text{ØZI} = 12\text{mm}$), et avec l'extrait aqueux toutes les bactéries citées ont montré un diamètre de 9mm. En revanche *Candida albicans* a révélé une sensibilité importante à l'extrait aqueux des graines du caroubier.

L'activité antifongique des extraits de caroube sur le champignon *Candida albicans* a été évaluée par **Ouaffai et Bouchena., (2022)** où ils ont obtenu des résultats qui ont montré l'absence d'un effet inhibiteur contre *Candida albicans*, leur résultat concorde avec le nôtre. Néanmoins, d'autres études faites sur d'autres références de *Candida albicans* ont montré leurs sensibilités vis-à-vis des extraits de *Ceratonia siliqua* L. De plus, les extraits hydroalcooliques et ceux chloroformiques de *Ceratonia siliqua* L., issus des différentes régions de la wilaya de Tlemcen, étudiés par **Rahmoun, et al. (2014)** ont révélé l'effet antibactérien, sur diverse bactéries y compris *E. coli*, *P. aeruginosa*, *B. cereus* et *S. aureus*, et l'effet antifongique sur trois souches référencier de *C. albicans* (ATCC IP 444, ATCC 10231 et ATCC 26790). Ces deux effets, vis-à-vis *S. aureus*, *E. coli*, *P. aeruginosa* et *C. albicans*, ont été détectés aussi dans les extraits des feuilles du caroubier poussant au Maroc (**Elbouzidi, et al., 2023**), ces derniers ont constaté les zones d'inhibition de 21mm, 28mm, 18mm et 24mm respectivement.

Un traitement de la candidose orale avec l'extrait aqueux préparé à base des bourgeons de *Ceratonia siliqua* L. a été évalué, *in vitro*, et, *in vivo*, où un effet antifongique important a été observé dans les deux études avec la guérison de plusieurs patients traité avec cet extrait. (**Haidar et al., 2009**). D'autre part, l'extrait aqueux de caroube a été testé sur des bactéries intestinales isolées à partir des patients atteints des diarrhées, les résultats ont montré l'effet inhibiteur de l'extrait de caroube sur ces bactéries tels que *E.coli* et *pseudomonas spp*, cette étude a rapporté que l'apparition de l'activité antimicrobienne peut-être due aux composés chimiques présent dans l'extrait (polyphénols, flavonoïdes, acide ellagique et triterpène) et qui peuvent affecter la couche protéique d'une bactérie ou sa membrane plasmique ce qui

altère ses propriétés fonctionnelles causant ainsi l'inhibition de sa croissance. (**Hassan Ali, et al., 2020**).

Il a été rapporté également par **Bouharb et al., (2014)** que la richesse de la plante *Ceratonia siliqua* L. en composés phénoliques et en substances bioactifs comme les tanins et en particulier l'acide gallique et ellagique peut être à l'origine de l'activité antibactérienne contre les souches bactériennes. De plus, l'implication des polyphénols dans les aliments apporte plusieurs propriétés biologiques bénéfiques comme l'activité antibactérienne, antifongique et antioxydantes (**Bentahar et al., 2012 ; Pernin, 2018**).

Meziani et al., (2015) a expliqué que l'activité antibactérienne des extraits des feuilles du caroubier pourrait être à l'origine de présence des composés biologiquement actifs comme l'acide gallique, quercetin-glycosides, kaempferol-rhamnoside, quercetin-rhamnoside, (e)-epigallocatechin-3-O-gallate, kaempferol et quercetin, ces derniers, d'après les auteurs, peuvent se lier à la cellule bactérienne en formant des complexes qui détruisent sa paroi et perturbent ainsi son métabolisme, comme les o-diphénols des tanins qui peuvent priver les micro-organismes de fer en agissant comme des chélateurs de cet élément. **Fadel et al., (2011)** à son tour, a rapporté que les acides phénoliques présentent un effet antibactérien puissant.

Conclusion

L'objectif de présent travail est l'évaluation de l'activité antimicrobienne (antibactérienne et antifongique) de huit extraits éthanoliques préparés à partir des différentes parties du caroubier de Bejaia (rameaux, graines, feuilles endommagées ; gousses jeunes, gousses matures et des feuilles normales). L'activité est testée sur cinq bactéries pathogènes à Gram+ (*Staphylococcus aureus* et *Bacillus cereus*) et à Gram- (*Escherichia coli*, *Salmonella enterica* et *Pseudomonas aeruginosa*) et également vis-à-vis une levure (*Candida albicans*) en appliquant deux techniques différentes de diffusion sur gélose (disques et puits).

Les résultats ont démontré une variabilité dans les activités antibactériennes des extraits en fonction de la souche bactérienne et de la méthode de test employée. L'extrait à base des rameaux a montré une activité inhibitrice importante chez *Escherichia coli* avec la méthode des puits ou on a mesuré un diamètre moyen de 15mm et de 14, 25mm avec la méthode des disques. Tant dis que l'extrait des graines a révélé un effet antibactérien plus actif sur *Staphylococcus aureus* avec un diamètre moyen de 12,66mm dans la méthode des puits, et pour celui préparé avec les feuilles endommagées, son pouvoir inhibiteur était plus élevé dans la méthode des puits vis-à-vis *Pseudomonas aeruginosa* avec un diamètre moyen de 17,6mm et dans la méthode des disques chez *Salmonella enterica* avec un diamètre moyen d'inhibition de 8,75mm. Quant à l'extrait des gousses jeunes, ce dernier a révélé une zone d'inhibition plus intéressante avec la méthode des puits vis-à-vis *Pseudomonas aeruginosa* (16,3 mm) et vis-à-vis *Salmonella enterica* (12,25 mm) par la méthode des disques.

L'extrait obtenu à partir des gousses mature n°2 a montré un effet plus intense chez *Staphylococcus* avec un diamètre moyen de 10,16mm en utilisant la méthode des puits, et en ce qui concerne l'extrait à base des feuilles n°1, son effet inhibiteur était plus révélatif envers *Pseudomonas aeruginosa* avec un diamètre moyen d'inhibition de 17,66mm en utilisant la méthode des puits, et sur *Escherichia coli* avec la méthode des disques avec 15,75mm de diamètre moyen. En revanche, l'extrait préparé avec les feuilles n°2 a donné une zone d'inhibition de 15,1mm avec la méthode des puits chez *Bacillus cereus* et de 12,5mm avec la méthode des disques vis-à-vis *Escherichia coli*.

Néanmoins l'extrait à base des gousse matures n°1 n'a montré aucun effet inhibiteur sur les souches testées.

La bactérie *Staphylococcus aureus* était la plus sensible envers la majorité des extraits (Rameaux, graines, feuilles endommagées, gousses jeunes, gousses mature (2), feuilles (1) et feuilles(2)), en donnant une sensibilité remarquable envers l'extrait à base des feuilles (2) avec une zone d'inhibition de 14,16mm, suivi de *Pseudomonas aeruginosa* et *Salmonella enterica* avec une sensibilité aux extraits des feuilles endommagées, des gousses jeunes, des feuilles (1) et des feuilles(2), également *Escherichia coli* s'est révélée sensible aux quatre extraits obtenus des Rameaux, des graines, des feuilles (1) et feuilles(2). Les trois souches citées au part avant ont une sensibilité élevée vis-à-vis l'extrait des feuilles (1) avec la méthode des puits comparé aux autres extraits. *Bacillus cereus* était la plus résistante aux extraits testés avec seulement une sensibilité envers les extraits des feuilles (1) et feuilles (2).

Aucune activité antifongique n'a été observée pour la levure *Candida albicans*.

La comparaison entre les résultats obtenus montre que l'activité antibactérienne des extraits utilisés est mieux révélée par la méthode des puits comparativement à celle estimée dans la méthode des disques.

Le résultat le plus marquant de l'évaluation de la concentration minimale des quatre extraits (des feuilles endommagées, des gousses jeunes, des feuilles (1) et les feuilles (2)) était celui de *Pseudomonas aeruginosa* avec une sensibilité envers les dilutions successive des quatre extraits évalués, les CMI obtenu sont de $1,25 \cdot 10^{-2}$ mg/ml, $0,3125 \cdot 10^{-2}$ mg/ml, $1,25 \cdot 10^{-2}$ mg/ml et $1,25 \cdot 10^{-2}$ respectivement pour les extraits mentionnés.

En perspectives et pour mieux comprendre l'activité antimicrobienne de ces extraits :

- Une caractérisation de ces derniers avec une HPLC est recommandée afin de pouvoir connaître les composants impliqués dans les activités biologiques.
- Tester les extraits sur d'autres souches référencier pour comparer l'effet de cette plante.
- Utiliser d'autres méthodes plus sophistiquées pour l'évaluation de ces activités, afin d'avoir des résultats plus précis.

Références bibliographiques

A

Al-Tikrity, T. A. (2007). Treatment of Oral Candidiasis with Alcoholic Extract of *Ceratonia Siliqua*. *The Medical Journal of Tikrit University*, 2(132).

Akharaiyi F.C., & Boboye B. (2010). Antibacterial and phytochemical evaluation of three medicinal plants. *Journal of Natural Product*, 3: 27-34,

Ayache, A., Boukhaloua, A. H. A., Berrayah, M., Bennabi, F., & Abdeldjebar, F. (2022). Antibacterial activity and identification by GC/MS of the chemical composition of essential oils of *Juniperus phoenicea* and *Juniperus oxycedrus* L. from Western Algeria: Tiaret province. *Ukrainian Journal of Ecology*, 12(5), 31-39.

Aydin, S., Ilgaz, C., & Kadiroglu, P. (2021). Prediction of Quality Properties of Carob Fruit with FT-IR. *Journal of Raw Materials to Processed Foods*, 2, 24-32

Akroum, S., & Rouibah, M. (2020). Utilisation d'extraits méthanoliques de plantes pour la protection des cultures de tomates-cerises (*Solanum lycopersicum* var. cerasiforme) contre l'infection fongique par *Alternaria alternata*. *Biologie Aujourd'hui* 214 (1-2), 55-61

Abd Razik, B.M., Hasan, H.A., & Murtadha, M.K. (2012). The Study of Antibacterial Activity of *Plantago Major* and *Ceratonia Siliqua*. *The Iraq Post Graduate Medical Journal*, 11(1).

Andriamampianina, H. L., Rakoto, D. A. D., Petit, T., Ramanankierana, H., Randrianarivo, H. R., & Jeannoda, V. L. (2016). Antimicrobial activity of extracts from *Crotalaria bernieri* Baill. (Fabaceae). *African Journal of Microbiology Research*, 10(31), 1229-1239.

Armendáriz-Barragán, B., Zafar, N., Badri, W., Galindo-Rodríguez, S. A., Kabbaj, D., Fessi, H., & Elaissari, A. (2016). Plant extracts: from encapsulation to application. *Expert Opinion on Drug Delivery*, 13(8), 1165-1175.

Abdulkareem, R. S., Yaseen Al-Hayali, W. R., & Ibrahim, I. I. (2020). Antimicrobial activity of *Ceratonia siliqua* L. extract against diarrheagenic E-coli. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 11(12), 2139-2141.

B

Benguiar, R., Benaraba, R., & Riazi, A. (2015). Effet de l'extrait de caroube sur la croissance de deux candidats probiotiques : *Lactobacillus fermentum* et *Lactobacillus rhamnosus*. *Nature & Technology*, (13), 22-27.

Benmansour, N., Cherif, H., El Hanballi, F., & Akssira, M. (2020). Study of the Biological Activities of the Seeds of the Plant *Ceratonia Siliqua* L. Recovered in the Bejaia Region: Array. *Medical Technologies Journal*, 4(1), 520-521

Berrougui, G., (2007). « Le caroubier (*Ceratonia Siliqua* L.), une richesse nationale aux vertus médicinales, *Maghreb Canada Express* Vol. 5 », N° 9

Biquand, A. (2017). *Les infections à Pseudomonas aeruginosa et leurs traitements en 2017* (Doctoral dissertation).

Bashige, V. C., Bakari, A. S., Okusa, P. N., Kalonda, E. M., & Lumbu, J. B. S. (2020). Criblage phytochimique et activité antimicrobienne de six rhizomes comestibles utilisés en médecine traditionnelle à Lubumbashi (RDC). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14(4), 1367-1380

Ballet, M. (2020). *Impact de l'ajout d'antibiotique dans les ciments orthopedique sur la prevention de la formation de biofilm au cours d'infection sur prothese articulaire à staphylococcus aureus*. Université claud bernard- Lyon 1

Bouaziz, A. L. (2015). *Identification de métabolites secondaires des plantes, protecteurs des photorécepteurs à cônes pour le traitement de la rétinopathie pigmentaire*. Université Pierre et Marie Curie-Paris VI.

Benmahioul, B., Harche, M. K., & Daguin, F. (2011). Le caroubier, une espèce méditerranéenne à usages multiples. *Forêt méditerranéenne*, 32(1), 51-58.

Bottone E. J. (2010). *Bacillus cereus*, a volatile human pathogen. *Clinical microbiology reviews*, 23(2), 382–398.

Ballet, M. (2020). Impact de l'ajout d'antibiotique dans les ciments orthopedique sur la prevention de la formation de biofilm au cours d'infection sur prothese articulaire à staphylococcus aureus. Université claud bernard- Lyon 1

Bora, K. S., & Sharma, A. (2010). In vitro antioxidant and free radical scavenging potential of *Medicago sativa* Linn. *J. Pharma. Res*, 3(6), 1206-1210.

Bolou, G.E.K., Attioua, B., N'guessan, A.C., Coulibaly, A., N'guessan, J.D., & Djaman, A.J. (2011). Évaluation *in vitro* de l'activité antibactérienne des extraits de *Terminalia glaucescens* planch. sur *Salmonella typhi* et *Salmonella typhimurium*. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 80, 722-790.

Bouharb, H., El Badaoui, K., Zair, T., Chakir, S., & Alaoui, T. (2014). Sélection de quelques plantes médicinales du Zerhoun (Maroc centrale) pour l'activité antibactérienne contre *Pseudomonas aeruginosa*. *Journal of Applied Biosciences*, 78, 6685-6693.

Bentahar, A., Khennouf, S., Bouaziz, A., & Djidel, S. (2012). Évaluation de la teneur en polyphénols et l'activité antioxydante des extraits aqueux des *Ceratonia siliqua* L. et *Ruta montana*. In *Proceeding of the 2nd African Congress on Biology & Health University Ferhat Abbas Setif1*, 11, 30.

C

Carle, S. (2009). La résistance aux antibiotiques : un enjeu de santé publique important. *Pharmactuel*, 42(2), 6-21

Chassagne, F., Samarakoon, T., Porras, G., Lyles, J. T., Dettweiler, M., Marquez, L., ... & Quave, C. L. (2021). A systematic review of plants with antibacterial activities: A taxonomic and phylogenetic perspective. *Frontiers in pharmacology, 11*, 2069.

D

David, J. (2009). Attribution des cas de salmonelloses humaines aux différentes filières de production animale en France. Adaptabilité et robustesse du modèle bayésien d'attribution par typage microbiologique (Doctoral dissertation, Agrocampus-Ecole nationale supérieure d'agronomie de rennes).

Dever, L. A., & Dermody, T. S. (1991). Mechanisms of bacterial resistance to antibiotics. *Archives of internal medicine, 151*(5), 886-895.

E

Elmtili, N., Ben Larbi Zarki, K. (2010). Les plantes Médicinales du Maroc : Quelle stratégie biotechnologique?. *Cahiers UAE, 4*(5), 1-4.

Elbouzidi, A., Taibi, M., Ouassou, H., Ouahhoud, S., Ou-Yahia, D., Loukili, E. H., ... & Addi, M. (2023). Exploring the Multi-Faceted Potential of Carob (*Ceratonia siliqua* var. *Rahma*) Leaves from Morocco : A Comprehensive Analysis of Polyphenols Profile, Antimicrobial Activity, Cytotoxicity against Breast Cancer Cell Lines, and Genotoxicity. *Pharmaceuticals, 16*(6), 840.

ETO, B. (2010). *La phytothérapie de l'utilisation traditionnelle aux dosage moderne dsPhytomedicament*. Université Paris7

Esmail, A., Chahboun, N., Mennane, Z., Amiyare, R., Abed, H., Barrahi, M., Qebibo, A., & Berny, E. H. (2015). Étude de l'activité antimicrobienne des margines issues de Fès Boulman vis-à-vis de souches pathogènes [Study of antimicrobial activity of olive mille

wastewater (OMWW) from Fez Boulmanagainsomepathogenicstrains]. *Journal of Materials and Environmental Science*, 6(3), 869- 876.

Elbouzidi, A., Taibi, M., Ouassou, H., Ouahhoud, S., Ou-Yahia, D., Loukili, E. H., Aherkou, M., Mansouri, F., Bencheikh, N., Laaraj, S., Bellaouchi, R., Saalaoui, E., Elfazazi, K., Berrichi, A., Abid, M., & Addi, M. (2023). Exploration du potentiel à multiples facettes des feuilles de caroube (*Ceratonia siliqua* var. *Rahma*) du Maroc : une analyse complète du profil des polyphénols, de l'activité antimicrobienne, de la cytotoxicité contre les lignées cellulaires du cancer du sein et de la génotoxicité. *Pharmaceuticals*, 16, 840.

F

Fidan, H., Mihaylova, D., Petkova, N., Sapoundzhieva, T., Slavov, A., & Krastev, L. (2019). Determination of chemical composition, antibacterial and antioxidant properties of products obtained from carob and honey locust. *Turkish Journal of Biochemistry*, 44(3), 316-322.

Faye, E. O., Gueye, R., Diop, A., Faye, I. W., Dieye, P. I., Tirera, H., ... & Diop, Y. M. (2022). Caractérisation phytochimique et étude de l'activité antimicrobienne d'extraits de feuilles de trois plantes de la flore sénégalaise: *Detarium senegalense*, *Detarium microcarpum* et *Piliostigma reticulatum*. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 16(1), 286-299

Fadel, F., Fattouch, S., Tahrouch, S., Lahmar, R., Benddou, A., & Hatimi, A. (2011). The phenolic compounds of *Ceratonia siliqua* pulps and seeds (Les composés phénoliques des pulpes et des graines de *Ceratonia siliqua*). *Journal of Materials and Environmental Science*, 2(3), 285-292.

G

Guillot, J. F. (1989). Apparition et évolution de la résistance bactérienne aux antibiotiques. In *Annales de recherches vétérinaires* (Vol. 20, No. 1, pp. 3-16).

Ghanem, F. Z., & Belarbi, M. (2021). Phytochemistry and Pharmacology of *Ceratonia siliqua* L. leaves. *Journal of Natural Product Research and Application (JNPRA)*, 1(1), 69-82.

H

Haidar, J. M., & Al-Taie, T. S. (2009). Traitement de la candidose par *Ceratonia Siliqua*. *Tikrit Medical Journal*, 15(2), 181-186.

Hassan A. S., Ibrahim, A. S., & Mohamed, N. I. (2020). inhibitory activity of aqueous extract of pomegranate peel and carob against bacteria isolated from diarrheal patient in kirkuk hospital. *Plant archives*, 20, 2467-2470

Hussein, A., Shedeed, N. A., Abdel-Kalek, H. H., & Shams El-Din, M. H. A. (2011). Antioxidative, antibacterial and antifungal activities of tea infusions from berry leaves, carob and doum. *Polish journal of food and nutrition sciences*, 61(3), 201-209.

Hubert, B. (2013). *Escherichia coli* pathogènes et résistantes aux antibiotiques dans les effluents d'origine humaine et animale : prévalence et caractérisation avant et après traitement épuratoire. Université de Toulouse 3.

Hsouna, A. B., Trigui, M., Mansour, R. B., Jarraya, R. M., Damak, M., & Jaoua, S. (2011). Chemical composition, cytotoxicity effect and antimicrobial activity of *Ceratonia siliqua* essential oil with preservative effects against *Listeria* inoculated in minced beef meat. *International journal of food microbiology*, 148(1), 66-72.

I

Ibrahim, A. H., Abd El-Baky, R. M., Desoukey, S. Y., Abd-Lateff, A., & Kamel, M. S. (2013). Bacterial growth inhibitory effect of *Ceratonia siliqua* L. plant extracts alone and in

combination with some antimicrobial agents. *Journal of Advanced Biotechnology and Bioengineering*, 1(1), 3-13.

K

Kaloustian, J., Chevalier, J., Mikail, C., Martino, M., Abou, L., & Vergnes, M. F. (2008). Étude de six huiles essentielles : composition chimique et activité antibactérienne. *Phytothérapie*, 6(3), 160-164.

Khebichat, A., (2013). *Evaluation de l'activité antibactérienne et antifongique des Cendres de bois du chêne vert « Kourriche ou Ballout »*. Université Abou BekrBelkaïd-Tlemcen.

Kowalska-Krochmal, B., & Dudek-Wicher, R. (2021). The minimum inhibitory concentration of antibiotics: Methods, interpretation, clinical relevance. *Pathogens*, 10(2), 165.

Kahrs, R. F. (1995). Principes généraux de la désinfection. *Revue scientifique technique de l'OIE*, 14(1), 123-142.

Klotoé, J. R., Dougnon, T. V., Dougnon, T. J., Agbodjento, E., Atègbo, J. M., & Loko, F. (2014). *Jatropha multifida* Linn (Euphorbiaceae) : Exploration des propriétés antibactériennes et du pouvoir cicatrisant de la sève de cette plante chez le rat albinos de souche wistar. *Revue de microbiologie industrielle, sanitaire, et environnementale*, 8, 120- 132.

kivçak, B., Mert, T., & Öztürk, H.T. (2002). Antimicrobial and Cytotoxic Activities of *Ceratonia siliqua* L. Extracts. *Turkish Journal of Biology*, 26(4), 197-200.

L

Leysour de rohelle, F., (2020). *L'antibiogramme par diffusion : de sa découverte à son automatisation – Mise en place d'une méthode automatisée au CHU de Rouen*.

Université

de

Rouen

Normandie

Lagane, C. (2007). Rôle de l'IL-13 et des ligands de PPAR-gamma dans la réponse anti-infectieuse des macrophages murins et des monocytes humains vis-à-vis de *Candida Albicans* Implication de PPAR-gamma. Université de Toulouse, Université III-Paul Sabatier.

M

Manoharachary, C., & Nagaraju, D. (2016). Medicinal plants for human health and welfare. *ANNALS OF PHYTOMEDICINE*, 5(1), 24-34.

Mezouar, D., Lahfa, F. B., Abdelouahid, D. E., Adida, H., Rahmoun, N. M., & Boucherit-Otmani, Z. (2014). Activité antimicrobienne d'extraits d'écorce de racines de *Berberis vulgaris*. *Phytothérapie*, 6(12), 380-385.

Mouas, T. N., Kabouche, Z., & Boufoula, R. (2021). *Ceratonia siliqua* L. a promising functional food for chronic diseases related to gastrointestinal system : Diabetes, and lactose intolerance. Presented at the 1st International Electronic Conference on Agronomy, 3, 17.

Meziani, S., Oomah, B. D., Zaidi, F., Simon-Levert, A., Bertrand, C., & Zaidi-Yahiaoui, R. (2015). Antibacterial activity of carob (*Ceratonia siliqua* L.) extracts against phytopathogenic bacteria *Pectobacterium atrosepticum*. *Microbial pathogenesis*, 78, 95-102.

Messara, H., & Chebab, M. (2022). *Activité antimicrobienne des plantes médicinales sur des souches hospitalières*. Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Mahmudur, R., Khatun, A., Khan, S., Hossain, F., & Khan, A. A. (2014). Phytochemical, cytotoxic, and antibacterial activity of two medicinal plants of Bangladesh. *Newsletter*, vol(1)3-10.

Moreira, M. R., Ponce, A. G., Del Valle, C. E., & Roura, S. I. (2005). Inhibitory parameters of essential oils to reduce a foodborne pathogen. *LWT-Food Science and Technology*, 38(5), 565-570.

Monjd Abd Razik, B., Ali Hasan, H., & Khalil Murtadha, M. (2012). The Study of Antibacterial Activity of *Plantago Major* and *Ceratonia Siliqua*. *THE IRAQI POSTGRADUATE MEDICAL JOURNAL*, 11(1), 130-135.

Meziani, S., Oomah, B. D., Zaidi, F., Simon-Levert, A., Bertrand, C., & Zaidi-Yahiaoui, R. (2015). Antibacterial activity of carob (*Ceratonia siliqua* L.) extracts against phytopathogenic bacteria *Pectobacterium atrosepticum*. *Microbial pathogenesis*, 78, 95-102.

Martinez Cabrera-, R. M Setlow, B., Cabrera-Hernandez, A., Cabrera-Martinez, R. M., & Setlow, P. (2004). Identification of aryl-phospho- β -D-glucosidases in *Bacillus subtilis*. *Archives of microbiology*, 181, 60-67.

N

Niass, O., Sarr, SO, Diop, A., Diop, A., & Diop, YM (2015). Etude in vitro de l'activité antibactérienne de quelques plantes utilisées en médecine traditionnelle locale au Saloum (Sénégal). *La Science en Liberté*, 7 (150801), 1-10.

O

Ouis, N., & Hariri, A. (2018). Antioxidant and antibacterial activities of the essential oils of *Ceratonia siliqua*. *Banat's Journal of Biotechnology*, 9(17).

Ouaffai, K., & Bouchena, K. (2022). *Extraction et évaluation de l'activité antifongique des molécules phytochimiques de la caroube*. Université Ibn Khaldoun Tiaret.

P

Plaine, A. (2006). *Le rôle des protéines à ancre GPI chez Candida albicans dans les interactions hôte/pathogène* (Doctoral dissertation, Institut national agronomique paris-grignon-INA PG).

Pissang, P., Agban, A., Yao, P. H., Tchacondo, T., Sadji, A. Y., Effoe, S., ... & Batawila, K. (2016). *Evaluation In Vitro De L'activité Antimicrobienne Des Extraits De Cassia Alata Linn. (Fabaceae)*. *European Scientific Journal*, 12(21).

R

Rtibi, K., Selmi, S., Grami, D., Amri, M., Eto, B., El-Benna, J., ... & Marzouki, L. (2017). *Constituants chimiques et actions pharmacologiques des gousses et des feuilles de caroube (Ceratonia siliqua L.) sur le tractus gastro-intestinal : une revue*. *Biomédecine & Pharmacothérapie*, 93, 522-528.

Rajeshwar, Y., Gupta, M., & Mazumder, U. K. (2005). *In vitro lipid peroxidation and antimicrobial activity of Mucuna pruriens seeds*. *Iranian Journal of Pharmacology*, 4(1), 32-35.: 1735-2657.

Rahmoun, N. M., Ziane, H., & Boucherit-Otmani, Z. (2014). *Antibacterial and antifungal screening of four medicinal plants*. *Journal of coastal life medicine*, 2(12), 975-979.

Rabia Shabir, A. (2021). *Medicinal Herbs : Important Source of Bioactive Compounds for Food Industry*, In : Ivanišová, E., Kačániová, M., Savitskaya, T. A., & Grinshpan D. D. (ed.), (2021). *Herbs and Spices : New Processing Technologies*. London : IntechOpen. (Pp.1-11).

S

Sallouh, M., & Nouioui, I. (2019). Etude de quelques propriétés chimiques et biologiques de la caroube Algérienne. Université Mohamed Khider de Biskra.

Somchit, M. N., Reezal, I., Nur, I. E., & Mutalib, A. R. (2003). In vitro antimicrobial activity of ethanol and water extracts of *Cassia alata*. *Journal of ethnopharmacology*, 84(1), 1-4.

Sabri, M. (2008). *Étude sur l'importance relative des transporteurs des cations divalents du zinc, fer et manganèse dans la virulence des souches extra-intestinales pathogènes d'Escherichia coli (ExPEC)*. Université du Québec, Institut National de la Recherche Scientifique).

Sifour, A., Djebbar, M., Mansouri, I. R., & Chaffai, N. Formulation et évaluation d'un gel buccal à base d'huile essentielle d'arbre à thé pour le traitement des candidoses buccales. *Algrian journal of health sciences*, 5(1), 64-73.

Sofowora, A., Ogunbodede, E., & Onayade, A. (2013). The role and place of medicinal plants in the strategies for disease prevention. *African journal of traditional, complementary and alternative medicines*, 10(5), 210-229.

T

Tassou, C. C., Drosinos, E. H., & Nychas, G. J. (1997). Weak antimicrobial effect of carob (*Ceratonia siliqua*) extract against food-related bacteria in culture media and model food systems. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 13, 479-481.

Toudert, N., Djilani, SE, Djilani, A., Dicko, A., & Soulimani, R. (2009). Activité antimicrobienne des extraits butanolique et méthanolique d'*Ampelodesma mauritanica*. *Avancées des sciences naturelles et appliquées*, 3 (1), 19-21.

V

Vats, M., Sharma, N., Sardana, S., (2009). Antimicrobial Activity of Stem Bark Extracts of *Nyctanthes arbortristis* linn. (Oleaceae). *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*, 1(1), 12-14

Y

Yakhlef, G., Laroui, S., Hambaba, L., Aberkane, M. C., & Ayachi, A. (2011). Évaluation de l'activité antimicrobienne de *Thymus vulgaris* et de *Laurus nobilis*, plantes utilisées en médecine traditionnelle. *Phytothérapie*, 9(4), 209-218.

Résumé :

Le travail est porté sur l'évaluation de l'activité antimicrobienne de huit extraits éthanoliques extraits à partir de différentes parties de l'espèce *Ceratonia siliqua* L, provenant de la région de Bejaia, sur six souches pathogènes référencées à savoir *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella enterica*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* et *Candida albicans*. L'évaluation de l'activité antimicrobienne est réalisée avec la méthode de diffusion sur gélose en utilisant deux techniques (technique des puits et technique des disques). Une CMI a été réalisé pour les extraits qui ont montré une forte activité antibactérienne. Les résultats obtenus ont révélé la sensibilité des souches bactériennes, notamment la souche *Staphylococcus aureus*, envers les extraits à l'exception de *Candida albicans* qui a montré une forte résistance aux extraits testés. Quant aux résultats de la CMI, l'inhibition minimale a été observée uniquement au niveau de deux souches : *Pseudomonas aeruginosa* et *Bacillus cereus*.

Mots clés : Activité antimicrobienne, *Ceratonia siliqua* L., CMI, extraits éthanoliques

Abstract :

The work is focused on the evaluation of the antimicrobial activity of eight ethanolic extracts extracted from different parts of the species *Ceratonia siliqua* L, from the region of Bejaia, on six referenced pathogenic strains namely *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella enterica*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* and *Candida albicans*. The evaluation of the antimicrobial activity is carried out with the agar diffusion method using two techniques (well technique and disc technique). MIC was performed for extracts that showed strong antibacterial activity. The results revealed the sensitivity of bacterial strains, including the *Staphylococcus aureus* strain, to extracts with the exception of *Candida albicans* which showed strong resistance to the tested extracts. As for the MIC results, minimal inhibition was observed only at the level of two strains : *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus cereus*.

Keywords : Antimicrobial activity, *Ceratonia siliqua* L., MIC, ethanolic extracts.