

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Université Abdelhamid Ibn Badis

Mostaganem

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس

مستغانم

كلية العلوم الطبيعية و الحياة

DEPARTEMENT DES SCIENCES ALIMENTAIRES

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté par :

Mme .AHMED Naima

Mme .KHODJADAR Nadia

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES ALIMENTAIRES

Spécialité : Technologie Agro-alimentaire et Contrôle de Qualité

Thème

Effet antibactérien d'extrait hydroéthanolique des cladodes de figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*) chez *Escherichia coli*.

Devant le jury :

Président	: Dr AIT CHAABANE Ouiza	MCA	U. MOSTAGANEM
Encadreur	: Dr. AIT SAADA Djamel	MCA	U. MOSTAGANEM
Examineur	: BEKADA Ahmed Mohamed Ali	Professeur	U. Tissemsilt

Mémoire réalisé au laboratoire de technologie alimentaire et nutrition université de Mostaganem

Année Universitaire : 2021-2022

Remerciements

Nous rendons grâce à dieu le tout puissant et le tout miséricordieux de nous avoir ouvert la voie du savoir pour achever ce modeste mémoire de fin d'études.

Nos remerciements s'adressent également à nos chers parents de nous avoir soutenu tout le long de ces années d'études et pour leurs prières à notre égard de réussites et de bonheur.

Nous tenons à remercier tout d'abord vivement **Monsieur Djamel Benmiloud** enseignant de qualité à l'université de Mostaganem qui nous a proposé cette thématique de recherche à titre d'encadreur et qui a décédé au cours de notre expérimentation à la fleur de l'âge suite à une maladie incurable ; que tous ses enseignements de qualité prodigués aux étudiants tout le long de son parcours universitaire et ses vertus humaines témoignent de la grandeur de l'homme le jour du dernier jugement et que dieu l'accueille dans son vaste paradis.

On remercie aussi dans la même ligne de conduite **M. AIT SAADA Djamel**, MCA à l'université de Mostaganem d'avoir accepté de nous encadrer sur la même thématique suggérée par le défunt Monsieur Djamel Benmiloud ; sans ses orientations et conseils cette étude n'a pu aboutir.

Nous exprimons toute notre reconnaissance et gratitude à **Mme INES FEKNOUS**, doctorante au laboratoire de Technologie Alimentaire et Nutrition de l'Université de Mostaganem pour ses aides précieuses au laboratoire.

Nos vifs remerciements s'adressent également à **Mme. AIT CHABANE Ouiza** MCA à l'université de Mostaganem qui nous a fait l'honneur de présider le jury et **M. BEKADA Ahmed Mohamed Ali** professeur à l'université de Tissemsilt d'avoir accepté de consacrer du temps pour examiner ce travail.

Nos remerciements vont également droit à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à notre formation et à l'accomplissement de notre cycle de formation en master agroalimentaire et contrôle de qualité.

Résumé :

Dans le cadre de la découverte de nouvelles substances naturelles bioactives ayant des propriétés biologiques, le présent travail s'intéresse à l'évaluation de l'effet antimicrobien des composés phénoliques des cladodes d' *Opuntia ficus indica* récolté dans la région de Mostaganem-Algérie sur la croissance d'un germe pathogène responsable de toxi-infections alimentaires et de maladies infectieuses à savoir *Escherichia coli*. L'extrait bioactif a été obtenu par macération d'une prise d'échantillon de la plante dans de l'éthanol aqueux, suivi d'une filtration et une évaporation sous vide à 45°C. L'extrait hydroéthanolique récupéré a été concentré ensuite à 0, 20, 40, 60, 80 et 100%. Les mesure et contrôles ont porté sur : test de croissance, diamètre d'inhibition, concentration minimale inhibitrice et concentration minimale bactéricide. Les données expérimentales ont fait l'objet d'une analyse statistique de variance et de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman et Keuls.

L'extrait pur, hydro-éthanolique concentré à 100% des cladodes d'*Opuntia ficus indica* a pu réduire d'environ 97,8% la croissance d'*E.Coli*. Avec un diamètre d'inhibition de 18 mm, il a marqué une efficacité antimicrobienne de l'ordre de 50% par comparaison à la gentamicine ; un puissant antibiotique à large spectre.

L'effet antimicrobien manifeste de cet extrait des raquettes de figuier de barbarie vis-à-vis de la bactérie s'avère de type bactéricide.

Mots clés : *Opuntia ficus indica*, cladodes, extrait, hydroéthanolique, *Escherichia coli*, activité, antimicrobien.

Abstract

Within the framework of the discovery of new bioactive natural substances having biological properties, the present work is interested in the evaluation of the antimicrobial effect of the phenolic compounds of the cladodes of *Opuntia ficus indica* harvested in the region of Mostaganem-Algeria on the growth of a pathogen responsible for food poisoning and infectious diseases, namely *Escherichia coli*. The bioactive extract was obtained by maceration of a sample taken from the plant in aqueous ethanol, followed by filtration and evaporation under vacuum at 45°C. The hydroethanolic extract recovered was then concentrated to 0, 20, 40, 60, 80 and 100%. The measurements and controls related to: growth test, inhibition diameter, minimum inhibitory concentration and minimum bactericidal concentration. The experimental data were subjected to a statistical analysis of variance and comparison of means two by two according to the Newman and Keuls test.

The 100% concentrated hydro-ethanolic pus extract of *Opuntia ficus indica* cladodes was able to reduce *E.Coli* growth by about 97.8%. With an inhibition diameter of 18 mm, it marked an antimicrobial efficacy of around 50% compared to gentamicin; a powerful broad-spectrum antibiotic.

The obvious antimicrobial effect of this extract of prickly pear prickly pear snowshoes against bacteria is of the bactericidal type.

Key words: *Opuntia ficus indica*, cladodes, hydroéthanolic extract, antibacterial activity, , cladodes, *Escherichia coli*,

ملخص

في إطار اكتشاف مواد طبيعية نشطة بيولوجيًا جديدة لها خصائص بيولوجية ، يهتم العمل الحالي بتقييم التأثير المضاد للمركبات المحصودة في منطقة مستغانم-الجزائر محلول مستخلص مضارب التين الشوكي على نمو أحد مسببات الأمراض الفينولية من المسؤولة عن التسمم الغذائي والأمراض المعدية ، مثل الإشريكية القولونية. تم الحصول على المستخلص النشط بيولوجيًا عن طريق تعطين عينة مأخوذة من النبات في إيثانول مائي ، متبوعًا بالترشيح والتبخير في ظل فراغ عند 45 درجة مئوية. تم بعد ذلك تركيز مستخلص الهيدروإيثانول المسترجع إلى 0 ، 20 ، 40 ، 60 ، 80 و 100%. القياسات والضوابط المتعلقة ب: اختبار النمو ، و قطر التثبيط ، والتركيز المثبط الأدنى ، والحد الأدنى من تركيز مبيد الجراثيم. خضعت البيانات التجريبية لتحليل إحصائي للتباين ومقارنة المتوسطات اثنين في اثنين حسب اختبار نيومان وكيولس

مستخلص مضارب التين الشوكي أن يقلل من نمو الإشريكية القولونية بنحو استطاع مستخلص صديد الإيثانول المركز 100% من 97.8%. بقطر تثبيط يبلغ 18 مم ، كان له تأثير مضاد للميكروبات بحوالي 50% مقارنة بالجنتاميسين. مضاد حيوي قوي واسع الطيف

التأثير المضاد للميكروبات الواضح لهذا المستخلص من حذاء التين الشوكي ضد البكتيريا هو من النوع المبيد للبكتيريا

الكلمات المفتاحية : أنشطة مضادات الميكروبات ، ابانتيا فيكس انديكا ، مستخلص الإيثانول المائي ، الإشريكية القولونية ، مضارب التين الشوكي

Liste des abréviations :

ATCC : American Type Culture Collection

BN : Bouillon Nutritif

CMI : Concentration Minimal Inhibitrice

CMB : Concentration Minimal Bactéricide

E. coli : Escherichia coli

F.I. : Ficus indica

M.H : Muller-Hinton

OFI : Opuntia ficus indica

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

UFC : Unité Formant Colonie

Liste des tableaux

N°	Intitulé	Page
Tableau 01	Composition de la figuier de barbarie.	8
Tableau 02	Utilisation des différent partie d' <i>OFI</i> (<i>Opuntia ficus-indica</i>) .	10
Tableau 03	Formes d'utilisation de figuier de barbarie.	11
Tableau 04	Principaux composants des cladodes du figuier de Barbarie.	17
Tableau 05	Composition en acides aminés dans les cladodes du figuier de barbarie.	19
Tableau 06	La composition en acides aminés dans les cladodes du figuier de Barbarie.	20
Tableau 07	Composition en vitamines dans les cladodes du figuier de Barbarie.	20
Tableau 08	Composition en polyphénols des cladodes de <i>l'Opuntia ficus-indica</i> .	21
Tableau 09	Effet de l'extrait hydroéthanolique des raquettes du figuier de barbarie (<i>Opuntia ficus indica</i>) sur la croissance et les taux de croissance d ' <i>E. coli</i> .	46
Tableau 10	Effet de l'extrait hydroéthanolique des raquettes du figuier de barbarie (<i>Opuntia ficus indica</i>) sur les variations des diamètres et des taux d'inhibition chez <i>E. coli</i> .	48
Tableau 11	Evaluation de la CMI de l'extrait hydroéthanolique des cladodes d' <i>Opuntia ficus indica</i> cher d' <i>Escherichia coli</i> .	49
Tableau 12	Type d'inhibition de l'extrait hydroéthanolique des cladodes d' <i>Opuntia ficus indica</i> vis-à-vis d' <i>E. Coli</i> .	50

Liste des figures :

N°	Intitulé	Page
Figure 1:	Figuier de barbarie (<i>Opuntia ficus indica</i>).	4
Figure 2:	Distribution géographique du figuier de barbarie dans le monde.	05
Figure 3:	Description botanique du figuier de barbarie.	07
Figure 4;	Morphologie des cladodes de barbarie.	13
Figure 5;	Morphologie d'un stomate entouré par des druses.	15
Figure 6:	Morphologie d'une aréole de cladode présentant deux épines, une feuille éphémère et plusieurs glochides brunâtres.	17
Figure 7:	Vue au microscope électronique à balayage d'une culture pure d' <i>Escherichia coli</i> .	26
Figure 8:	Les cladodes d' <i>Opuntia ficus indica</i> récoltés dans la région d'Ain Nouissy à Mostaganem Algérie. .	33
Figure 9:	Etape d'extraction des composés phénoliques des cladodes de figuier de barbarie.	34
Figure 10:	Etapas d'extraction des composés phénoliques à partir des cladodes.	35
Figure 11:	Préparation des différentes solutions expérimentales.	36
Figure 12:	Activation d' <i>Escherichia coli</i> .	37
Figure 13:	Méthode de contact direct.	40
Figure 14:	Dépôt des disques (Méthode des disques).	40
Figure 15:	Méthode des disques par diffusion sur gélose..	41
Figure 16:	Détermination de la CMI.	43
Figure 17:	.Méthode de détermination de la CMB..	44
Figure 18:	Effet de l'extrait hydroéthanolique des raquettes du figuier de barbarie (<i>Opuntia ficus indica</i>) sur la croissance d' <i>Escherichia coli</i> .	47
Figure 19	Diamètres d'inhibition développés par les solutions l'extrait hydroéthanolique d' <i>Opuntia ficus indica</i> chez <i>Escherichia coli</i> .	48
Figure 20	Evaluation de la CMB de l'extrait hydroéthanolique des cladodes d' <i>Opuntia ficus indica</i> cher d' <i>Escherichia coli</i> .	50

Dédicaces

Je dédie ce présent travail à :

Mes chers parents, que nulle dédicace ne peut exprimer mes sincères sentiments, pour leur patience illimitée, leur encouragement continu, leur aide, en témoignage de mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices.

Mes chères sœurs ; Didia et Nadjet.

Mes chers frères ; Kāda et Badre Eddine.

A mes petits anges ; Malek et Sirine .

A toutes ma famille et mes amis.

Tous ceux ou celles qui me sont chers.

Tous mes enseignants tout au long de mes études.

Tous ceux qui ont participé à la réalisation de ce travail.

AHMED Naima

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

*A mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments
les plus pénibles de ce long chemin,*

*Ma très chère mère qui a été à mes côtés et ma soutenu
durant toute ma vie,*

*et mon cher père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir
ce que je suis, j'aurais aimé qu'il soit présent avec moi ce jour-là, mais le
destin voulait qu'il meure avant cela, merci mes parents,*

A mes chers frères : Kamel et Samir

A mes chères sœurs : Samira et Kamilia.

*A mon Mari Housseyn qui n'ont pas cessés de me conseiller et
m'encourager.*

*A mon beau-frère : Abdelfatah El kifani qui m'aide beaucoup pour
réaliser ce projet*

A tous mes collègues de la promotion des Sciences Alimentaires.

Et toute personne qui me connaît.

Que dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

Nadia Khodjadar

Table des matières

Dédicaces

Remerciement

Résumé

Listes des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction.....01

Partie1.Synthèse bibliographique

Chapitre I .Généralités sur la figue de barbarie

1. Historique et origine.....	4
2. Distribution géographique.....	4
3. Répartition en Algérie.....	5
4. Classification.....	6
5. Espèces et variétés de figuier de Barbarie.....	6
9. Utilisations des différentes parties du figuier de Barbarie.....	9
9.1 Formes d'utilisation.....	11
10 .Anatomie et histologie des cladodes.....	12
10. 1. Peau.....	12
10. 2.Cortex.....	13
10. 3. Tissus vasculaires.....	14
10. 4. Moelle.....	14
10. 5. Stomates.....	14
10. 6.Cellules mucilagineuses.....	15
1. 7 Epines et glochides.....	15
11. Composition chimique des cladodes.....	17
11.1. Composants à faible poids moléculaire.....	18
11.2. Composants à haut poids moléculaire.....	21
12. Utilisation.....	22

12 .1. Applications pharmaceutiques et cosmétiques	22
12. 2. Applications industrielles	23
13. Impacts sur la santé	24

Chapitre II. Généralité sur Escherichia Coli

1. <i>Escherichia Coli</i>	25
2. Habitat et écosystème	26
3. Cycle de vie d' <i>E. Coli</i>	26
4. Sensibilité aux antibiotiques	27
5. Plasticité et pathogénicité	27
6. Résistance antimicrobienne	28
7. Antibiorésistance chez <i>Escherichia coli</i>	29
8. Effets antimicrobien des extraits de cladodes	29

Partie 2. Méthodologie expérimentale

1. Objectifs	32
2. Région de prélèvement et traitements préliminaires du matériel végétal	32
3. Extraction des composés phénoliques	32
4. Préparation des différentes solutions expérimentales	35
5. Etudes des effets antimicrobiens de l'extrait de raquettes	35
5.1 Activation des inocula microbiens :	35
5.2 Méthode de contact direct :	37
5.3 Méthode des disques par diffusion sur gélose :	37
5.4 Détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI)	39
5-5 Détermination de la concentration minimale bactéricide (CMB)	41
6. Traitement statistique	42

Partie 3 .Résultats et discussion

1. Resultat	47
1.1. Méthode de contact direct :	45
1.2. Méthode des disques :	46
1.3. Concentration minimale inhibitrice (CMI) :	48
1.4. Concentration minimale bactéricide	48

1 .5 .Effet antimicrobien :.....	49
2. Discussion	50
Conclusion	55
Référence bibliographiques	56
Annexe	



Introduction :

Introduction

Depuis des milliers d'années, l'humanité utilise diverses plantes trouvées dans son environnement, afin de traiter et soigner toutes sortes de maladies. En effet, les plantes représentent un réservoir immense de composés potentiels attribués aux métabolites secondaires qui ont l'avantage d'être d'une grande diversité de structure chimique. De plus, les extraits de plantes possèdent un très large éventail d'activités biologiques essentiellement antimicrobiennes.

Le figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica* L.) en fait un exemple typique de cette fortune végétale encore délaissée localement suite aux attitudes d'ignorance de la population et dont la communauté connaisseuse essaye sans répit de mettre en avant ses multiples qualités avantageuses. Ces cactus sont de véritables survivants à la sécheresse et aux conditions drastiques des climats arides et semi-arides, grâce à leurs capacités adaptatives étonnantes incluant des mutations morphologiques jumelées à des métamorphoses physiologiques et métaboliques. Dès lors, ces plantes font l'objet des projets de développement agricole et de programmes d'aménagement rural dans plusieurs pays du monde (Arba *et al.*, 2000).

A l'égard de ses fruits délicieux, la partie végétative aplatie nommée cladode, notamment celle en jeune stade de croissance, ne manque pas d'intérêt au vu de ses qualités nutritives et fonctionnelles mais surtout de son capital phytochimique. La vulgarisation de l'usage de ces jeunes cladodes appelés nopals légumes, passe inévitablement par leur réhabilitation scientifique comme mesure informative rationnelle sur son importance socio-économique.

L'utilisation d'extrait de cladodes comme alternative de valorisation d'une partie des composants de valeur biologique, médicinal et alimentaire peut s'avérer d'un grand intérêt, dans la mesure où l'on s'oriente de plus en plus vers la préparation des aliments multifonctionnels (basse calories, absence de cholestérol, fibres, vitamines, pouvoir antioxydant, effet positif sur la santé).

Cette étude vise à suivre l'effet d'extrait de raquettes d'*Opuntia ficus indica* vis-à-vis de la bactérie *Escherichia coli* responsable de plusieurs contaminations alimentaires et maladies infectieuses.

Pour atteindre les objectifs assignés plusieurs hypothèses ont été posées :

Introduction

- Est-ce que l'extrait de raquette a un effet bactéricide ou bactériostatique vis-à-vis du germe étudié ; *E coli*?
- A quelle concentration cet extrait manifeste une plus grande efficacité antimicrobienne contre la bactérie?

Le manuscrit est scindé en trois parties :

Une première partie bibliographique comportant deux chapitres dont le premier a été consacré à des généralités sur le figuier de barbarie et le second d'écrit d'une manière succincte et objective l'essentielles des informations sur *Escherichia coli*.

La deuxième partie rapporte le matériel et les méthodes utilisées afin d'aboutir l'étude expérimentale.

La dernière partie a été orientée à la critique et à la discussion des résultats achevée par une conclusion et des perspectives de recherche développement à entreprendre dans un future proche sur le domaine de valorisation du figuier de barbarie en Algérie..



Partie 1.
Synthèse bibliographique :

Chapitre I .Généralités sur la figue de barbarie

1. Historique et origine

Le figuier de barbarie ou *cactus nopal*, est une plante grasse appartenant à la famille des cactées et plus précisément au genre *Opuntia* qui est le nom Mexicain (**Schweizer, 1997**), une famille qui comprend environ 1500 espèces de cactus (**El kossori et al., 1998**). Cultivé principalement pour la production de fruits dans les climats chauds et nécessite une exposition bien ensoleillée, Il peut pousser dans des climats arides et semi-arides avec une répartition géographique englobant le Mexique, l'Amérique latine, l'Afrique du Sud et les pays méditerranéens. Originaire du Mexique, où elle est appelée nopal et figure dans les armoiries du drapeau mexicain. Il était inconnu en Europe avant les voyages de Christophe Colomb et fut décrit de façon précise pour la première fois en 1535 par l'Espagnol Gonçalo Hernández de Oviedo y Valdés dans son « Histoire des Indes Occidentales ». Le figuier de barbarie est arrivé en Europe vers 1552, ramené par les Espagnols. Au début du seizième siècle, le figuier de barbarie s'étend sur le bassin méditerranéen suite aux expansions espagnoles et aussi par le retour des arabes à leur pays dans le nord-africain suite à leur expulsion par Philippe III en 1610. Les arabes ont ramené avec eux des raquettes qu'ils ont plantées autour de leurs villages La culture du cactus est pratiquée de façon intensive et moderne avec des programmes de recherche et de développement pour la production du fruit ou de fourrage et même pour des usages industriels (**Keller et al., 2009**).



Figure 1. Fiquier de barbarie (*Opuntia ficus indica*)

2. Distribution géographique

La répartition géographique de la figue de barbarie est illustrée dans la carte suivante. La couleur verte désigne le pays d'origine du figuier de barbarie (Mexique), la couleur noire

désigne les aires de distribution : Brésil, Chili, Etats Unies, Inde, Italie, Espagne, Erythrée, Portugal, Algérie, Tunisie, Libye, Maroc, Afrique du Sud, Ethiopie, Soudan, Tanzanie, Kenya et Uganda (*Barbera et al., 1992* ; *Nerd& Mizrahi, 1994* ; *Felker et al., 2005* ; *Kabas et al. 2006* ; *Saleem et al., 2006* ; *Snyman, 2006*).

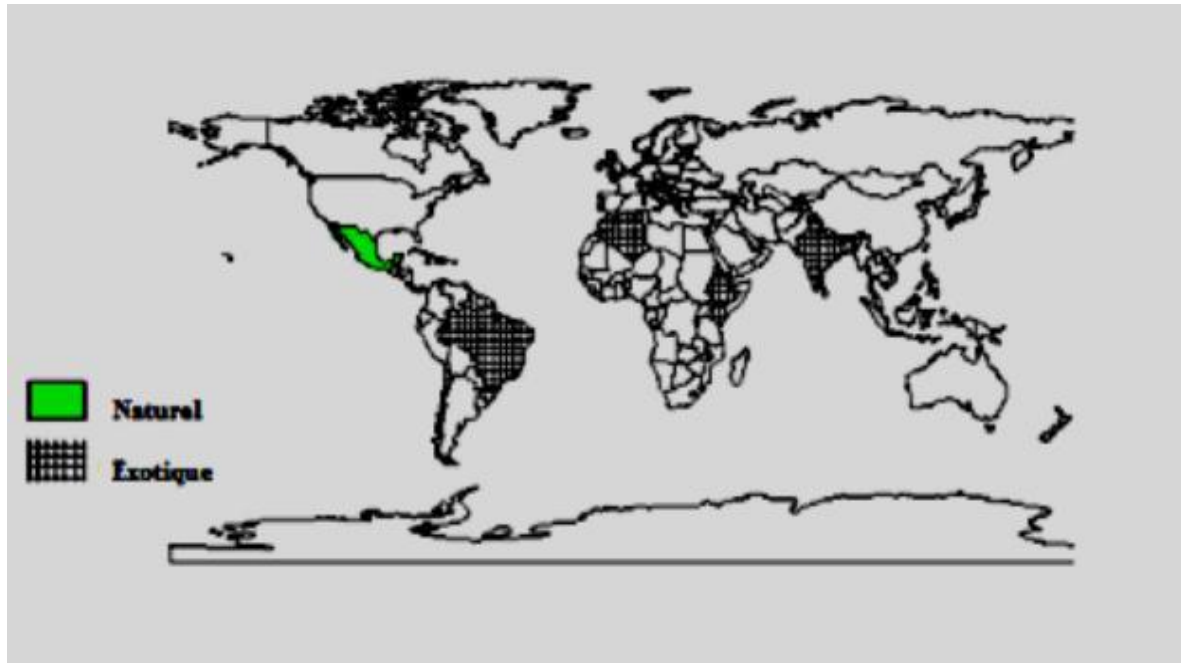


Figure 2.Distribution géographique du figuier de barbarie dans le monde (*Orwaet al., 2009*)

3. Répartition en Algérie

En Algérie, les plantations du figuier de barbarie sont réparties dans les hauts plateaux, à Batna, Biskra et Bordj-Bou-Argeridj, Constantine, sur les hauts plateaux Algérois à 550 mètres, et environs 750 mètres à M'sila, Laghouat et même à 1100 mètres à Ain-Sefra. Du centre à l'ouest, l'Opuntia occupent une superficie dépassent les 25.000 hectares par exemple, on le trouve sur les hauteurs de Chréa, Bouarfa (wilaya de Blida), dans les wilayas de, Boumerdès, Tipaza, Tissemsilt, Chlef, Relizane, Mostaganem, Ain-Temouchent, Oran, Mascara, Sidi-bel Abbès, Tlemcen, dont la meilleure cueillette des figues de barbarie, est celle qui se réalise sur les hauteurs des montagnes, spécialement en milieu rocailleux, a l'exception des montagnes et des zones sahariennes (*Paolo et al., 2018*)

Tout comme dans d'autres pays Africains, la culture suscite de l'intérêt en Algérie qui a aujourd'hui sa première unité de transformation de figues de Barbarie. L'installation - basée à Sidi-Fredj et couvrant 5000 m² - peut transformer environ 2 tonnes à l'heure (*Bouguerche et al., 2010*). Ses principales fonctions sont le conditionnement des figues de barbarie et la

production d'huiles essentielles, de produits pharmaceutiques, de jus, de confitures et d'aliments du bétail. L'usine de transformation représente un moyen important pour améliorer les revenus des habitants de la wilaya de Souk Ahras (**Paolo et al., 2018**).

4. Classification

De nombreux auteurs ont élaboré des classifications du genre *Opuntia*. **Wallace et Gibson (2002)** ont rapporté celle qui suit :

Règne : Plantae

Sous-règne : Spermaphyte

Division : Angiosperme

Classe : Dicotylédones

Sous- classe : Caryophyllale

Famille:Cactaceae

Sous-famille:Opuntioideae

Genre:Opuntia

Espèce:*Opuntia ficus indica*

L'espèce peut porter un nom différent selon l'idiome local. En Espagne, outre Nopal, on l'appelle familièrement Tuna, dans les pays francophones du bassin méditerranéen. L'*Opuntia* est surnommé figuier de barbarie; en Angleterre : Pricklypear (poire à épines) (**Schweizer, 1997**), en Egypte : El-Tin-el-choki et en Algérie, plus précisément en Kabylie, elle est surnommée Akermousse.

5. Espèces et variétés de figuier de Barbarie

Les espèces les plus connues du figuier de barbarie sont l'*Opuntia inermis* (*Opuntia vulgaris*), très prisée en Espagne, en Afrique du Nord et dans bien d'autres pays, *O. monacantha* et *O. dillenii* privilégiées en Chine et enfin, *Opuntia ficus-indica* (figuier de barbarie) espèce comestible et médicinale qui est largement distribuée (**Schweizer, 1997**).

La distinction entre les différents cultivars est basée sur la forme et la qualité des fruits et sur la période de floraison et de la maturité des fruits (**Schweizer, 1997; Araba et al., 2000**) :

Les variétés inertes : souvent domestiquées et cultivées sur des surfaces limitées. Les plants issus de semis sont épineux la première année et les aiguillons disparaissent à partir de la deuxième année.

Les variétés épineuses : caractérisées par des épines longues. Il paraît que c'est une variété qui entre en production tardivement après la 6ème ou la 7ème année de plantation. Il semble qu'il n'y ait pas de variétés absolument inermes, mais à aiguillons plus ou moins rares (**Schweizer, 1997; Araba et al., 2000**).

6. Description botanique

Le figuier de Barbarie est une plante arborescente résistante de 3 à 5 m de haut, constituée d'un tronc épais et ligneux et une organisation en articles aplatis, de forme elliptique ou ovoïdale de couleur vert, de longueur qui varie de 30 à 50 cm, une largeur de 15 à 30 cm et une épaisseur de 1.5 à 3 cm appelés cladodes ou raquettes (**Aknouche , 2018**).

Les cladodes assurent la fonction chlorophyllienne et sont recouvertes d'une cuticule cireuse (la cutine) qui limite la transpiration et les protège contre les prédateurs. Les cladodes, très fibreux, retiennent l'eau et permettent à la plante de résister à la chaleur et à la sécheresse (**Massdak, 2018**). Ses fleurs, marginales sur le sommet des cladodes, sont hermaphrodites, de couleur jaune et deviennent rougeâtres à l'approche de la sénescence de la plante (figure «b»). Ses fruits sont des baies charnues ovoïdes ou piriformes pourvues d'épines (figure 2d). Ils sont généralement verdâtres ou jaunes à maturité (**Espinosa et al., 1973**). La pulpe est toujours juteuse, de couleur jaune-orangé, rouge ou pourpre parsemée de nombreuses petites

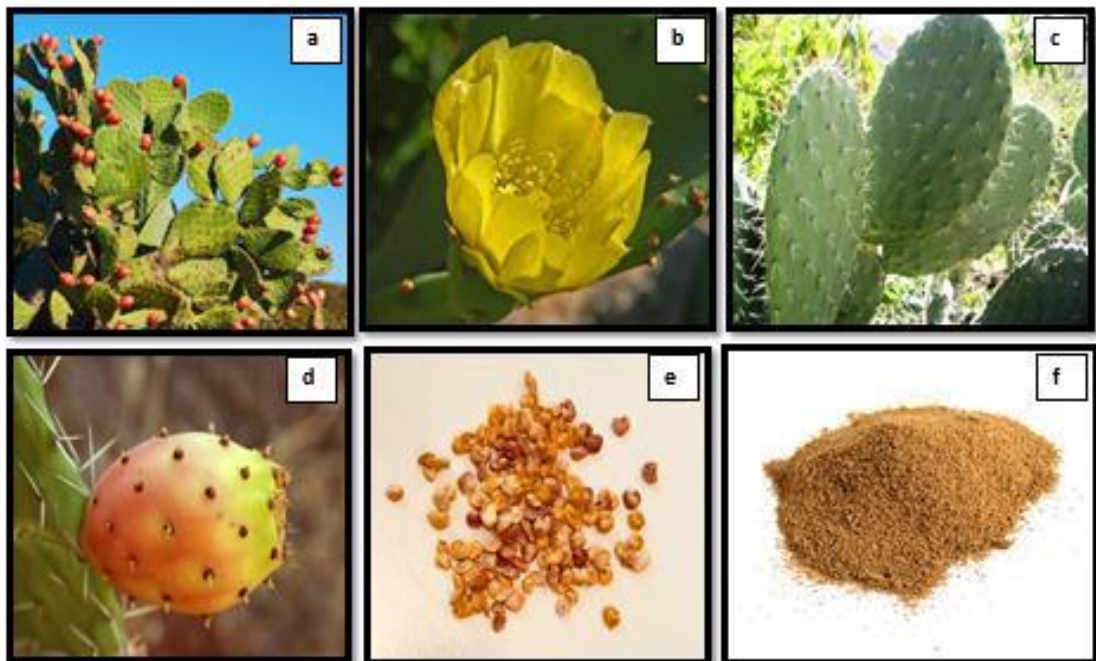


Figure 3.Description botanique du figuier de barbarie ((a)Le figuier de barbarie :b) fleur ,(c) cladode, d) fruits, e) graines, f) poudre des graines)(Aknouche, 2018).

7. Importance économique et écologique du figuier de barbarie

L'adaptation du figuier de barbarie aux conditions désertiques et semi-désertique lui permet de constituer une culture à intérêt écologiques et socio-économiques indéniables. En effet, il constitue un bouclier contre la désertification et l'érosion des sols. Il est également cultivé pour la régénération des terres. Il ne demande pas de pratiques culturales spécialisées ni d'apport de fertilisants. Mais malgré ses attraits naturels, peu d'intérêt a été accordé à cette espèce jusqu'aux années 70, avec le développement des marchés des fruits exotiques dans plusieurs pays, les efforts se sont multipliés pour en faire une culture industrielle, soit en tant que culture fourragère, soit en tant que culture maraîchère. La production de fruits destinés à l'alimentation humaine et son usage fourrager pour l'alimentation animale reste cependant l'aspect le plus recherché et le plus développé (Neffar, 2012)

8. Composition :

La figue de barbarie est un fruit succulent, peu acide et riche en sucres ; ce qui le rend délicieux et doux (Kaanane, 2000 ; Piga, 2004 ; Feugang et al., 2006).

La composition moyenne de la figue de barbarie est résumée dans le tableau suivant :

Tableau 1.Composition du figuier de barbarie (Piga, 2004)

Paramètres	Valeur	Paramètres	Valeur
Pulpe (%)	43-57	Mg (mg/100g)	16.1-98.4
Graines (%)	2-10	Na (mg/100g)	0.6-1.1
Epluchure (%)	33-55	K(mg/100g)	90-217
pH	5.3-7.1	P (mg/100g)	15-32.8
Acidité (% ac.citrique)	0.05-0.18	Proline (mg/L)	1768.7
Eau (%)	84-90	Glutamine (mg/L)	574.6
Protéines (%)	0.2 – 1.6	Taurine (mg/L)	572.1
Lipides (%)	0.09-0.7	Serine (mg/L)	217.5
Fibres (%)	0.02-3.1	Alanine (mg/L)	96.6
Sucres totaux (%)	10-17	acide Glutamique (mg/L)	83.0
Vitamine C (mg/100g) 1	1-41	Méthionine (mg/L)	76.9
Ca (mg/100g)	12.8-59	Lysine (mg/L)	53.3

L'*Opuntia ficus-indica* est caractérisé par un pH relativement élevé (5.3-7.1) comparé à celui d'autres fruits, et une acidité relativement faibles (0.05-0.18%) (Kaanane, 2000 ; Piga, 2004 ; Feugang et al., 2006).

En raison de sa haute teneur en eau, sa valeur calorique totale est faible, elle est de 50 Kcal/100g comparable à celle d'autres fruits tels que les poires, les abricots et les oranges

(Feugang et al., 2006).

Le fruit est riche en sucres, majoritairement représentés par le glucose et le fructose.

Le glucose, dominant, est une source d'énergie immédiatement disponible pour le cerveau, tandis que le fructose permet une amélioration de la saveur du fruit (Schweizer, 1997;

Russel et Felker, 1987; El Kossori et al., 1998 ; Feugang et al., 2006). Une teneur plus élevée en vitamine C, comparée à d'autres fruits tels que la pomme, la poire, les raisins et la banane, a été notée (Piga, 2004). Seules des traces de vitamines B1, B6, niacine, riboflavine et acide pantothénique ont été trouvées (Stintzing et al., 2000 ; Stintzing et al., 2001 in Feugang et al., 2006).

La figue de barbarie montre une composition intéressante en minéraux, particulièrement, le potassium (90-217 mg/100g), le calcium (12.8-59 mg/100g) et le magnésium (16.1-98.4mg/100g) (Piga, 2004 ; Feugang et al., 2006) ; des niveaux élevés d'acides aminés libres, dont la proline (1768.7mg/L), glutamine (574.6 mg/L) et la taurine (572.1 mg/L) ont été également rapportés (Kaanane, 2000 ; Piga, 2004 ; Feugang et al., 2006).

9. Utilisations des différentes parties du figuier de Barbarie

OFI (*Opuntia ficus-indica*) est une plante qui contient la majorité des éléments dont notre organisme a besoin pour son bon fonctionnement. Elle est utilisée dans différents domaines : en médecine, en pharmacologie, en agroalimentaire, en cosmétique ; elle est aussi utilisée comme clôture, dans le greffage, etc.

Le tableau suivant résume quelques utilisations de différentes parties de cette plante.






Tableau 2.Utilisation des différent partie *d'OFI* (*Opuntia ficus-indica*) :

Partie utilisée	Domaines d'utilisation	Références
Fruit	<ul style="list-style-type: none"> -Substitut de l'eau potable. -Aliment de base en cas de famine. -Fabrication de jus, concentrés, confitures et marmelades, etc. -Production de pectine. -Prévention des maladies telles que le diabète, certains troubles cardio-vasculaires, les infections de l'appareil urinaire et les troubles digestifs. 	(Rabemanantsoa, 2010 ;Alimi et al., 2010)
Fleur	<ul style="list-style-type: none"> -Apiculture (source nutritive très appréciée par les abeilles). -Remède contre le dysfonctionnement de la prostate et contre les insuffisances rénales. -Le bouilli des fleurs séchées est utilisé en pharmacopée traditionnelle, aux brûlures et coups de soleil. 	Rabemanantsoa, 2010 ;Ennouri et al., 2005)
Cladode	<ul style="list-style-type: none"> -Production de conserves à base de vinaigre. -Utilisation en tant que légumes. -Complément alimentaire pour les bovins et les ovins. -Matière première pour la fabrication de shampoing, crèmes capillaires et laits hydratants pour le visage. -Production d'adhésif. -Barrière contre la désertification et l'érosion des sols. -Production d'éthanol par fermentation. -Transformé en farine pour remplacer celle de blé dans les Cookies. 	(Del-Valle et al., 2005; Hadj Sadok, 2010)
Graine	<ul style="list-style-type: none"> -Extraction d'huile utilisée dans les produits cosmétiques. -Production de farine. -Réduction des risques de maladies cardio-vasculaires et maladies coronariennes 	(Ennouri et al., 2006)

9.1 Formes d'utilisation

Le figuier de barbarie est généralement consommé frais, mais d'autres formes d'utilisations existent (Tableau).

Tableau 3.Formes d'utilisation de figuier de barbarie (Temagoult, 2017)

Forme	Description	Photographies
Jus	-Obtenu du fruit sans ajout d'eau ni de sucre, donne une délicieuse boisson qu'il faut boire fraîche, le plus rapidement possible après sa production.	
Flours séchées de figuier de barbarie	-Utilisées dans la tradition berbère, comme infusion pour soulager les douleurs gastro-intestinales et prévenir les ulcères grâce à ses propriétés anti-inflammatoires. -En macérât ou en lotion, elles seront un soin Cosmétique anti-âge.	
Farine de cladode	-Contient 16.5 % de protéines et 48 % de fibres. -Riche en acides gras essentiels, stérols et vitamine E. -Utilisée comme exfoliant, anti-âge et pour produire Une maceration precious	
Confiture	-Sélection rigoureuse de fruits de tout premier choix associée au sucre de canne	
Vinaigre	-Extrait de la pulpe de figue de barbarie. -Il a un arôme riche, savoureux et fruité avec une légère acidité et son goût très raffiné. -A plusieurs qualités nutritives et cosmétiques. -Stimule la flore intestinale. -Améliore la digestion et renforce les défenses naturelles.	

10 .Anatomie et histologie des cladodes

10. 1. Peau

La peau est composée d'une couche épidermique continue de cellules plates, fines, en forme de pavé, et de 6 à 7 couches de cellules hypodermiques très résistantes, avec une épaisse paroi cellulaire ressemblant à du collenchyme lamellaire (**Inglese, 2018**). Ces deux couches forment une barrière efficace pour éviter les dommages physiques et maintenir l'intégrité mécanique. L'épiderme d'une épaisseur de 117.33 à 120 μm , constitue la couche protectrice la plus périphérique du corps du cactus qui comporte des stomates, régule le mouvement du CO_2 entrant et de l' O_2 sortant et retient l'eau dans le corps de la plante, alors que l'hypoderme joue le rôle de première ligne de défense contre les champignons, les bactéries et le broutage par de petits organismes (**Mauseth, 1984; Ventura-Aguilar et al., 2017; Inglese, 2018**).

La paroi externe de l'épiderme est imprégnée et couverte d'une couche relativement épaisse (8-20 μm) d'une substance cireuse résistante à l'eau, appelée cutine. Chimiquement, cette couche donnant aux cladodes leur apparence glauque, est un mélange d'acides gras qui se polymérisent spontanément en présence d'oxygène, pour se révéler, sous microscope électronique, en agrégats de plaques semi-verticales et écailles semi-verticales (**Metcalf et Chalk, 1979;Mauseth, 1984**).

Cette cire rugueuse autour des cellules épidermiques retient la vapeur d'eau dans la plante et repousse l'eau de surface comme elle reflète les radiations solaires, réduisant ainsi la température de la tige (**Gibson et Nobel, 1986**). En outre, la surface pliée de l'épiderme, au lieu d'une surface lisse, affecte la force, la flexibilité et la capacité du rameau à se gonfler sans se déchirer. Ceci est expliqué par le fait que la surface plissée assure, lorsque l'eau est absorbée par les cladodes, un écartement des bases des côtes et une augmentation du volume sans requérir un accroissement de superficie (**Mauseth, 2000;Mauseth, 2006**).

Contrairement aux plantes à graines, l'épiderme des Cactaceae persiste durant des décennies comme un tissu vivant et est finalement remplacée par l'écorce « le périderme », via le processus de vieillissement. La formation du périderme est également possible par les tissus du cortex en cas de rupture de la peau par blessures (**Mauseth, 2006**)

Par ailleurs, l'épiderme contient des cristaux d'oxalates de calcium nommés druses. En dépit de leur passivité physiologique et osmotique, ces cristaux peuvent devenir un moyen de défense en rendant plus difficile la mastication de la peau par les insectes (**Ventura-Aguilar et al., 2017;Inglese, 2018**).

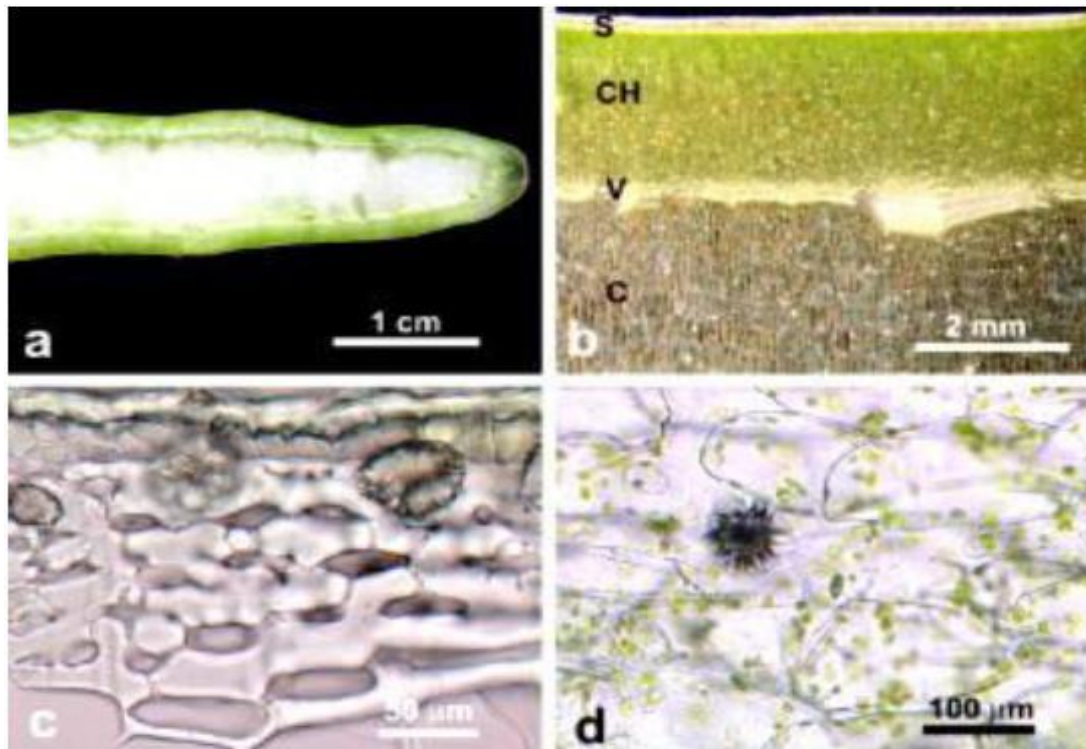


Figure 4. Morphologie des cladodes de barbarie, (a) : Coupe transversale (CT) de l'ensemble de la cladode ; (b) : CT des couches extérieures de la cladode montrant la peau (S), chlorenchyme (CH), vaisseaux conducteurs (V), parenchyme (C) ; (c) : CT de la peau montrant un hypoderme à parois épaisses ; (d) : CT du chlorenchyme avec des plasmides et des cristaux oxalate (Ginestra *et al.*, 2009).

10. 2. Cortex

L'*Opuntia* a un épais cortex palissadique chlorophyllien nommé chlorenchyme, recouvrant un cortex interne moins ou non chlorophyllien appelé parenchyme (Mauseth, 2005). Le chlorenchyme d'*Opuntia* est disposé en longues rangées radiales de cellules parenchymateuses chlorophylliennes et succulentes, séparant l'hypoderme et l'anneau de faisceaux vasculaires. C'est la partie verte qui contient les chloroplastes et assure principalement la fonction de photosynthèse (Inglese, 2018).

Le parenchyme ou "tissu blanc" est formé de cellules parenchymateuses sphéroïdales homogènes avec de petits espaces intercellulaires, dont les chloroplastes sont substitués par d'autres organites à l'exemple des amyloplastes. En plus de son action essentielle de stockage d'eau, cette partie est l'usine chimique qui produit les hormones, alcaloïdes, composés phénoliques et autres produits formés par le métabolisme de la plante (Mauseth, 1984; Saveja *et al.*, 1991; Ventura-Aguilar *et al.*, 2017; Inglese, 2018).

Les deux parties ; verte et blanche, contiennent des idioblastes, remplis avec du mucilage ou de cristaux plus petits que ceux des cellules épidermiques (Mauseth, 1984 ; Saveja et Mauseth, 1991).

10. 3. Tissus vasculaires

Sous le cortex, toutes les tiges d'*Opuntia*, même les cladodes les plus plats, ont un unique anneau de faisceaux vasculaires collatéraux avec un tissu mou entre eux (eustèle), correspondant au cambium fasciculaire ou rayons médullaires. Ces tissus vasculaires sont connectés au tissu méristématique des aréoles et forment un réseau élaboré de faisceaux accessoires très finement fenestrés (Bailey, 1961; Gibson, 1976; Mauseth, 2004; Inglese, 2018). Le xylème au nombre de 4 à 9 vaisseaux par mm² est simple et ses éléments de vaisseaux de 75 µm de large, sont caractérisés par des épaisissements hélicoïdaux et annulaires, avec des perforations scalariformes ou réticulées dans la paroi secondaire (Hamilton, 1970; Jiménez-Sierra et Reyes, 2000; Pimienta-Barrios *et al.*, 2003). Cependant, les cellules mucilagineuses et les grains d'amidon sphéroïdaux sont abondants autour des faisceaux vasculaires (Inglese, 201

10. 4. Moelle

La moelle d'*O. ficus indica* est faite de larges cellules parenchymateuses sphéroïdales, à fines parois cellulaires, similaires à celles du cortex intérieur. Ses cellules les plus proches des faisceaux vasculaires contiennent souvent de nombreux grains sphéroïdaux d'amidon ou du mucilage et quelques petites druses (Inglese, 2018).

10. 5. Stomates

Les stomates abondants et régulièrement distribués chez les autres Cactaceae, sont aléatoirement distribués et peu nombreux (15-35 par mm²) chez *O. ficus-indica* (Mauseth, 1984; Sajeja et Mauseth, 1991).

Les cellules de garde de 40 µm sont entourées par 3-4 rangées de cellules subsidiaires et encastrées de façon à ce que le pore soit caché de la surface de la tige (fig.6). Le canal substomatal, proéminent à travers le tissu hypodermique sclérenchymateux, se relie à la chambre sous-stomatique située dans le chlorenchyme, ce qui forme un passage pour les échanges gazeux entre l'atmosphère et le tissu photosynthétique (Inglese, 2018).

10. 6.Cellules mucilagineuses

Les cladodes d'*Opuntia* ont de larges canaux doublés avec un épithélium pluristratifié, remplis par des cellules mucilagineuses non-attachées par la lamelle moyenne, flottant librement dans le mucilage extracellulaire. Les cellules mucilagineuses sont présentes dans tous les types de tissus : hypodermique, cortical, vasculaire et moelle. Elles produisent des petites vésicules de mucilage dont le contenu est déposé en dehors du cytoplasme quand sa quantité augmente. Par la suite, la cellule productrice meurt et tous ses organites se décomposent, laissant seulement du mucilage (fig.5). Les conduits mucilagineux sont formés par une dégradation lysogénique des parois séparant les cellules mucilagineuses (**Freeman, 1969; Gibson et Nobel, 1986; Mauseth, 1980, 2005**).

Le mucilage formé par des glucides indigestibles, constitue 14 % de la matière sèche de cladode, il est très glissant, complexe et aide à retenir l'eau à l'intérieur de la plante (**Gibson et Nobel, 1986**).

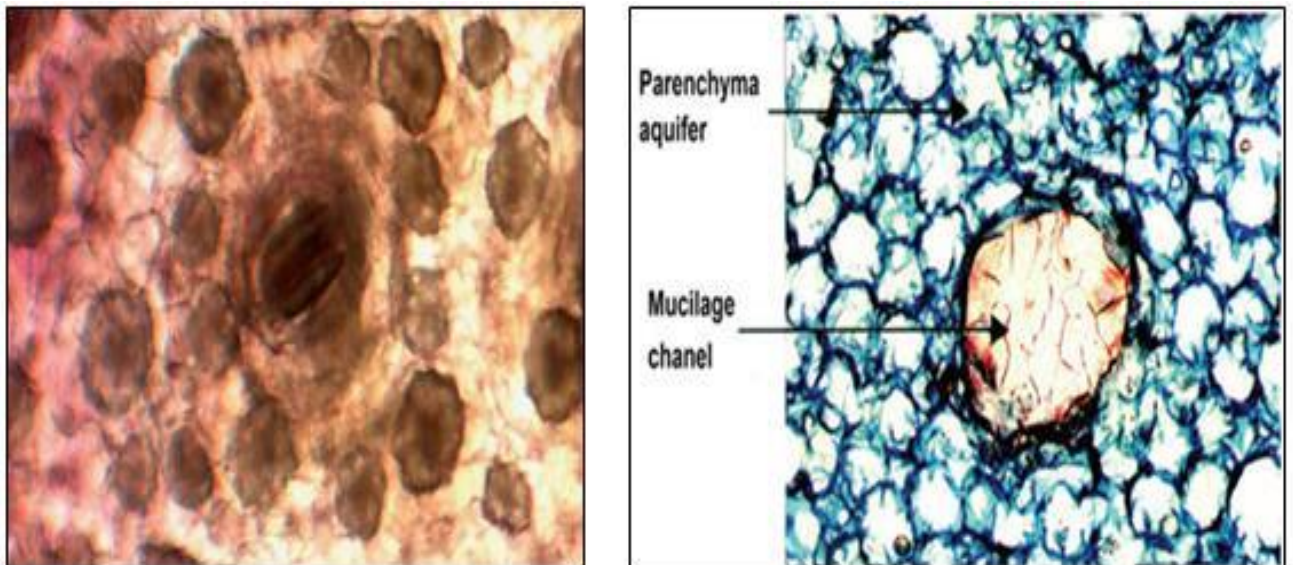


Figure 5 . Morphologie d'un stomate entouré par des druses (à gauche) et d'un canal de mucilage (à droite) (**Olvera et Romero, 2006;Inglese, 2018**).

1. 7 Epines et glochides

La présence d'épines chez *O. ficus-indica*, est la caractéristique particulière des aréoles et il est possible d'en distinguer deux types : épines et aiguillons (glochides), tous les deux considérés en tant qu'équivalents morphologiques des feuilles, à un nombre et une durée dépendant de leur type (fig.6) (**Boke, 1944; Robinson, 1974; Anderson, 2001**).

Pour ce cactus, un nombre variable d'épines blanches se développe à partir des aréoles, mais il y a souvent une ou deux longues épines centrales (1 à 3 cm), plus épaisses, composées par des cellules allongées à paroi lignifiée ; chacune est accompagnée par deux épines latérales plus courtes (**Gibson et Nobel, 1986; Anderson, 2001**)

Généralement, ces épines sont présentes au premier stade de croissance du cladode et la plupart tombent avec l'augmentation de la température, persistant parfois seulement à la base des cladodes pour une longue période. Les épines sont formées en séries et on peut noter que pendant que leur pointe se durcit, le méristème basal continue de s'allonger (**Buxbaum, 1950; Mauser, 1984**). Elles représentent 8.4% du poids total du cladode, avec une constitution majoritairement polysaccharidique (96%), divisée en cellulose (47.9%) et hémicellulose (48.4%). le reste comporte la lignine, les cendres, la graisse et de très petites quantités de cires (**Malainee et al., 2003**). De plus, les épines ont une surface rugueuse qui résulte de leur recouvrement par une cuticule de protection contre la dessiccation. Les couches hydrophobes des épines sont empilées et décalées de manière circulaire en raison de la croissance de la colonne vertébrale à partir du cladode, ce qui conduit à une section mince à l'extrémité et à une section plus grande près du cladode (**Malainee et al., 2003**).

Ainsi, les cultivars sans épines se caractérisent par d'abondants dépôts de cire épicuticulaire rugueuse et cristalloïde et par des épines caduques et fissurées, tandis que les cladodes épineux présentaient une cire lisse amorphe et des épines fortes et persistantes (**Salem-Fnayouet et al., 2014**). Par leur présence, les épines évitent la prédation par les herbivores, réfléchissent la lumière, ombrent la tige, et permettent donc la réduction de la perte en eau ainsi que la condensation du brouillard (**Anderson, 2001; Jiménez-Sierra et Reyes, 2000; Pimienta-Barrios et al., 2003**). Les glochides du figuier de barbarie apparaissent simultanément aux épines. Ils sont minuscules, courts et multicellulaires, en plus d'être pointues, barbelées et décidues. Ils confèrent leur couleur brune aux aréoles (**Anderson, 2001; Inglese, 2018**). Ils sont composés de microfibrilles parallèles de cellulose cristalline (à 100%) exempte d'hémicellulose, avec 0.4 mm de longueur et 6 à 10 μm en diamètre, ancrées dans un gel solide, tissé et serré d'arabinose (**Pritchard et Hall, 1976; Waldron et al., 1996; Malainee et al., 2003; Vignon et al., 2004**). Or, la surface des glochides est lisse, mais dure et sclérifiée ; puisque couverte d'écailles barbelées (**Buxbaum, 1950**). Les glochides s'arrangent en 4-6 touffes serrées attachées aux cavités des aréoles, incluant chacune 7-12 aiguillons. Quoique, le développement d'un phellogène sur la région corticale extérieure autour de la base de chaque touffe, rend ces glochides facilement retirables quand ils sont

touchés ou soufflés par le vent. Leur fonction précise reste incertaine, mais ils peuvent condenser l'eau de l'air (**Buxbaum, 1950**).

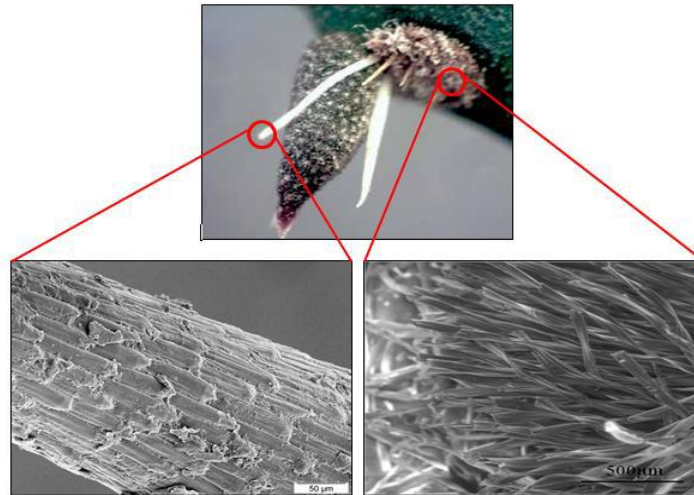


Figure 6. Morphologie d'une aréole de cladode présentant deux épines, une feuille éphémère et plusieurs glochides brunâtres (**Malainine et al., 2001; Salem-Fnayouet et al., 2014; Inglese,**)

11. Composition chimique des cladodes

La composition chimique des cladodes varie en fonction des facteurs édaphiques, l'endroit de la culture, la saison et l'âge de la plante. Par conséquent, les teneurs en éléments nutritifs respectifs varient à la fois entre les espèces et les variétés et ils ne devraient pas être pris comme des valeurs absolues (**Stintzing and Carle, 2005**).

Tableau 4. Principaux composants des cladodes du figuier de Barbarie (**Stintzing and Carle, 2005**)

Composants	Matière sèche (g/100g)	Poids frais (g/100g)
Eau	-	88-95
Glucides	64-71	3-7
Cendres	19-23	1-2
Fibres	18	1-2
Protéines	4-10	0,5-1
Lipides	1-4	0,2

Les jeunes cladodes ont des valeurs élevées en glucides, en protéines, et la teneur en eau. Fait intéressant, la fertilisation faible en azote conduit à une augmentation de la teneur en protéines brutes, alors que pour l'alimentation des animaux et spécialement les vaches allaitantes, les doses d'azote recommandées sont de 224kg /ha. Un supplément de 112 kg /ha de phosphate améliore la faible teneur en phosphate des cladodes (**Pimienta-Barrios et al.,1994**). Au cours de la croissance, l'ossature fibreuse est décomposée dans le parenchyme, mais se développe dans le cortex. Cependant, les protéines totales et les fibres diminuent avec l'âge. Le jus de cladodes présente un pH de 4,6 avec 0,45% d'acidité titrable et 6,9 g /100 g de matières sèches (**Stintzing and Carle,2005**).

Les cladodes ont une haute teneur en calcium et en fibres. Elles sont moins nutritives que les épinards et plus nutritives que la laitue (Stintzing and Carle, 2005). La teneur en eau varie entre 88 à 95%, elle donne aux cladodes une valeur alimentaire en étant pauvre en calories (27 kcal /100 g) (**Murillo-Amador et al. ,2002**).

11.1. Composants à faible poids moléculaire

a) Minéraux

Le potassium est le principal minéral, il occupe 60% de la teneur totale en cendres (166 mg /100 g de poids frais), suivie par le calcium (93 mg /100 g de poids frais), sodium (2 mg /100 g de poids frais) et le fer (1,6 mg/100 g de poids frais) tandis que le magnésium n'a pas été détecté (**Munoz de chaves et al. 1995**). Des études récentes ont démontré que la composition minérale est de 50 mg /100g de poids sec, 18-57 mg /100g de poids secs pour le potassium, 11-17 mg /100 g pour le calcium et magnésium, suivie du manganèse (62-103 µg /g), du fer (59-66 µg /g), du zinc (22 à 27 µg /g) et du cuivre (8-9 µg /g). Encore une fois, ces valeurs doivent être considérées comme approximatives puisque les teneurs en minéraux varient avec les espèces, le site de culture et l'état physiologique du tissu de cladode. Il est à noter que le calcium joue un rôle crucial dans la rétention d'eau des tissus **succulents** (**Stintzing and Carle, 2005**).

b) Glucides

Les glucides constituent un total de 36% à 37% de l'ensemble du poids sec des cladodes La teneur en glucides est comprise entre 64 et 71 g /100 g par rapport au poids sec. Des variations peuvent dues aux facteurs agronomiques et environnementaux ainsi que l'âge du cladode. Les jeunes cladodes sont plus riches en glucides (**Ginestra et al. 2009**).

c) Acides organiques

L'acide malonique et l'acide citrique représentent respectivement 36 et 178 mg /100g de poids frais. En revanche, les cladodes âgées ne contiennent plus d'acide malonique. L'acide tartrique et succinique a été trouvé seulement en état de traces. L'augmentation de l'acide piscidique est due à l'augmentation avec l'âge ; alors que l'acide phorbique a été réduit de moitié de la valeur initiale. Les deux acides phorbique et piscidique sont rarement rencontrés dans le nature et limités aux plantes présentant un métabolisme acide succulent (CAM) (**Teles et al. ,1984**).

d) Acides aminés

Il existe 18 acides aminés compris dans les cladodes du figuier de barbarie (**Tableu.5**)

(**Bruckner et al. 2003**). La teneur en protéine est de 11g /100 g de poids frais ou de 0,5

g/100 de poids sec (**Teles et al. 1997**). D'autres auteurs ont confirmé qu'elle varie entre

77-112 mg/ g de poids sec en fonction du mois de récolte (**Retamal et al. 1987**). Les principaux acides aminés sont la glutamine, suivie par la leucine, la lysine, la valine, l'arginine, la phénylalanine et l'isoleucine (**El-Mostafa et al. 2014**).

Tableau 5.Composition en acides aminés dans les cladodes du figuier de barbarie (**Bruckner et al. 2003**).

Acides aminés	Poids frais (mg/100g)
Alanine	0,6
Arginine	2,4
Asparagine	1,5
Acide asparaginique	2,1
Acide glutamique	2,6
Glutamine	17,3
Glycine	0,5
Histidine	2,0
Isoleucine	1,9
Leucine	1,3
Lysine	2,5
Méthionine	1,4
Phénylalanine	1,7
Sérine	3,2
Thréonine	2,0
Tyrosine	0,7
Tryptophane	0,5
Valine	3,7

e) Acides gras

Les analyses chromatographiques des lipides totaux extraits à partir des cladodes de cactus montrent que la contribution totale en acide gras est de 13,87% pour l'acide palmitique (C16 : 0), 11,16% pour l'acide oléique (C18 : 1), 34,87% pour l'acide linoléique (C18 : 2) et 32,83%

pour l'acide linoléique (C18 : 3) (**Tableu5**). Ces quatre gras acides représentent ainsi plus de 90% des acides gras totaux. Les acides linoléiques et linoléniques constituent les principaux acides gras polyinsaturés (67,7%) (**Abidi et al. 2009**).

Tableau 6.La composition en acides gras dans les cladodes du figuier de Barbarie (**Abidi et al. 2009**).

Acides Gras	Matière sèche (g/100g)
C12 :0	1,33
C14 :0	1,96
C16 :0	13,87
C16 :1	0,24
C18 :0	3,33
C18 :1	11,16
C18 :2	34,87
C18 :3	33,23
C20 :0	-
C22 :0	-
C22 :1	-
C24 :0	-

f) Vitamines, caroténoïdes et chlorophylles

La teneur totale de la vitamine C (acide ascorbique et déhydroascorbique) dans 100 g de matière fraîche s'élève à 22 mg, b-carotène à de 11,3 à 53,5 µg, thiamine à 0,14 mg, riboflavine à 0,6 mg et niacine à 0,46 mg (**Tableu.7**)(**Stintzing and Carle, 2005**)

Tableau 7.Composition en vitamines dans les cladodes du figuier de Barbarie (**Stintzing and Carle, 2005**).

Vitamines	Pour 100 g de poids frais
Vitamine C totale	7-22 mg
Niacine	0,46 mg
Riboflavine	0,60 mg
Thiamine	0,14 mg
β-Carotène	11,3 – 53,5 µg

En ce qui concerne le profil des caroténoïdes, il y'a présence d'α-cryptoxanthine (20%), du β-carotène (36%) et de la lutéine (44%) sachant que le tout englobe une somme de 229 µg/ g de

poids sec .(Jaramillo-Flores et al., 2003) .Alors que la lutéine est typique des légumes verts, aucune information n'est encore disponible chez les cactus. Elle accompagne habituellement la chlorophylle dans les tissus végétaux verts tels que les épinards, la laitue ou les blettes (Stintzing et Carle, 2005).

La Chlorophylle totale dans les cladodes est estimée à 12,5 mg/ 100g de poids frais, sachant que la teneur en chlorophylle (a) est de 9,5 mg dépassant la chlorophylle (b) avec 3,0 mg (Guevara et al., 2001).

g) Composants phénoliques

La teneur en polyphénols totaux dans les cladodes mexicains représentent 8 à 9 mg/ 100 g de poids frais (Rodrigues-Felix, 2002).

Parmi les acides phénoliques qui ont été détectés : acide ferulique, acide p-Coumarique, acide 4-Hydroxybenzoïque, acide caféique, acide salicylique, acide gallique. Les flavonoïdes détectés sont : rutine, iso-quercitrine, nicotiflorine, narcissine (Tableu.8) (Guevara-Figueroa et al. 2010).

Tableau 8.Composition en polyphénols des cladodes de *l'Opuntia ficus-indica* (El-Mostafa et al. 2014).

Polyphénols	Matière sèche (mg / 100 mg)
Acide gallique	0,64-2,37
Coumarique	14,08-16,18
3,4- dihydroxybenzoïque	0,06-5,02
4-hydroxybenzoïque	0,5-4,72
Acide ferulique	0.56-34,77
Isoquercetine	2,29-39,67
Isorhamnetin-3-O-glucoside	4,59-32,21
Nicotiflorine	2,89-146,5
Rutine	2,36-26,17
Narcissine	14,69-137,1

11.2. Composants à haut poids moléculaire

La teneur moyenne de la cellulose dans les cladodes par rapport à la matière sèche est de 11%, hémicellulose 8% et la lignine 3,9% (Ben-Thlija, 2002).

La teneur en amidon dans les cladodes fluctue en fonction des saisons et atteint une valeur moyenne de 85 à 171 mg/ g de poids sec (Retamal et al. 1987).

Les hydrocolloïdes occupent 36% du volume total du cladode, cela est dû à leur grande capacité à gonfler. Le stockage de l'eau atteint 50% de leur poids total. Il est aussi à noter que les glucanes agissent comme source de carbone pour l'acide malique dans la CAM (**Sutton et al. 1981**).

La composition moyenne du sucre dans le mucilage du figuier de Barbarie est composée de 42% d'arabinose, 22% de xylose, 21% de galactose, 8% d'acide galactose turonique et 7% de rhamnose. La précipitation a été obtenue par addition de cation tel que le calcium, le plomb, le baryum, l'argent, le cuivre, le fer, le cobalt ou le nickel pour viser la déstabilisation du polyélectrolyte anionique (**Nobel et al. 1992**).

Il est à noter que la viscosité la plus haute du chlorenchyme a été enregistrée entre un pH 4 et 6 et étant plus faible pour le chlorenchyme. A pH entre 2 et 4, une légère augmentation a été détectée par contre il y'a pratiquement pas de modifications de viscosité entre un pH 6 et 10. Quand la valeur de pKa atteint 3,2 à 3,5 la molécule change de la forme globulaire à linéaire (**Majdoub et al. 2001**).

Le plus souvent dans la littérature, les auteurs ne font pas de distinction entre le mucilage et les pectines. Afin de prouver les différences chimiques de ces deux fractions macromoléculaires, un protocole d'extraction a été proposé pour les différencier. Alors que le mucilage ne forme pas un gel par addition de calcium, les pectines sont sensibles aux divalents cations. Avec le moyen de l'ultrafiltration, une séparation des molécules à un haut poids moléculaire (10%) et celle de faible poids moléculaire (90%) a été réalisée à partir d'un extrait de cladodes. Ce dernier est composé de 80% de protéines qui avaient une solubilité assez faible dans l'eau. Bien que la fraction de poids moléculaire élevé ait montré une légère sensibilité vis-à-vis du calcium en solution, aucune d'augmentation de la viscosité n'a été observée lors de l'addition du calcium pour les molécules à faible poids moléculaire. Ce n'est que lorsque la concentration du mucilage augmente de 10 g/100 g d'eau, qu'il y'a formation d'un gel du a des ponts intermoléculaire. Il a été conclu que la fraction de protéines en interaction avec polysaccharides forme des liaisons intermoléculaires (**Majdoub et al. 2001**).

12. Utilisation :

12 .1. Applications pharmaceutiques et cosmétiques

Traditionnellement, les cladodes de cactus contribuaient considérablement à l'alimentation humaine au Mexique et servent jusqu'à présent comme des agents thérapeutiques. En

médecine populaire, elles sont utilisées pour le traitement de la gastrite, de la fatigue, de la dyspnée et des maladies du foie suite à l'abus d'alcool (**Stintzing and Carle, 2005**).

Les cladodes chauffés ont été utilisées pour traiter le rhumatisme, les érythèmes et les infections chroniques de la peau, mais aussi pour améliorer la digestion et améliorer le processus général de désintoxication (**Munoz de chavez et al. 1995**). Récemment, des effets positifs des cladodes ont été démontrés sur l'hyperglycémie, l'acidose, et l'artériosclérose. Le rôle des polysaccharides des cladodes dans le secteur des médicaments est intéressant comme la réduction du cholestérol et son action préventive du diabète et les thérapies adipeuses. Depuis qu'il a été démontré que la fraction hydro colloïdale est également riche en protéines, davantage de recherches doivent être effectuées pour prouver si les effets positifs sont dus à des substances pectiques ou plutôt aux protéines (**Stintzing and Carle, 2005**). Depuis que lutéoléine est connue pour réduire considérablement le cholestérol par inhibition indirecte de la 3-HMG-CoA réductase qui est l'enzyme clé de biosynthèse du cholestérol. L'action des flavonoïdes sur le métabolisme du cholestérol serait intéressante à poursuivre (**Gebhardt, 2003**).

Les hydrocolloïdes d'*Opuntia* pourraient être appliqués dans les crèmes similaires à l'*Aloe vera*(L.) (**Eshun et al. 2004**).

12.2. Applications industrielles

Les propriétés ont été exploitées, et trouvent des applications dans de nombreux domaines industriels : en agroalimentaire, en cosmétique et dans l'industrie pharmaceutique. Grâce aux propriétés antimicrobiennes de certains polyphénols comme les flavan-3-ols, les flavanols et les tanins, il est désormais possible de développer des conservateurs alimentaires et des nouvelles thérapies dans de nombreuses maladies infectieuses en considérant la résistance microbienne face à certains traitements antibiotiques (**Daglia, 2012**).

La capacité antioxydante des polyphénols est utilisée dans l'alimentation pour lutter contre la peroxydation lipidique et ainsi permettre une meilleure stabilisation des denrées alimentaires. Ils sont également été préconisés pour améliorer la stabilité de pigments de jus colorés (comme le jus de betterave), d'arômes alimentaires, et rentrent dans la composition de produits pharmaceutiques pour des utilisations par voie orale et des produits cosmétiques pour des applications locales (**Moure et al. 2001**). Enfin, l'effet de certains flavonoïdes en médecine humaine est de plus en plus étudié dans le traitement de certaines maladies et particulièrement pour le contrôle du virus de l'immunodéficience, principal responsable du SIDA (**Sartori-Thiel, 2003**).

Les cladodes du figuier de Barbarie sont riches en polyphénols et principalement les flavonoïdes et les acides phénoliques (El-Mostafa et al. 2014). L'analyse des polyphénols présents dans le jus de cladode et leurs quantifications nous donneront une approche globale sur la composition et la concentration en polyphénols.

13. Impacts sur la santé :

Les polyphénols jouent un rôle très important sur notre santé et ils ont des activités et rôles différents :

Protection cardio-vasculaire : Les flavonols et les flavonoïdes sont à l'origine d'un effet cardio protecteur via leurs effets antioxydants (protection contre l'oxydation des LDL), l'inhibition de l'activité plaquettaire et leurs propriétés vasodilatatrices (Prior et al. 2001). L'action protectrice de l'acide gallique serait également due à son action antioxydante (piégeage des radicaux libres) (Priscilla et al. 2009). Le trans-resvératrol agit sur l'agrégation plaquettaire et la vasodilatation. En jouant sur le statut antioxydant, il régule par ailleurs l'expression génétique et mène à une diminution de la concentration totale en lipides (cholestérol et triglycéride) (Delmas et al. 2005).

Activité anti-cancérigène : Le xanthotumol agit sur les trois stades de la cancérogenèse (Collin et al. 2011). Le trans-resvératrol inhibe l'initiation et la croissance des tumeurs (Jang et al., 1999). Les flavonoïdes pourraient réduire le risque de cancer, bien que certaines activités procarcinogènes aient également été signalées (Collin et al., 2011).

Activité anti-inflammatoire : Les flavonoïdes altèrent la synthèse des eicosanoïdes (médiateurs de l'inflammation). Ils diminuent le rapport leucotriène/prostacycline en modifiant l'activité lipoxgénasique. Le trans-resvératrol montre des effets similaires (Collin et al., 2011).

Activité oestrogénique : Les prénylflavanones ont surtout été étudiés pour leur activité oestrogénique. L'hopéine est un phyto-oestrogène très puissant. Il est recommandé dans la prévention ou le traitement des symptômes de la (post)ménopause et de l'ostéoporose (Collin et al. 2011). Une activité oestrogénique a récemment été signalée pour certains stilbènes, tel que l'isomère trans du resvératrol (Baur et al. 2006).

Chapitre II. Généralité sur *Escherichia Coli*

1-*Escherichia Coli*

Escherichia coli est l'une des espèces bactériennes parmi les plus étudiées et les mieux connues dans le monde microbiologique, (Whitman et al., 1998). Les *E. coli* font partie de la famille des Enterobacteriaceae. Il s'agit de courts bâtonnets mobiles au moyen de flagelles péritriches, Gram Négatifs, anaérobies facultatifs, non sporulés, mesurant de 2 à 4 μm de long et d'un diamètre d'environ 0,6 μm (Figure 7). Ils sont capables de fermenter plusieurs sucres, mais leur fermentation du lactose avec production de gaz est caractéristique. La multiplication à 44°C (optimum 40°C et extrême à 45,5 °C), la production d'indole et la présence d'une activité β -glucuronidase sont également caractéristiques.

Les espèces d'*E. coli* sont sérotypées en se basant sur leurs 173 antigènes somatiques (O), 56 antigènes flagellaires (H) et 80 antigènes capsulaires (K) (Feng, 2001 ; Eslava et al., 2003). Le genre *Escherichia* comprend cinq espèces : *E. fergusonii*, *E. hermannii*, *E. vulneris* et *E. blattae*. Ces espèces sont différentes les unes des autres du point de vue phénotypique et hybridation ADN/ADN, ce dernier point est parfaitement semblable entre *E. coli* et *Shigella* ainsi que le pouvoir pathogène qui est identique, en effet les antigènes O de certains sérotypes sont fortement apparentés avec ceux de l'*E. coli* (Pelmont, 1995 ; Nichilin, 2000).

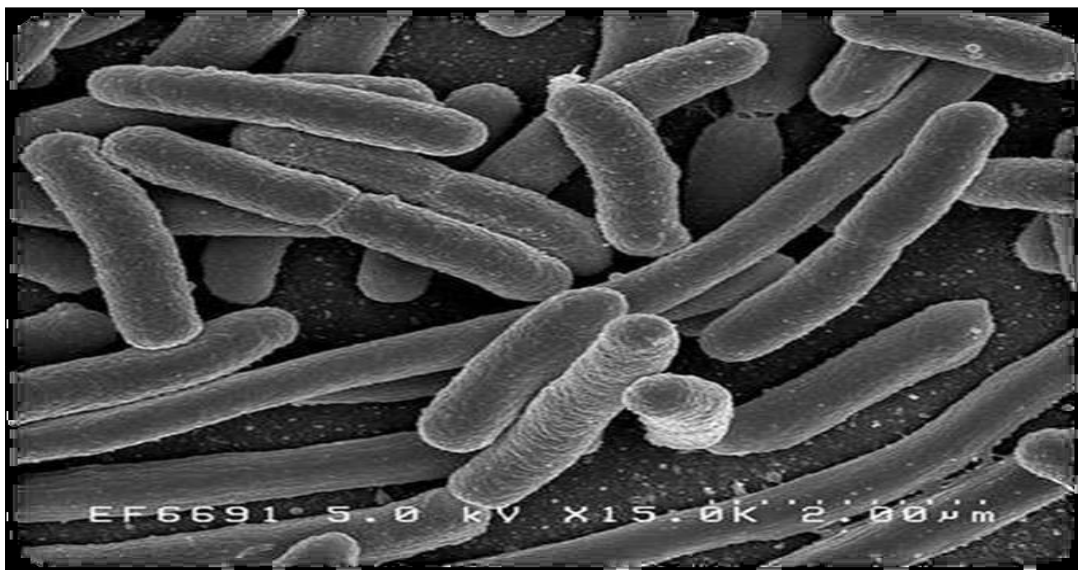


Figure 7. Vue au microscope électronique à balayage d'une culture pure d'*Escherichia coli* (Futura santé, 2019).

2-Habitat et écosystème

Selon l'OMS, (2018) *Escherichia coli* (*E.coli*) est une bactérie commensale que l'on trouve couramment dans le tube digestif de l'être humain et des organismes à sang chaud. La plupart des souches sont inoffensives. Certaines en revanche peuvent provoquer une intoxication alimentaire grave. *E.coli* est l'espèce prédominante de la flore aérobie-anaérobie facultative du tube digestif chez l'homme et chez de nombreuses espèces animales. La combinaison des antigènes de surface, flagellaires et capsulaires déterminent en théorie environ 700 000 *E.coli* différents. La grande majorité des *E. coli* appartiennent à la flore commensale digestive et certains peuvent acquérir des facteurs de virulence particuliers et donner soit des pathologies extra-intestinales (méningites, infections urinaires) soit des pathologies intestinales (Mariani-Kurkdjian et É. Bingen, 2012). La seule présence des populations d'*E. Coli* dans l'intestin crée une compétition pour le « territoire » et les ressources alimentaires, limitant ainsi les invasions par d'autres espèces bactériennes. Chez les oiseaux 10% à 15% d'*E. Coli* pathogène sont inoffensifs dans le tractus intestinal. Cette bactérie occupe dès la naissance la partie distale de l'iléon, et du colon, ce pendant sa proportion est toujours faible (1000 fois moins importante) (Barrie, 1994 ; Rollan, 1997). Sa présence dans l'eau est considérée comme un indice de contamination fécale.

3. Cycle de vie d'*E. Coli* :

Le cycle de division bactérien est relié à la croissance cellulaire. Toute l'information génétique d'*E. Coli* est contenu dans une molécule circulaire d'ADN double-brin constituant son chromosome. Pour une division bactérienne, il faut que le chromosome ait, préalablement, été dupliqué et que les deux copies aient été physiquement séparées dans la cellule de telle façon que chacune des deux cellules filles issues de la division contient un exemplaire de ce chromosome (Picard, 2020)

Le cycle cellulaire comprend les événements situés entre deux divisions. Il comprend une phase de croissance cellulaire de durée variable, pendant laquelle l'ADN est répliqué, et une phase de division de durée fixe (20 min). Chez la bactérie *Escherichia coli*, qui répartit l'ADN dans les deux cellules filles qui se séparent. Il commence donc, pour une cellule, lors de sa séparation d'avec sa cellule sœur ; et finit lors de sa séparation en deux cellules filles. Le cycle cellulaire commence par un allongement de la cellule, sans augmentation de diamètre, qui atteint ainsi 2 fois sa longueur initiale : c'est la croissance cellulaire. Comme il n'y a pas d'augmentation de diamètre on peut penser que la masse initiale double pendant cette

croissance étant donné que la bactérie peut être assimilée à un cylindre de diamètre constant. Pendant cette croissance l'ADN est dupliqué et de nombreuses protéines dites de division sont synthétisées. Si l'on bloque la réplication de l'ADN on empêche la division et la cellule s'allonge démesurément en formant un long filament. La division cellulaire commence presque toujours, quelque soient les conditions de culture de la bactérie et donc quelque soit la durée du cycle cellulaire, 20 minutes avant la fin de la réplication (**Gilbert, 1996**).

4-Sensibilité aux antibiotiques

Selon **Clave, (2015)** *E. coli* sont naturellement sensibles aux antibiotiques actifs sur les Bacilles à Gram -.

1- β -lactamines :

E. coli est classé dans le groupe 1. La résistance acquise résulte de l'évolution vers l'acquisition de pénicillinases, de céphalosporinases. Exceptionnellement des souches d'*E.coli* peuvent Acquérir une carbapénémase.

2- Aminosides :

E. coli est naturellement sensible aux aminosides. Les variants à petites colonies sont souvent résistants aux aminosides.

3- Fluoroquinolones :

Les quinolones sont actives sur *E. coli*. Le mécanisme de résistance acquise résulte le plus fréquemment d'une modification de cible.

► *E.Coli* présente un fort taux de sensibilité pour fosfomycine-trométanol et le nitrofurantoïne.

5. Plasticité et pathogénicité

Une bactérie pathogène est une bactérie capable de provoquer une infection chez un sujet sain après pénétration dans l'organisme vivant et induire une modification de structure cellulaire d'un ou de ses différents tissus. On parle alors de maladie bactérienne infectieuse (**Nichilin, 2000**).

Le pouvoir pathogène dépend de l'espèce bactérienne en cause qui conditionne le type de maladie. C'est une notion qualitative ; alors que la virulence est une notion quantitative. Ainsi, pour un même pouvoir pathogène, il peut y avoir des souches plus ou moins virulentes. Un *E. coli* comporte de 4200 à 5500 gènes dans son génome (**Touchon et al., 2009**). Elle peut également traduire un intense pouvoir d'adaptation des clones qui la composent, aux

différents compartiments où ils doivent survivre, se multiplier et qu'ils doivent coloniser. Ainsi, par exemple, dans le commensalisme intestinal, ces clones doivent inhiber leurs concurrents par leurs colicines, échapper aux prédateurs, phagocytes et amibes, par leurs enveloppes externes et utiliser au mieux les nutriments disponibles comme le gluconate du tube digestif (**Chang et al., 2004**).

Le concept de la pathogénicité bactérienne résulte d'un processus multifactoriel, impliquant une myriade de gènes de virulence qui sont le plus souvent localisés sur des éléments génétiques transmissibles comme des transposons, des plasmides ou des bactériophages. De plus, ils peuvent être regroupés sur de grands blocs d'ADN chromosomique appelés îlots de virulence, et dont leur expression est chorégraphiée par des processus de régulation. Cette expression de gènes permet une adhésion plus efficace, ou l'invasion des tissus de l'hôte, et permet ainsi la colonisation de niches inaccessibles ou inhospitalières pour les *E. coli* commensaux. En ce sens, la pathogénicité peut être considérée comme un avantage sélectif, et le succès d'une souche d'*E. coli* en tant que pathogène requiert probablement l'acquisition et la sélection de gènes de virulence, envers des recombinaisons et des transferts génétiques non spécifiques. (**Contributeurs de Wikipédia,2020**).

6. Résistance antimicrobienne

La résistance se définit par l'inefficacité de la dose d'antibiotique, la concentration de ce dernier est très inférieure à la CMI permettant d'arrêter la croissance de la bactérie (**Briand, 2012**). Les bactéries initialement sensibles à un antibiotique, deviennent de plus en plus résistantes. La résistance se signale au clinicien par l'échec thérapeutique : la CMI de la bactérie est très au-dessus de la concentration de l'antibiotique au niveau du site infectieux. Pour le bactériologiste, la résistance commence dès l'augmentation de la CMI par la CMI initiale. Cette augmentation peut être suffisamment faible pour que la bactérie soit encore éradiquée par le traitement, mais elle doit être surveillée car elle peut être le prélude à une résistance de niveau plus élevé (**Briand, 2009**). L'émergence rapide de l'antibiorésistance est un problème majeur pour la santé publique, maintenant les infections microbiennes ne seront plus traitées avec les antibiotiques. Les données de la surveillance montre qu'il y'a une augmentation des infections causée par des bactéries pathogènes résistantes aux antibiotiques dans plusieurs pays (**Eaess, 2007**). Cette émergence de l'antibiorésistance est originalement causée par l'usage excessif et inapproprié des antibiotiques en médecine humaine, médecine vétérinaire, l'élevage, l'agriculture et l'aquaculture (**Tenover et Hughes , 1996**).

L'augmentation des voyages touristiques et la commercialisation du produit alimentaire au niveau mondial constituent des facteurs qui facilitent la diffusion rapide de l'antibiorésistance **(Cars et al., 2008)**. D'un point de vue thérapeutique, une bactérie est considérée comme résistante lorsqu'elle possède l'aptitude à résister à l'action d'un antibiotique auquel elle était préalablement sensible. La notion de « break point » est utilisée pour classer les bactéries comme sensibles et résistantes afin de guider la thérapie **(Leclercq et al., 2013)**. L'affleurement de microorganismes résistants peut survenir indépendamment de la présence d'antibiotiques. En revanche, l'augmentation et la dissémination des bactéries résistantes survient à la suite de pression de sélection due à l'exposition aux antibiotiques. C'est donc l'usage abusif et/ou l'utilisation inadaptée des antibiotiques, que ce soit chez les patients ou les animaux ou leur relargage dans l'environnement qui, en fin de compte, va favoriser l'augmentation des proportions de bactéries résistantes **(Roca et al., 2015)**.

7. Antibiorésistance chez *Escherichia coli*

Escherichia coli est une bactérie utilisée comme bactérie indicatrice vu que ce microorganisme acquit l'antibiorésistance rapidement par rapport aux autres bactéries conventionnelles. Cette espèce peut servir comme un bon indicateur de la résistance chez les bactéries pathogènes **(Miranda et al., 2005)**.

8. Effets antimicrobien des extraits de cladodes

Depuis plusieurs années, des maladies infectieuses, transmissibles et invisibles à l'œil nu ont accompagné l'homme, mais leurs manifestations cliniques ont été tardivement distinguées et leurs causes étaient ignorées jusqu'au milieu du 19^{ème} siècle (naissance de la microbiologie) **(Benkaddouri, 2011)**

L'apparition de la microbiologie permet d'identifier et de caractériser des microorganismes, d'étudier leur origine, leur évolution, leurs activités et comprendre les relations qu'ils entretiennent entre eux et avec leur milieu et donc, de trouver des solutions ou des traitements pour ces infections. Pour cela, un grand rôle est attribué à l'utilisation de certaines plantes ayant des propriétés médicamenteuses pour la guérison humaine et qui peuvent avoir également des usages alimentaires. Dans le cas de l'*OFI*, de nombreux chercheurs ont étudié l'activité antimicrobienne d'extraits de cladodes.

L'activité antimicrobienne, peut être définie comme une activité biologique essentielle pour éliminer les infections, les maladies ou les effets indésirables causés par des microorganismes

pathogènes, en utilisant des agents ou des extraits des parties des plantes médicinales (**Ben Abdallah, 2019**).

La thérapeutique des infections microbiennes se base principalement sur l'usage des antibiotiques, mais comme ils peuvent entraîner la sélection de souches multi-résistantes, les chercheurs se sont orientés vers l'utilisation d'autres agents antimicrobiens (**Billig et Sherman, 1998**).

Gebrekidan et Aragaw, (2017) ont affirmé que les extraits de cladodes et de fruits d'*OFI* obtenus avec le chloroforme, le méthanol et l'éthanol, possèdent une grande activité antibactérienne contre les bactéries à Gram positif et à Gram négatif, en raison de la présence de divers constituants bioactifs dans ces extraits.

Les alcaloïdes ont démontré une activité antibactérienne contre les trois espèces bactériennes : *Serratia marcescens*, *Escherichia coli* et *Streptococcus thermophilus*. Ces composés actifs dans ces plantes pourraient trouver place dans le traitement de diverses infections bactériennes chez la volaille où ils peuvent être utilisés comme alternative aux les médicaments antibactériens conventionnels (**Belay et al., 2015**).



Partie 2 :
Méthodologie expérimentale

Partie 2. Méthodologie expérimentale

1. Objectifs :

Ce travail expérimental consiste à suivre l'effet antimicrobien de l'extrait hydroéthanolique des raquettes du figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*.) vis-à-vis d'un germe pathogène à savoir *Escherichia coli*.

2. Région de prélèvement et traitements préliminaires du matériel végétal :

Les échantillons de cladodes ont été prélevés durant le printemps 2022 aux mois d'avril et mai et ceci aléatoirement au niveau de la commune de Ain Nouissy située à 20 Km de la Wilaya de Mostaganem à environ 35.8° de latitude et 0.05° de longitude (**Figure 08**).

Les cladodes ont été bien lavées, désinfectés, et coupées en dés avant leurs utilisations ultérieures.



Figure 8. Les cladodes d'*Opuntia ficus indica* récoltés dans la région d'Ain Nouissy à Mostaganem Algérie.

3. Extraction des composés phénoliques :

L'extraction des principaux composés phénoliques contenus dans les raquettes a été effectuée par la méthode décrite par (Sultana et al., 2009). Cette méthode d'extraction n'est qu'un procédé d'extraction discontinu solide-liquide par macération et qui consiste à laisser tremper le

Partie 2 .Méthodologie expérimentale

solide dans un solvant à température ambiante durant quelques temps et à extraire les constituants solubles par évaporation du solvant sous vide.

L'extraction des composés bioactifs de la plante a été réalisée par usage de l'éthanol comme solvant d'extraction. Elle a été effectuée sur une prise d'échantillon de 10 g de matière végétale. L'échantillon de matière végétale a été ensuite mélangé avec 100ml de solvant aqueux (80/20, solvant / eau, v/ v). L'extraction par macération à froid du mélange a été laissée pendant 6 heures à température ambiante sous agitation, puis filtrée sur papier filtre Whatman ayant une porosité de 0,2µm. L'extrait pur a été enfin obtenu après évaporation sous vide du solvant à 40 °C au rota vapeur(BÜCHI) (**Figure 9 et 10**).

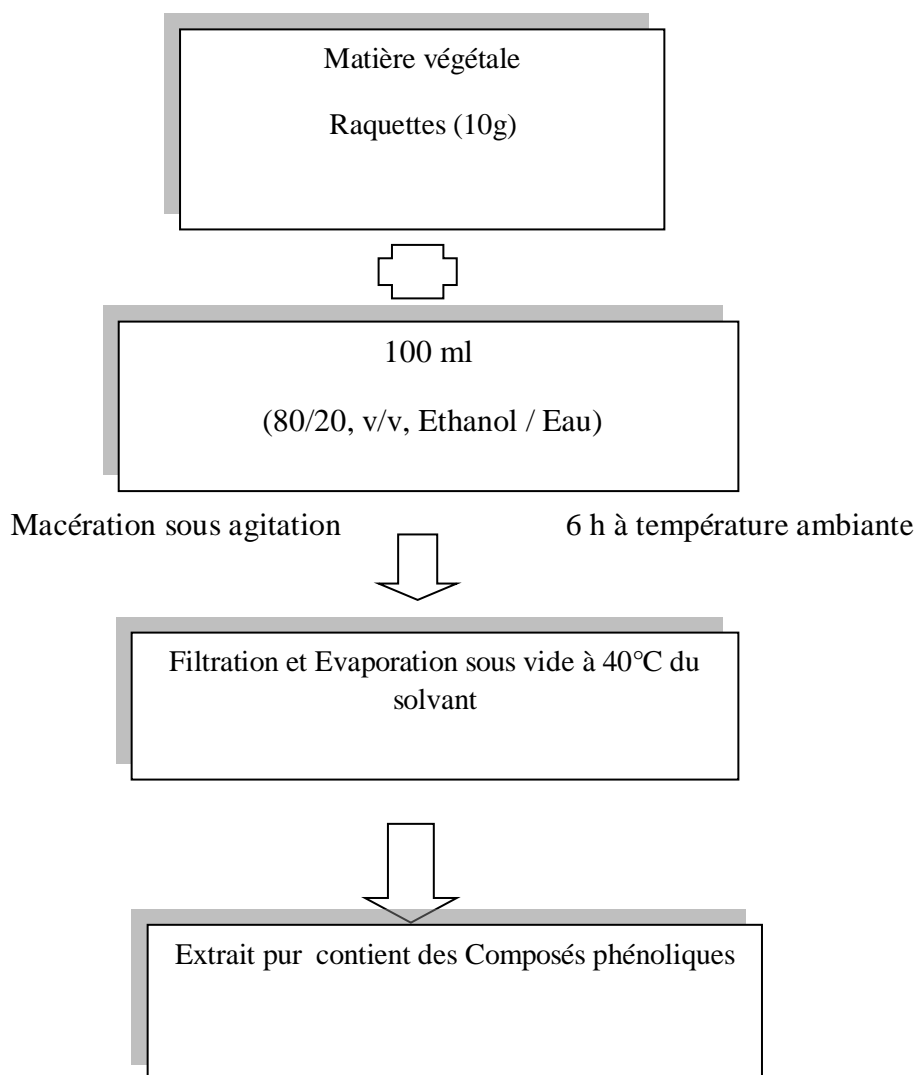


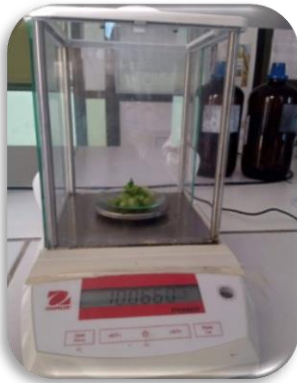
Figure 9. Etape d'extraction des composés phénoliques des cladodes de figuier de barbarie (Sultana *et al.*, 2009).



(a)



(b)



(c)



(d)



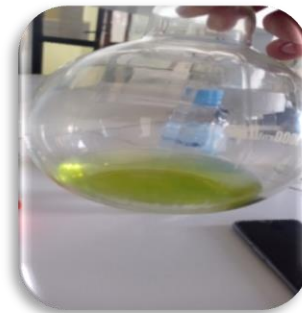
(e)



(f)



(i)



(j)

Figure 10.Etapes d'extraction des composés phénoliques à partir des cladodes

(a) Lavage (b) : Découpage(c) : Pesage (d) Macération (e) Filtration
(f) Evaporation (i) Extrait hydroéthanolique des cladodes.

4. Préparation des différentes solutions expérimentales :

A partir de l'extrait pur des raquettes obtenu comme préalablement des solutions diluées a l'eau à raison de 0, 20, 40, 60, 80 et 100% ont été préparées ; elles représentent les solutions de travail à base de composés phénoliques de la plante objet de l'étude.

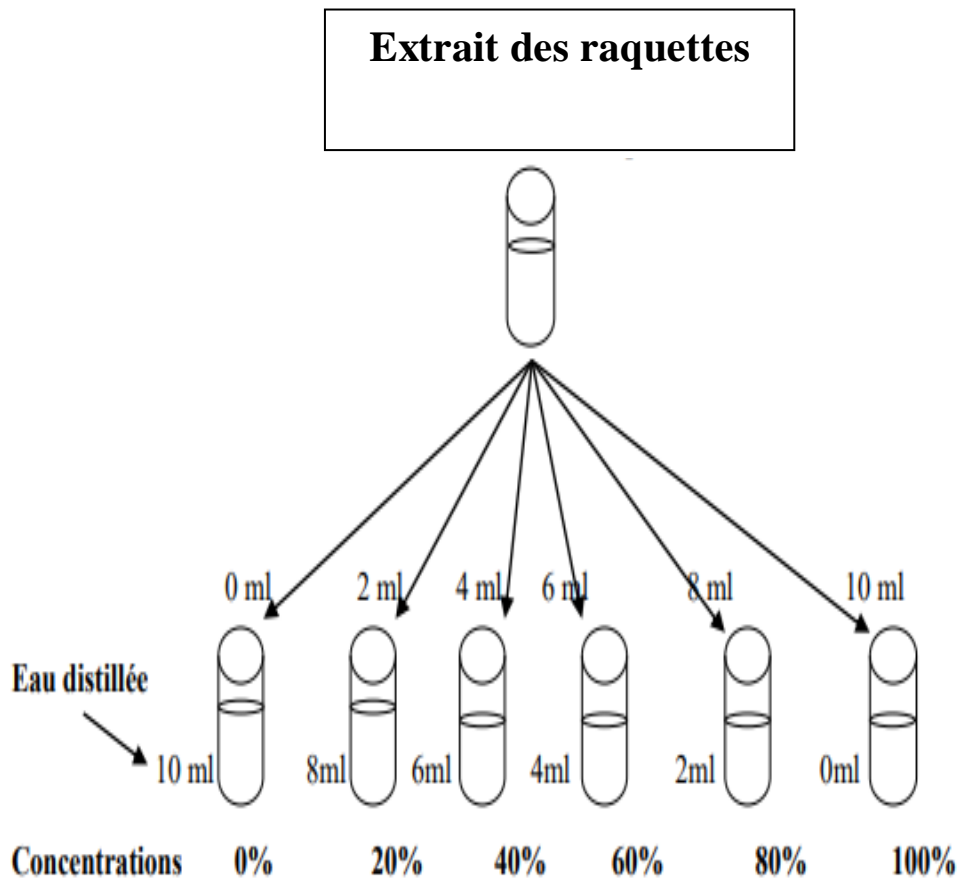


Figure 11.Préparation des différentes solutions expérimentales.

5 .Etudes des effets antimicrobiens de l'extrait de raquettes :

5.1 Activation des inocula microbiens :

L'étude a concerné la souche pure *d'Escherichia coli* achetée de l'institut pasteur-Algérie(ATCC25922).Elle a été tout d'abord activée avant son utilisation expérimentale. Une prise d'échantillon microbien a été effectuée aseptiquement sur milieu gélosé de conservation par usage d'une anse à platine stérile et ensemencée dans 10 ml de bouillon nutritif, puis incubée à

Partie 2 .Méthodologie expérimentale

37 °C durant 03 heures jusqu'à atteindre une densité optique de 0,9 au spectrophotomètre réglé à 560 nm. 0,1 ml de cette dernière solution a été ensuite prise pour êtreensemencée en surface d'une boîte de Pétri contenant le milieu gélosé puis le mélange a été incubé à 37°C pendant 24 heures (**Figure 12**).

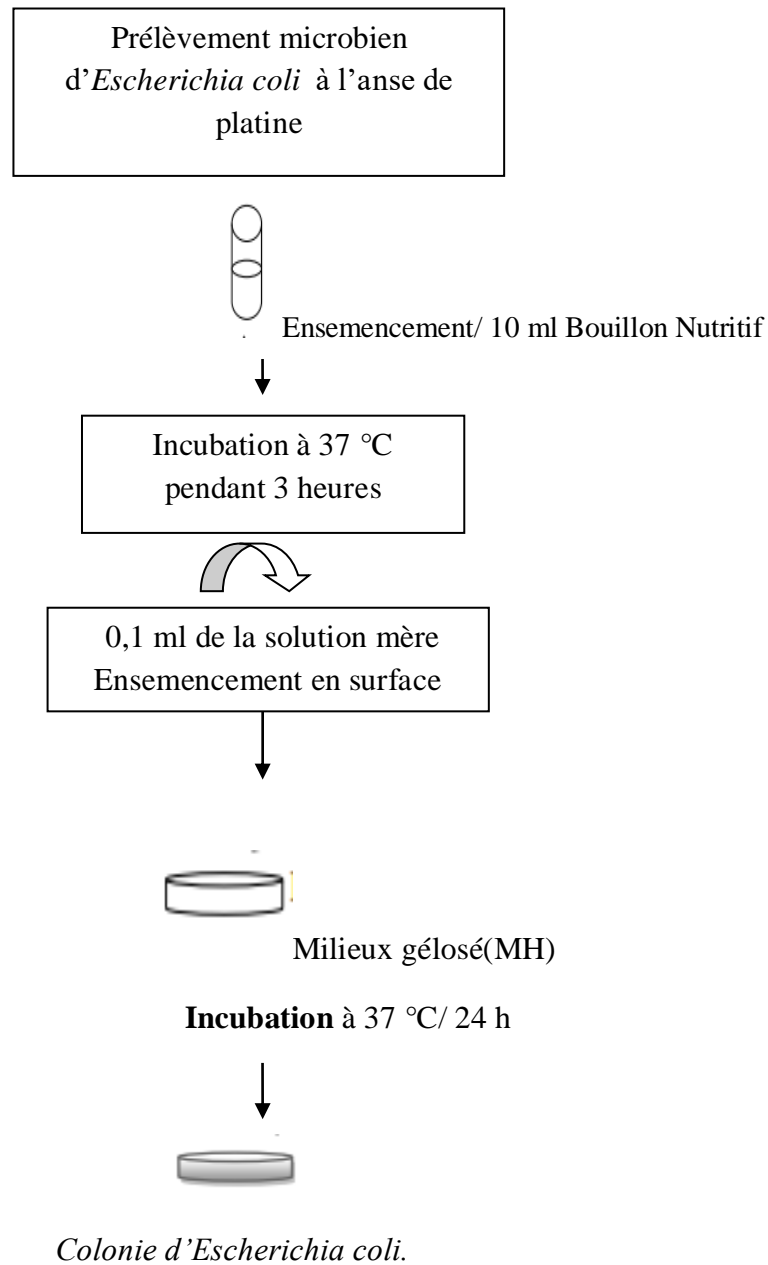


Figure 12.Activation d'*Escherichia coli*.

5.2 Méthode de contact direct :

Une colonie d'une culture jeune de l'espèce microbienne activée comme préalablement sur milieu solide gélosé spécifique est prélevée à l'aide d'une anse à platine stérile, puis ensemencée dans un tube contenant 10 ml de bouillon nutritif, suivi d'une incubation à 37°C durant 03 heures.

A partir de cette dernière solution constituant l'inoculum microbien, des dilutions décimales isotopiques croissantes dans l'eau physiologique ont été effectuées allant jusqu'à 10^{-4} pour l'espèce *Escherichia coli*.

Des prélèvements de 01 ml de la dernière dilution décimale ont été ensuite individuellement ajoutés à 09 ml de chaque extrait de cladode dilué à l'eau distillée, respectivement, à raison de 0, 20, 40, 60, 80 et 100%. Les mélanges des solutions ont été enfin ensemencés en triple essais (03 boîtes de Pétri) chacune en surface à raison de 0.1 ml sur le milieu spécifique Gélosé MH de croissance. La lecture du nombre de colonies développé est effectuée après incubation des milieux ensemencés à 38°C pendant 24 heures (**Bourgeois et Leveau, 1980**) (**Figure 13**).

5.3 Méthode des disques par diffusion sur gélose :

Les disques ont été confectionnés à partir de papier filtre (Whatman n° 3), à raison de 6mm de diamètres. Pour éviter tous risques de contaminations aux germes exogènes au cours de l'expérimentation les disques ont été stérilisés à 120°C pendant 15 minutes dans un autoclave.

Une colonie d'espèce lactique prélevée du milieu gélosé spécifique après activation a été ensemencée dans 10 ml de bouillon nutritif ; ce mélange a constitué la solution mère. Une prise de volume de 1ml de cette dernière solution a été étalée en surface de plusieurs boîtes de Pétri contenant le milieu MH solide.

Trois disques imbibés pendant 5 minutes dans chaque concentration d'extrait hydroéthanolique de raquettes, ainsi que dans une solution contenant un puissant antibiotique dont la Gentamicine, ont été ensuite déposés successivement à la surface de chaque boîte de Pétri contenant le milieu gélosé spécifique ensemencé au germe *Escherichia coli* (**Prescott et al., 2003**).

La lecture des diamètres d'inhibition a été effectuée après l'incubation des boîtes de Pétri à 37°C pendant 18 heures (**Guignar, 1998**) (**Figure 13**).

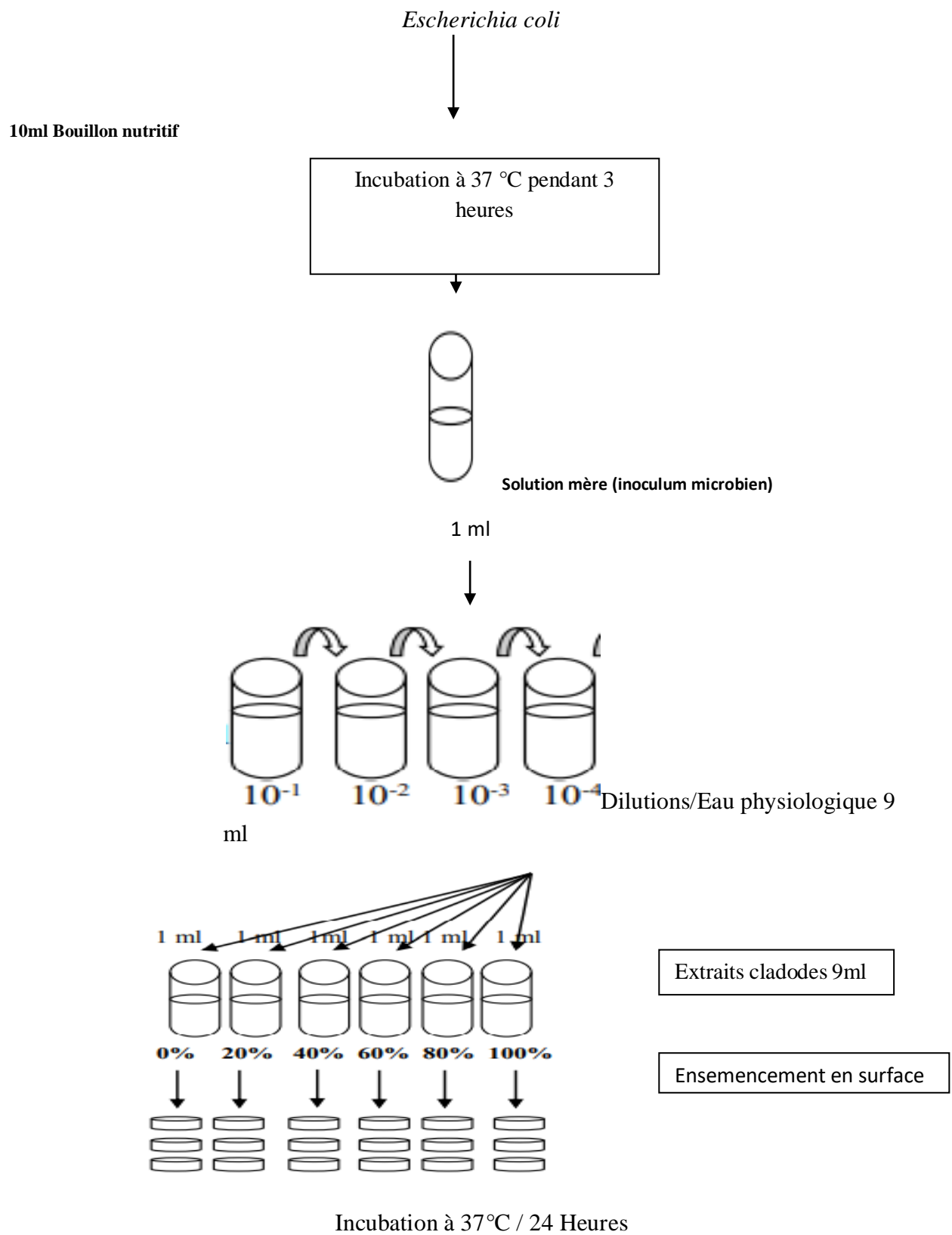


Figure 13. Méthode de contact direct. (Bourgeois et Leveau, 1980)

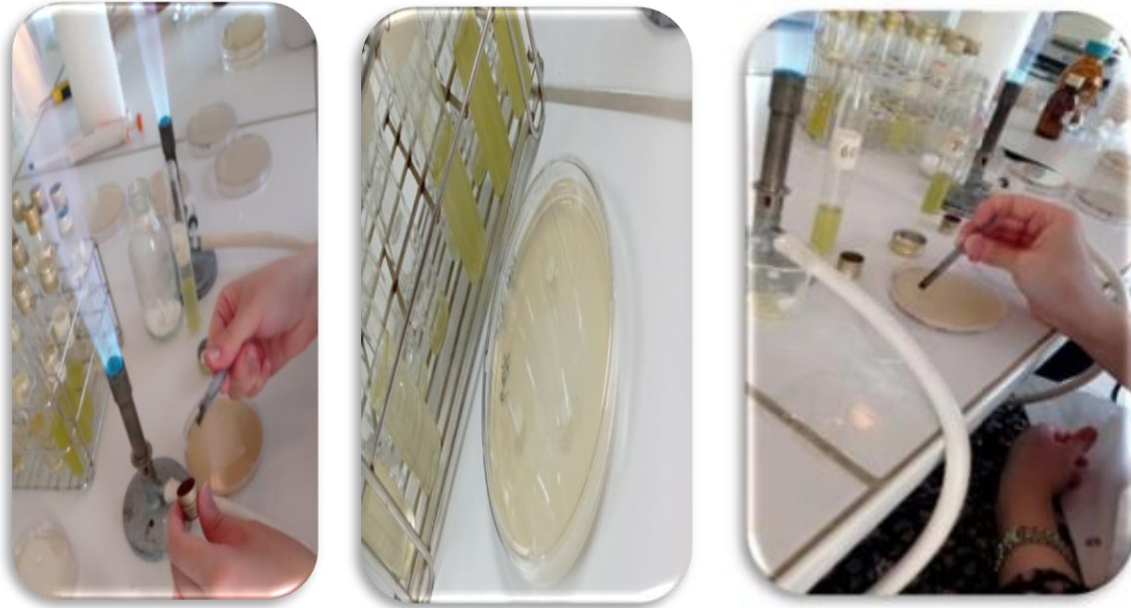


Figure 14. Dépôt des disques (Méthode des disques).

5.4 Détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI) :

La concentration minimale inhibitrice est la plus petite concentration en antibiotique, en antifongique et /ou en principes composés actifs nécessaires pour inhiber la croissance d'un microorganisme (Denis et al., 2011).

Dans le cas de cette étude, c'est les principes actifs des extraits de la matière végétale des raquettes de figuier de barbarie qui sont utilisés pour déterminer la concentration minimale inhibitrice de l'espèce bactérienne étudiée dont *Escherichia coli*.

Ainsi, une colonie jeune d'*Escherichia coli* a été prélevée à l'aide d'une anse à platine dans 10 ml de bouillon nutritif (BN), puis incubée pendant 03 heures à 37°C en vue d'obtenir l'inoculum. Des prises de 0.4 ml de chaque inoculum ont été introduites respectivement dans 04 ml de chaque extrait dilué non pas avec de l'eau mais avec le bouillon Mueller Hinton.

Les mélanges des tubes contenant les extraits de cladodes des figuiers de barbarie préparés à différentes concentrations (0, 20, 40, 60, 80 et 100%) et l'inoculum de bactérie lactique ont été ensuite incubés à 38°C pendant 24 heures (Moroh et al., 2008) et (Figure.17)

A



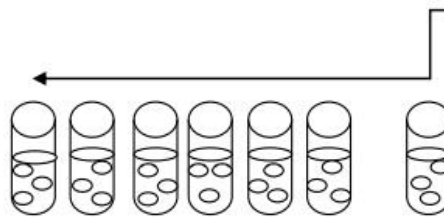
Stérilisation à l'autoclave

Papier filtre Whatman n°3

Disque de 6mm de diamètre

120 °C /20 min

Trois disques ont été imbibés durant 5 minutes dans chaque concentration d'extrait hydroéthanolique des cladode et dans la solution de gentamicine.



0% 20% 40% 60% 80% 100% Gentamicine

B



Activation des colonies dans 10 ml de Bouillon Nutritif.

Escherichia coli



Incubation 37°C /3h Solution mère
Ensemencement en surface Milieu MH solide



...etc Milieu MH Solide



Trois disques de chaque concentration d'extrait et de l'antibiotique sont déposés en surface de chaque boîte de Pétri contenant le milieu gélosé MH, suivi d'une incubation à 38°C / 24 heures.

Figure 15.Méthode des disques par diffusion sur gélose. (Prescott et al, 2003).

La détermination de la concentration minimale inhibitrice CMI est effectuée à partir de la mesure de la turbidité induite par la croissance du microorganisme étudié. La CMI correspond donc à la plus petite concentration pour laquelle il y a absence de turbidité. Par conséquent c'est le premier tube où la valeur d_i est égale à df ($d_i = df$).

Le taux de survie du microorganisme est mesuré au spectrophotomètre réglé à 560 nm comme suit :

$$S = 100 \times (df - d_i / DF - DI)$$

Avec : **S**: Taux de survie du microorganisme en % ; **d_i** : Densité optique dans la solution phénolique ensemencée sans incubation ; **df** : Densité optique dans la solution phénolique ensemencée après incubation ; **$df - d_i$** : Différence de densité optique dans la solution phénolique ensemencée avant et après incubation à 37°C durant 24 heures ; **$DF - DI$** : Différence de densité optique dans la solution ensemencée au germes et sans extrait phénoliques avant et après incubation à 37°C durant 18 heures (**Kra et al., 2001 ; Zrihiet al., 2007**).

5-5 Détermination de la concentration minimale bactéricide (CMB) :

La concentration minimale bactéricide d'une espèce de germe lactique étudiée représente la plus petite concentration d'extrait de la plante qui laisse 0,01% au moins de survivant de l'inoculum initial après incubation (**Moroh et al., 2008**).

Pour sa détermination, le tube témoin (inoculum) a été dilué à l'eau physiologique jusqu'à 10^{-4} . Cette dilution représente 0,01% de survie du microorganisme. Elle est ensemencée par strie de 5 cm sur une Gélose Mueller Hinton puis incubée à 38°C pendant 24 heures. Le nombre de colonies de bactéries obtenu sur la strie de la dilution 10^{-4} est comparé à celui de chaque tube expérimental contenant l'inoculum, également ensemencé sur le même milieu de culture en strie de 5cm et incubé à 38 °C durant 18 à 24 heures. Ainsi, le premier tube expérimental dont le nombre de colonies présent sur sa strie est inférieur ou égal à celui de la dilution 10^{-4} correspondra à la CMB. (**Figure 13**)

6. Traitement statistique :

Les données expérimentales ont été traitées statistiquement par un logiciel software le stat box 6. 4. Ils ont subi une analyse de la variance monofactorielle, ainsi qu'une comparaison des moyennes deux à deux selon le test Newman et Keuls .La signification du facteur étudiée sur les différentes mesures réalisées à été déterminées aux deux seuils de probabilité $p < 0.05$ et $p < 0.01$.

Escherichia coli

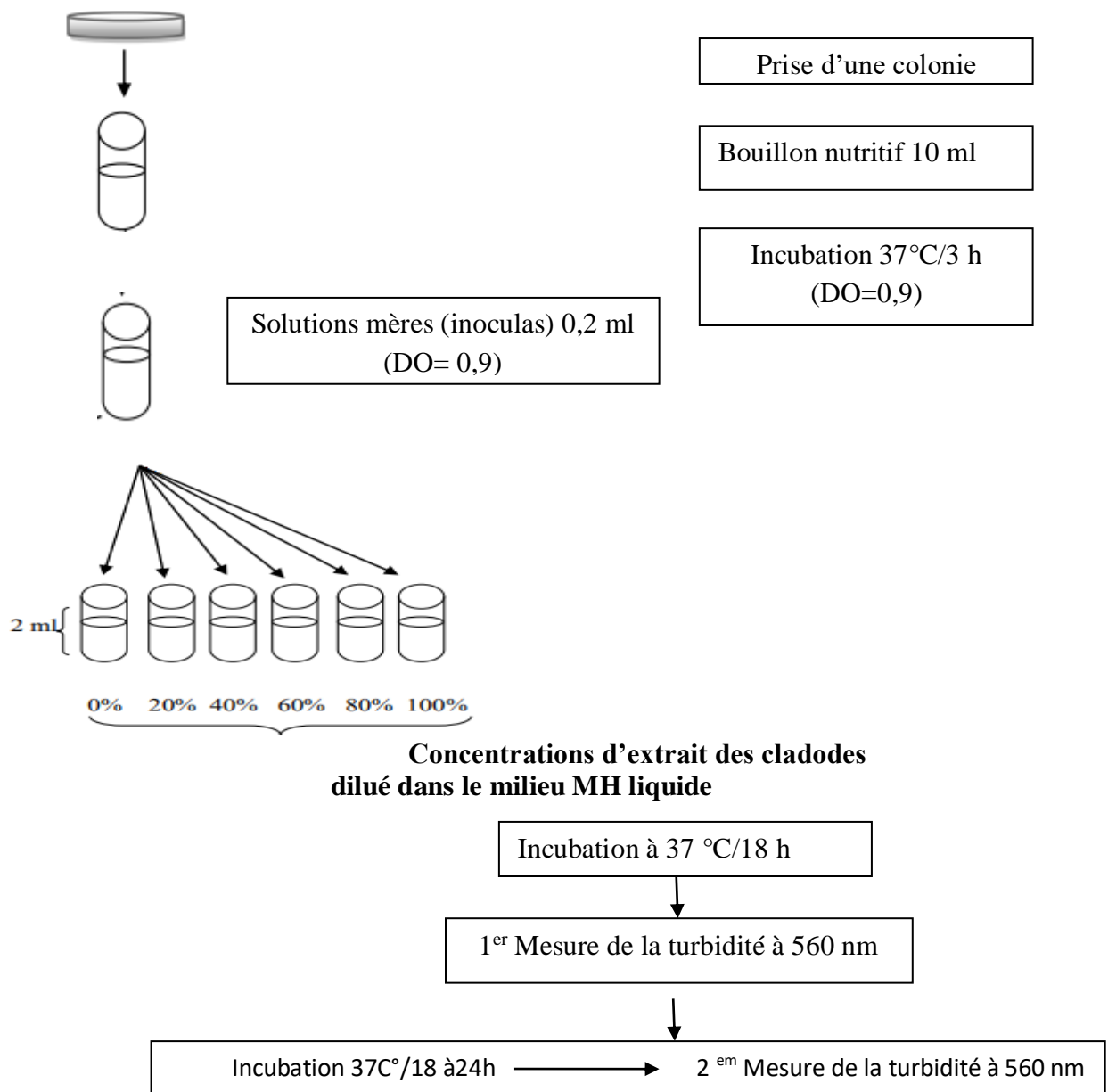
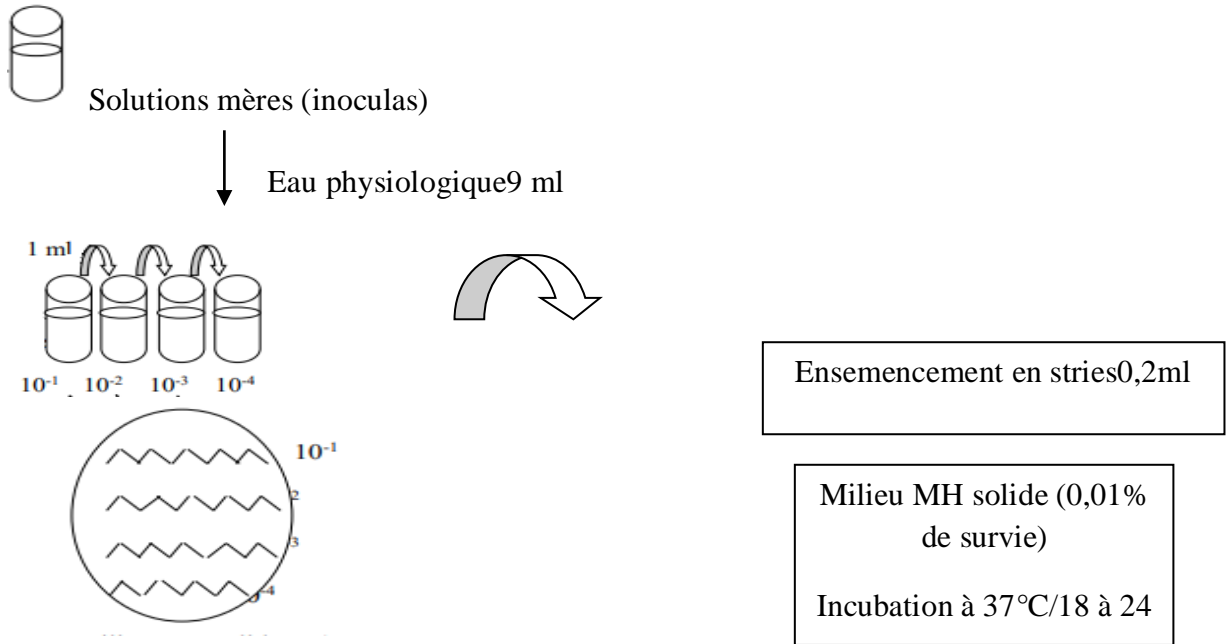


Figure 16.Détermination de la CMI. (Moroh et al.,2008).

Escherichia coli



Escherichia coli

Solutions mères (inoculas)

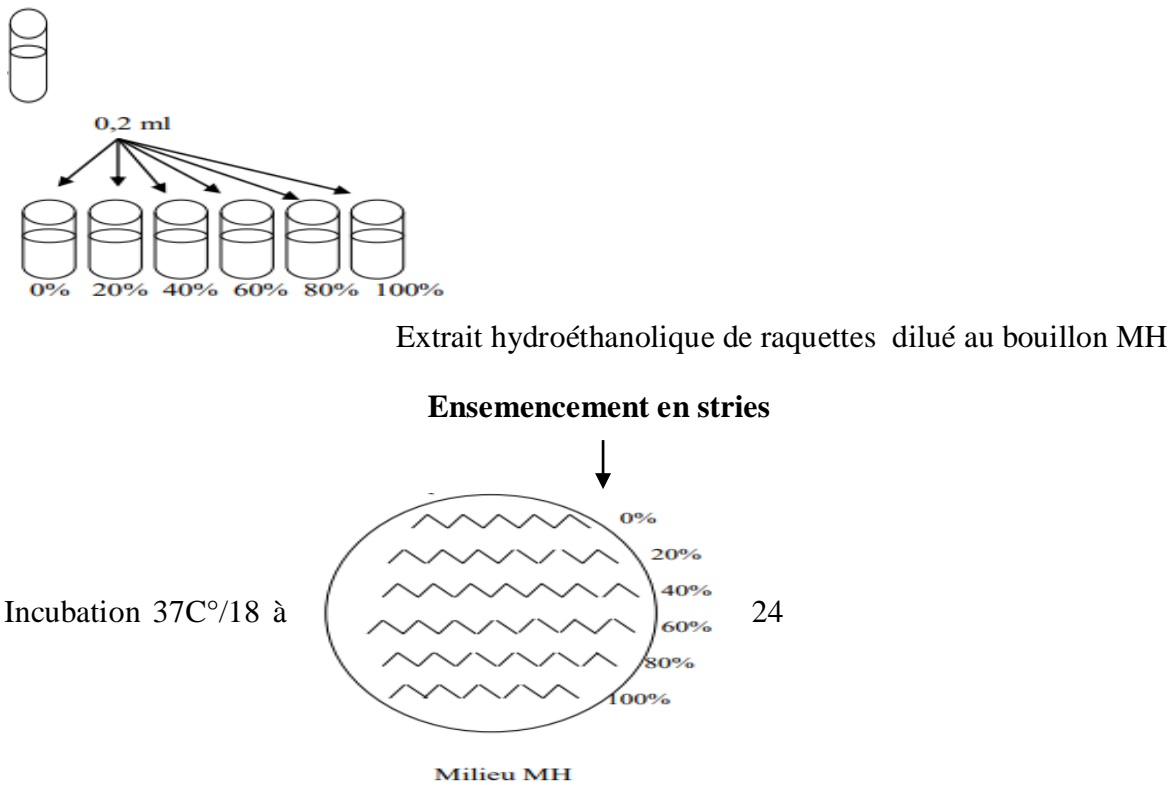


Figure 17.Méthode de détermination de la CMB. (Moroh et al., 2008)



Partie 3 :

Résultats et discussion

Partie 3 .Résultats et discussion

1. Résultats

1.1. Méthode de contact direct :

Le test de croissance d'*Escherichia coli* sur le milieu Mueller-Hinton gélosé par la méthode de contact direct a montré une forte prolifération bactérienne dans la solution à 0% d'extrait hydroéthanolique de raquette de figuier de barbarie ($69 \cdot 10^5$ UFC/ml). Par rapport à cette extrait témoin, des baisses remarquables ($P \leq 0.01$) de la croissance du germe ont été enregistré dans les solutions préparées à 20, 40 et 60% d'extrait ; soit des réductions de l'ordre de 54,54, 58,85 et 76,5% respectivement.

Par ailleurs, par rapport au témoin, les plus faibles ($P \leq 0.05$) taux de croissance d'*E.Coli* ont été signalés dans les solutions d'extrait de cladodes de figuier de barbarie préparés à 80 et 100 ; 10,53% et 3,83%, en moyenne (Tableau 9 et Figure 18).

Tableau 9. Effet de l'extrait hydroéthanolique des raquettes du figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*) sur la croissance et les taux de croissance d'*E. coli*.

Concentrations de l'extrait	Taux de croissance (%)	Nombre de germes (UFC/ml)	Groupes Homogènes			Effet de l'extrait d' <i>Opuntia ficus indica</i>
0%	100	$69 \cdot 10^5$	a			P<0.01
20%	45,46	$32 \cdot 10^5$		b		
40%	41,15	$28 \cdot 10^5$		b		
60%	23,45	$160 \cdot 10^4$		b	c	
80%	10,53	$73 \cdot 10^4$			c	
100%	3,83	$26 \cdot 10^4$			c	

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes et écarts types correspondants, avec un nombre n de répétitions égale à 03 (n=3) ; $P < 0.01$; effet hautement significatif du facteur étudié (Concentrations d'extrait hydroéthanolique des cladodes d'*Opuntia ficus indica* ; a,b,c, d : groupes homogènes de comparaison des moyennes, deux à deux selon le test de Newman et Keuls .

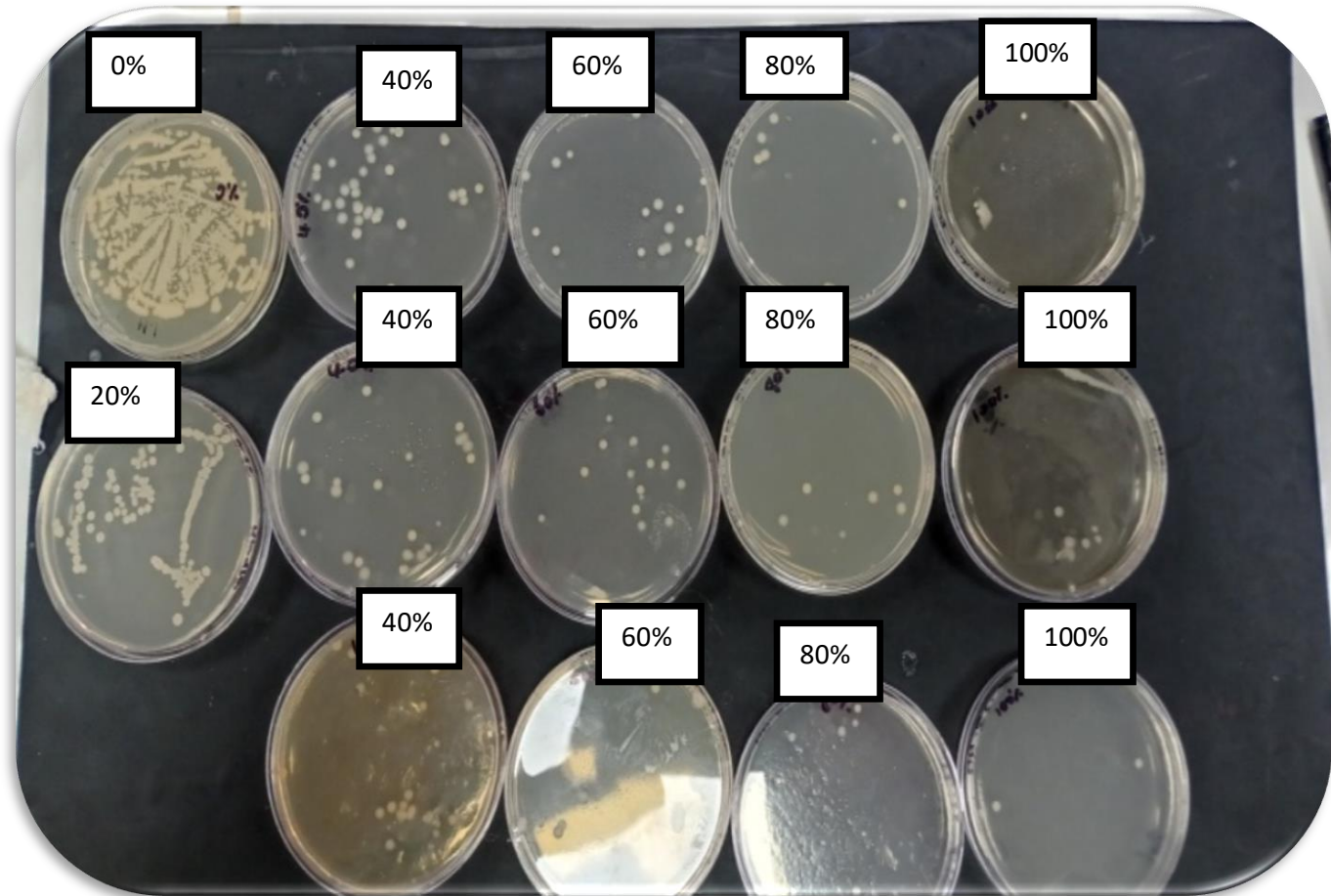


Figure 18. Effet de l'extrait hydroéthanolique des raquettes du figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*) sur la croissance d'*Escherichia coli*.

1.2. Méthode des disques :

Les observations effectuées sur les effets antimicrobiens des solutions d'extrait des cladodes d'*Opuntia ficus indica* sur la croissance de la souche bactérienne testée *E.Coli* sont représentées dans le (Tableau 10).

La gentamicine, antibiotique à large spectre a connu le diamètre d'inhibition le plus élevé vis-à-vis du germe étudié (36mm) ; avec un taux d'inhibition référentiel de 100%.

Par ailleurs, les solutions préparées à 100 et 80% d'extrait hydroéthanolique riches en composés phénoliques des raquettes de figuier de barbarie ont montré des diamètres d'inhibition chez *E.Coli* de 18 et 10 mm, respectivement. Par rapport à la gentamicine ces deux solutions ont induit des taux d'inhibition ($P \leq 0,01$) de l'ordre de 50 et de 27,78 %, respectivement, chez l'espèce bactérienne étudiée.

Toutefois, les solutions préparées à 60, 40 et 20% d'extrait n'ont induit aucune inhibition chez *E.Coli* (Figure 18).

Partie 3. Résultats et discussion Résultats

Tableau 10. Effet de l'extrait hydroéthanolique des raquettes du figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*) sur les variations des diamètres et des taux d'inhibition chez *E. coli*

Concentrations de l'extrait	Diamètres d'inhibitions (mm)	Taux d'inhibitions (%)	Groupes homogènes			Effet de l'extrait d' <i>Opuntia ficus indica</i>
Antibiotique (Gentamicine)	36.00 ± 01.00	100	a			P < 0.01
100%	18.00 ± 08.19	50		b		
80%	10,00 ± 04.58	27.78			c	
60%	00.00 ± 00.00	0			d	
40%	00.00 ± 00.00	0			d	
20%	00.00 ± 00.00	0			d	

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes et écarts types correspondants, avec un nombre n de répétitions égale à 03 (n=3) : P<0.01 : effet hautement significatif du facteur étudié (Concentrations d'extrait hydroéthanolique des cladodes d'*Opuntia ficus indica* ; a,b,c, d :groupes homogènes de comparaison des moyennes, deux à deux selon le test de Newman et Keuls .

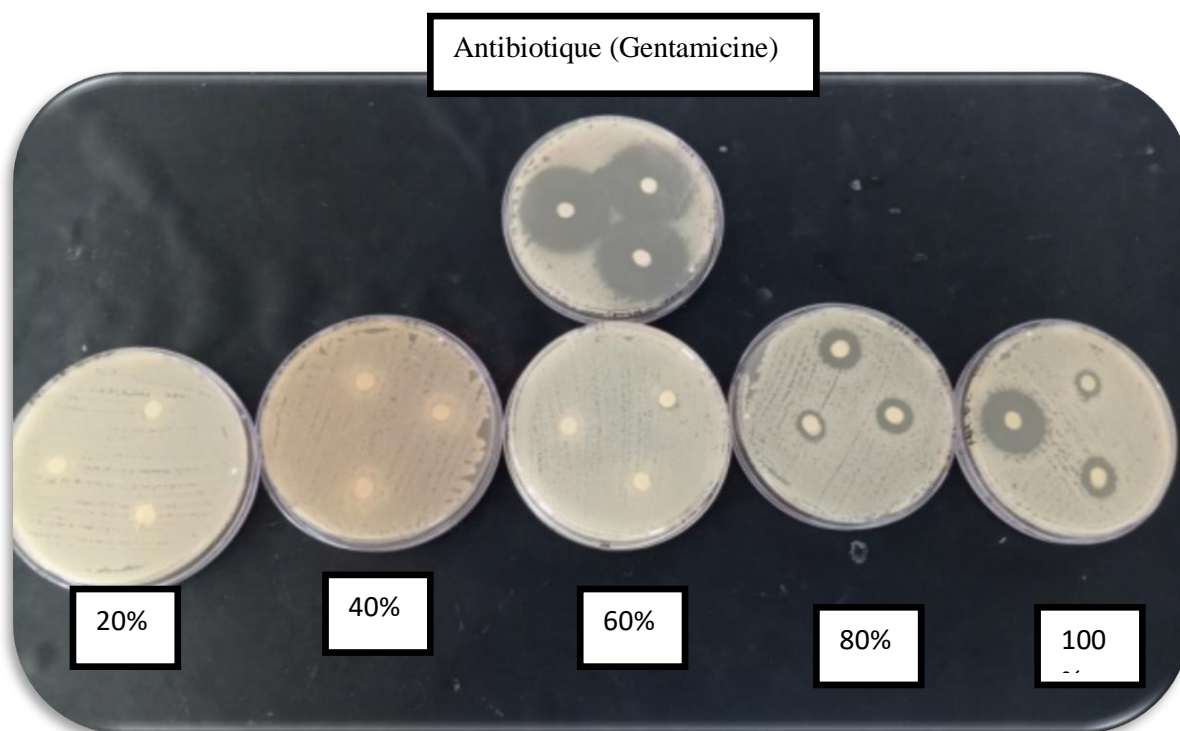


Figure 19. Diamètres d'inhibition développés par les solutions d'extrait hydroéthanolique d'*Opuntia ficus indica* chez *Escherichia coli*.

1.3. Concentration minimale inhibitrice (CMI) :

D'après le (Tableau 11) la concentration minimale inhibitrice de la croissance d'*E.Coli* a été obtenue avec la solution pur préparée à 100% d'extrait hydroéthanolique de figuier de barbarie.

Tableau 11. Evaluation de la CMI de l'extrait hydroéthanolique des cladodes d'*Opuntia ficus indica* cher d'*Escherichia coli*.

Germe	Paramètres	Concentrations de l'extrait hydroéthanolique des cladodes d' <i>Opuntia ficus indica</i> (%)					
		0% (Témoin)	20%	40%	60%	80%	100%
<i>E. Coli</i>	Di	0.205	0.385	0.409	0.470	0.511	0.650
	Df	0.489	2.500	2.061	1.518	1.007	0.315
	Df-Di	0.284	2.115	1.652	1.048	0.496	00
	S (%)	100	744.7	851.69	369.01	174.64	00
CMI= 100 %							

DI : Densité optique sans incubation ; **DF :** Densité optique après incubation ; **S:** Taux de survie du microorganisme en %.

1.4. CMB

La (Figure 20) représente le nombre de microorganismes développés après 24 heures d'incubation à 37°C d'une part des différentes dilutions d'inoculas microbiens de référence allant de 10⁻¹ à 10⁻⁴ et d'autre part des différentes solutions de l'extrait des raquettes de figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*) ayant servies au préalable à la détermination de la CMI du microorganisme testé après 24 heures d'incubation à 37°C.

La solution a 100% d'extrait de la plante étudiée a montré un nombre de germes sur la strie après culture inférieur a la dilution 10⁻⁴ de l'inoculas microbien d'*E.Coli* ; cette solution pure d'extrait hydroéthanolique des cladodes d'*Opuntia ficus indica* représente donc la concentration minimale bactéricide CMB contre l'espèce microbienne *E. coli*.

a/ Dilutions de l'inoculum d'*E. Coli*

a/ Ensemencement d'*E.*

à différentes Concentrations d'extrait des cladodes

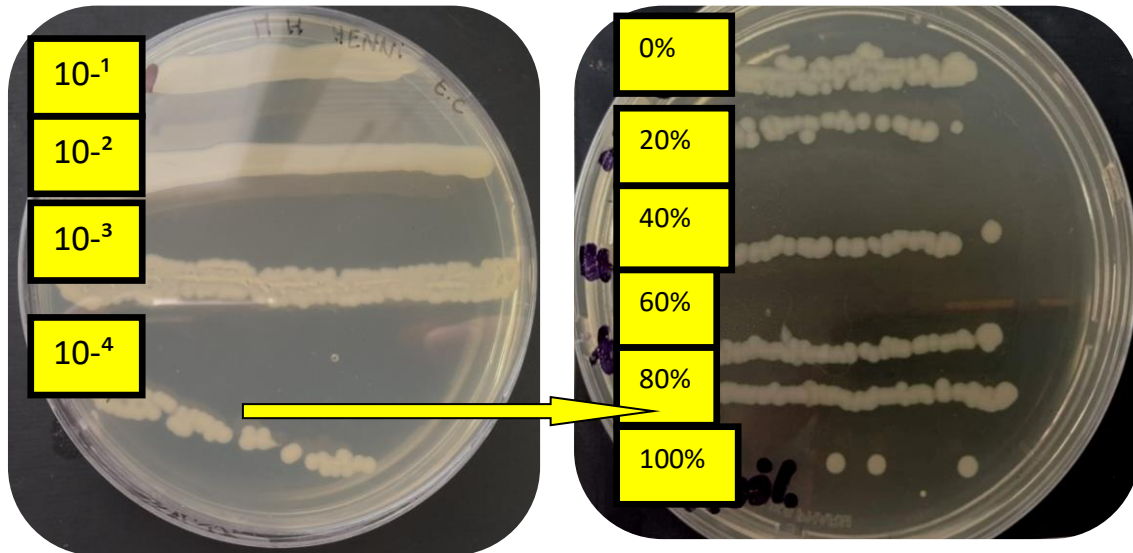


Figure 20. Evaluation de la CMB de l'extrait hydroéthanolique des cladodes d'*Opuntia ficus indica* cher d'*Escherichia coli*.

1.5-Effet antimicrobien :

D'après le rapport CMB/CMI égal à 1, l'extrait hydroéthanolique des raquettes (*Opuntia ficus indica*) introduit un effet antibactérien de type bactéricide chez *Escherichia coli* (Tableau 12).

Tableau 12. Type d'inhibition de l'extrait hydroéthanolique des cladodes d'*Opuntia ficus indica* vis-à-vis d'*E. Coli*.

Germe	CMI	CMB	Rapport CMB/CMI	Type d'inhibition
<i>E. Coli</i>	100%	100%	01	Bactéricide
Normes	<ul style="list-style-type: none"> ➤ D'après (Olivier, 2007) <ul style="list-style-type: none"> - CMB/CMI ≤ 02 (effet bactéricide) - CMB/CMI ≥ 02 (effet bactériostatique) ➤ D'après (Marmonier, 1990) <ul style="list-style-type: none"> - CMB/CMI ≤ 04 (effet bactéricide) - CMB/CMI ≥ 04 (effet bactériostatique) 			

2. Discussion

Les plantes médicinales constituent une source riche et diversifiée de métabolites secondaires, qui trouvent plusieurs applications commerciales dans les différents domaines d'intérêts dont pharmaceutiques et biomédicaux (**Haddouchi et al., 2016**).

Les nombreuses études menées sur les plantes riches en composés phénoliques dont les cladodes de figuier barbarie (*Opuntia ficus indica*) indiquent souvent qu'elles présentent une activité antimicrobienne certaine contre plusieurs germes pathogènes dont *Staphylococcus aureus*, salmonelle, *E. coli*, *K. pneumoniae*, *Phytophthora infestans* et *Streptococcus feacalis* (**Collin et al., 2011**; **Jeandet et al., 2002**).

Les résultats du présent travail suggèrent que la haute teneur en polyphénols composants biologiquement actifs contenus dans l'extrait hydroéthanolique pur concentré à 100% des cladodes d'*Opuntia ficus indica* a réduit remarquablement d'environ 97.8% la prolifération d'*E.coli* et comparativement à la gentamicine son efficacité antimicrobienne vis-à-vis du germe étudié était de l'ordre de 50%.

La polarité des composés obtenus est fondamentale dans l'effet antimicrobien exprimé par la taille des zones d'inhibition qui ont avoisiné 18 mm dans la solution phénolique préparée à 100% d'extrait de la plante. Un extrait plus diffusible mais moins actif pourrait néanmoins donner un diamètre d'inhibition plus grand qu'un extrait non diffusible mais plus actif (**Savaroglu et al., 2011**).

Ces réponses antimicrobiennes de l'extrait hydroéthanolique des cladodes d'*Opuntia ficus indica* est sans doute lié à sa grande richesse en composés phénoliques ayant montré un effet inhibiteur de type bactéricide au cours de la croissance de la bactérie objet de l'étude (*E. coli*).

A ce propos plusieurs auteurs notamment celui **Chaalal (2012)**, ont suggéré l'existence de nombreux composés phénoliques chez l'espèce végétale *Opuntia ficus indica* dont la haute teneur en polyphénols dans l'extrait; notamment les flavonoïdes, les tannins et les acides phénols, est responsable de son effet antimicrobien important

Cependant, l'efficacité antimicrobienne des polyphénols d'*Opuntia ficus indica* est multifactorielle. Elle est non seulement dépendante de leur structure et concentration, mais aussi fortement influencée par le solvant d'extraction choisi, les conditions de culture, l'espèce microbienne testée et sa densité.

La sensibilité des bactéries aux médicaments dépend de leurs caractéristiques d'hydrophobicité ou d'hydro-solubilité, et de la composition de la membrane microbienne (**De Almeida et al., 2010**). En générale, les bactéries gram à gram positif sont plus sensibles que les grams à gram **négatif**

Les bactéries à Gram négatif possèdent ainsi le système de pompes à résistance multidrogue (multidrugresistancepumps MDR) ou pompes efflux, qui peut induire la résistance aux agents antimicrobiens par leur extrusion hors bactérie (**Wendakoon et al., 2012 ;Ramírez-Moreno et al., 2017**).

La faible activité des solutions d'extrait préparées à 20,40 et 60% peut être dûe au type de solvant utilisés qui n'a pas extrait efficacement la totalité des composactifs de la plante, aux phénols non libérés ou liés dans les matrices d'extraits (**Avila-Nava et al., 2014**), et/ou à l'incapacité des composés extraits à diffuser dans la gélose (**Kurek et al., 2011**).

D'après les résultats obtenus dans cette étude, il apparait clair que l'extrait de raquettes d'*Opuntia ficus indica* offre une opportunité intéressante d'utiliser de nouvelles molécules

bioactives comme moyen thérapeutiques pour lutter contre certains microorganismes ayant développé une certaine résistance aux traitements conventionnels comme les antibiotiques.



Conclusion :

Conclusion

Le figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*) est un cactus qui a l'aptitude de vivre avec une faible quantité d'eau et de supporter une longue période de sécheresse. Une valorisation de cette plante et plus précisément la formulation d'un nouveau jus extrait à partir des cladodes, des fruits de la fleur et des grains peut contribuer sans doute au développement des zones arides en Algérie par la création d'entreprises et d'emplois.

Au terme de cette étude et à travers les résultats obtenus il apparait que l'extrait des cladodes du figuier de barbarie riche en composés phénolique exerce un effet de type bactéricide à l'encontre du germe de référence étudié (*Escherichia coli*).

Apparemment, l'extrait utilisé à l'état pur manifeste une grande efficacité antimicrobienne vis-à-vis de ce germe. Il a réduit d'environ 97,17% la croissance d'*E. coli*.

Par ailleurs, l'extrait a 80% et 100% ont présenté les meilleurs diamètres d'inhibitions; 10 et 18 mm, en moyenne.

Par rapport à la gentamicine, antibiotique à large spectre, l'extrait pur a atteint une efficacité antimicrobienne de l'ordre de 50% contre *E. Coli*.

Les CMI et les CMB chez *E. Coli* ont été obtenus respectivement avec l'extrait hydroéthanolique pur concentré à 100% et qui s'avère aussi exercer un effet antimicrobien de type bactéricide à l'égard de cette espèce bactérienne étudiée.

L'ensemble de ces propriétés biologiques confèrent aux cladodes d'*Opuntia ficus indica* récolté à Mostaganem-Algérie le statut de source potentielle en composés bioactifs susceptibles de jouer le rôle d'intrant dans les industries pharmaceutiques, cosmétiques, voire même alimentaires.

En perspective, il serait important :

- ▶ D'approfondir les recherches sur une large gamme de microorganismes et d'identifier les constituants actifs responsables de l'activité antimicrobienne.
- ▶ D'étendre l'éventail des tests antimicrobiens à d'autres activités des extraits de la plante : anti-inflammatoires, antidiabétique, anticancéreuses et antiviellissement.
- ▶ D'élargir le spectre de recherche en étudiant la plante provenant d'autres régions du pays et ceci à des fins comparatives.

Conclusion

- ▶ De réaliser une étude toxicologique des extraits et composés de cette plante avant de mettre sur le marché Algérien quelque produits transformés tels les jus et confitures à base de des constituants du figuier de barbarie
- ▶ D'élargir les usages des composés bioactifs du figuier de barbarie dans le domaine de la médecine douce et des produits cosmétiques.



Références bibliographiques :

Références bibliographiques

Abid M., Jabar S., Wu T., Muhammad hachimM., Hu B., Lei S., Zeng X. (2014). Sonication enhances polyphenolic compound, sugars, carotenoids and mineral elements of apple juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21 ;93–97 .

Abidi S., Ben salem H., Vasta V., Priolo A.(2009). Supplementation with barley or spineless cactus (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) cladodes on digestion, growth and intramuscular fatty acid composition in sheep and goats receiving oaten hay. *Small Rumin. Res.*, 87 ; 9–16.

Alimi H., Bouoni Z., Feriani A., Hfaeidh N., Sakly M., Ben Rhouma K., (2013). Preliminary characterization, antioxidant activities and ulcer curative effect of *opuntia* 32 ;406-416.

Aknouche S., Arich, A. (2018). Bio activités de biomolécules extraites à partir de biomasse de coproduits agricoles : propolis, cladodes du figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*) et grignons d'olives. , Mémoire Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.p113.

Anderson E.(2001) . F.The Cactus Family, Timber Press, Portland, , p. 15–72.

Arba, M., Aich, E. L., Sarti, A., Belbahri, B., Boubkraoui, L. L., Ait Hammou, A., ... & Sbaa, A. H. (2000). Valorisation du figuier de barbarie en élevage. *Bull Mens Inf Liaison PNTTA*, 68 ;1-4.

Barbera G., Carimi F., Inglese P.(1992). Past and role of the Indian fig prickly pear (*opuntia ficus indica* L Miller, *Cactaceae*) in the agriculture of Sicily. *Economic Botany*,46 ;10-20.

Bauer, A.W., Kirby, W.M.M., Sherris, J.C., and Turck, M.(1966). Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk.43 ;493-496.

Bailey, I. W. (1961). Comparative anatomy of the leaf-bearing Cactaceae, III: form and distribution of crystals in *Pereskia*, *Pereskiaopsis* and *Quiabentia*. *Journal of the Arnold Arboretum*, 42(3), 334-346.

Ben-thlija, A. Nutritional value of several *Opuntia* species. Master Thesis, Oregon State University, Corvallis/USA, 1987; cit. in: Nefzaoui, A., Ben Salem, H., Forage, fodder, and animal nutrition, in: Nobel, P. S. (Ed.), *Cacti. Biology and Uses*, University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London, 2002, p. 199–210.

Buxbaum, F. (1950). *Morphology of cacti: Section i. roots and stems*. Abbey Garden Press. 2.P87.

Bouguerche F, Bouaouiche A, Et Belahcene N. (2010). Effet Des Extraits Du Figuier De Barbarie (*Opuntia Ficus-Indica*) Sur Le Développement Des Lapins *Oryctolagus Cuniculus*. Laboratoire des Sciences et Techniques du Vivant Département des Sciences Agronomiques Institut des Sciences Agronomiques et Vétérinaires Université de Souk Ahras, 41000 – Algérie, 2, pp1.

Boke, N. H. (1944). Histogenesis of the leaf and areole in *Opuntia cylindrica*. *American Journal of Botany*, 31(6), 299-316.

Boutakiout, A. (2015). Etude physico-chimique, biochimique et stabilité d'un nouveau produit: jus de cladode du figuier de Barbarie marocain (*Opuntia ficus-indica* et *Opuntia megacantha*) (Doctoral dissertation, Université d'Angers).

Bérubé-Gagnon J.(2006). Isolation et identification de composés antibiotiques des écorces de *Picea mariana*. Mémoire comme exigence partielle de la maîtrise en ressources renouvelables. Quebec.

Benattia, F. K. *Analyse et Application des Extraits de pépains de Figs de Barbarie* (Doctoral dissertation, 08-01-2018).

Brückner, H., & Westhauser, T. (2003). Chromatographic determination of L-and D-amino acids in plants. *Amino acids*, 24(1-2), 43-55.

Bourgeois CM, Leveau JM(1980). Techniques d'analyse et de contrôle dans les industries agro alimentaires. Le contrôle microbiologique. Technique et documentation. *Apria* . 3 : 331.

Billing J., Sherman PW.(1998). Antimicrobial Functions of Spices: Why Some Like it Hot. *Q. Rev. Biol.* 73 ; 3-49.

Clave, D. (2015, Novembre 13). Fiche Technique : *Escherichia coli*. Toulouse, CHU Toulouse, France.

Cars, O., Diaz Högberg, L., Murray, M., Nordberg, O., Sivaraman, S., So, A.D. et Tomson, G. (2008). Meeting the challenge of antibiotic resistance. *Brit. Medi J.* 337 ;726-728.

Collin S.et C J. (2011). Polyphénols et Procédés: Transformation des Polyphénols au Travers des Procédés Appliqués à l'agro-Alimentaire. Agence universitaire de la francophonie, Lavoisier, Paris

Daglia, M. (2012). Polyphenols as antimicrobial agents. *Curent Opinion in Biotechnology*, 23(2), 174-181.

Del Vall V., Hernandez Munoz P., Guarda A., Galotto M.J., (2005). Development of a cactus mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragara ananassa*) shelf-life. *Food chemistry.* 91 ; 571-756.

De Almeida, C. G., Garbois, G. D., Amaral, L. M., Diniz, C. C., & Le Hyaric, M. (2010). Relationship between structure and antibacterial activity of lipophilic N-acyldiamines. *Biomedicine & pharmacotherapy*, 64(4), 287-290.

Denis F, Ploy MC, Martin C, Bingen E, Quentin R . (2011) Bactériologie Médicale, Techniques Usuelles. Editions Masson, Paris: 640.

El Kossori R.L., Villaume C., El Boustani E., Sauvaire Y., Méjean L., (1998). Composition of pulp, and seeds of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). *Plant Foods for human nutrition*, vol.52, n3, pp.263-270.

El-mostafa K., El kharassi Y., Badrddine A., AndrrolettIi P., Vamecq J., El kebbaj M.S., Iatruffe N., Lizard G., Nasser B., Cherkaoui-malki M.(2014). Nopal Cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a Source of Bioactive Compounds for Nutrition, Health and Disease. *Molecules*, 19 ;14879-14901.

Espiard, E. (2002). *Introduction à la transformation industrielle des fruits*. Éd. Tec & Doc.

Ennouri M., Evelyne B., Laurence M., Hammadi A., (2005). Fatty acid composition and rheological behaviour of prickly pear seed oils. *Food Chemistry.* Pp 431-437.

EFSA- European Food Safety Authority. (2007). the community summary report trends and sources of zoonoses, zoonotic agents antimicrobial resistance and foodborne outbreaks in the European union in 2005- Rapport may 2007-*The EFSA Journal*– 94 ;3-288p.

Espinosa A., R. Borrocal A., M. Jara, C. Zorilla G.,C. Zanabria P. Et J. Medina T. (1973). Quelques Propriétés Et Essais Préliminaires De Conservation Des Fruits Et Du Jus De Figue De Barbarie (*Opuntia Ficus Indica*).5, pp1-2.

Ferrari J. (2002). Contribution à la connaissance du métabolisme secondaires des Thymelaceae et investigation phytochimique de l'une d'elle: *Gnidia involucrata* Steud. Ex A. Rich. Thèse de doctorat. Lausanne. P242.

Feugang, J. M., Konarski, P., Zou, D., Stintzing, F. C., and Zou, C. (2006). Nutritional and medicinal use of cactus pear (*Opuntia spp.*) cladodes and fruits. *Frontiers in Bioscience*, 11 ; 2574-2589

Freeman, T. P. (1969). The developmental anatomy of *Opuntia basilaris*. I. Embryo, root, and transition zone. *American Journal of Botany*, 56(9), 1067-1074.

Fernández-López, J. A., Castellar, R., Obón, J. M., & Almela, L. (2002). Screening and mass-spectral confirmation of betalains in cactus pears. *Chromatographia*, 56(9-10), 591-595.

Fernandez M.L., Trejo A et MC Namara D.J. (1990). Pectin isolated from prickly pear (*Opuntia sp.*) modifies low density lipoprotein metabolism in cholesterol-fed guinea pigs. *Journal Nutritionnel*. 120(11), 1283-1290.

Futura santé. (s.d.) : <https://www.futurasciences.com/sante/actualites/medecinealimentation-animale-oms-demande-reduction-antibiotiques-53569>

Inglese P., Basile F. and Schirra M., (2002). *Cactus* pear fruit production. In: *Cacti Biology and Uses*. pp. 163-183. (Nobel, P.S. ed.). University of California Press, Berkeley, California, United States of America.

Jaramillo-Flores, M. E., González-Cruz, L., Cornejo-Mazon, M., Dorantes-Alvarez, L., Gutierrez-Lopez, G. F., & Hernandez-Sanchez, H. (2003). Effect of thermal treatment on the antioxidant activity and content of carotenoids and phenolic compounds of cactus pear cladodes (*Opuntia ficus-indica*). *Food science and technology international*, 9(4), 271-278

Gibson, A. C., & Nobel, P. S. (1986). *The cactus primer*. Harvard University Press.

Ginestra G., Parker M.L., Bennett R.N., Robertson J., Mandalar G., Narbad A., Guignard J L, Cosson L, Henry M. (1985) .Abrégé de phytochimie. Masson, Paris; 121- 203.

Gilbert, S.F.(1996).Biologie du Développement, De Boeck Université.

Kabas O., Ormerzi A., & Akinci I., (2006). Physical properties of cactus pear (*Opuntia ficus indica* L.) grown wild in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 73 ; 198-202.

Guevara-Figueroa, T., Jiménez-Islas, H., Reyes-Escogido, M. L., Mortensen, A. G., Laursen, B. B., Lin, L. W., ... & de la Rosa, A. P. B. (2010). Proximate composition, phenolic acids, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia spp.*). *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(6), 525-532.

Haddouchi. F. Zerhouni. Kh, Sidi-Yekhelef. A, Et Chaouche. M. T .(2016). Evaluation of antimicrobial activity of different extracts of *Helichrysum stoechas* subsp. *Rupestre* Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, Vol. 85, p. 152 – 159

kaanane, A. (2000). Techniques de valorisation industrielle les figues de barbarie. *Actes de la deuxième journée nationale sur la culture du cactus, El KELAA DES SRAGHNA.*

Kra AKM. Evaluation et amélioration par séquençage chromatographique d'une action Antifongique demisca contre *Aspergillus fumigatus*. Thèse de doctorat.

Keller A-L., Girard .C ., Chaumont. J-P., (2009). *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill, le figuier de barbarie ou nopal, une plante aux multiples usages. UFR des sciences médicales et pharmaceutiques de Besançon, pp 24.

Malaininel M. E., Dufresne A., Dupeyre D., Mahrouz M., Vuong R., Vignon M. R. (2003) .Structure and morphology of cladodes and spines of *Opuntia ficus-indica*. Cellulose extraction and characterisation. *Carbohydr. Polym.* 51 ;77–83

Mauseth, J. D. (1984). Effect of growth rate, morphogenic activity, and phylogeny on shoot apical ultrastructure in *Opuntia polyacantha* (Cactaceae). *American journal of botany*, 71(9), 1283-1292.

Murillo Amador, B., & García, A. (2002). *El nopalcultivo forrajero sostenible para el noroeste de México* (No. F/634.775 N6).

Moroh J, Bahi AC, Dje K, Loukou YG, Guede-guina F. (2008) Étude de l'activité antibactérienne de l'extrait acétatique (EAC) de *Morinda morindoides* (Baker) milne-redheat (rubiaceae) sur la croissance in-vitro des souches d'*Escherichia coli*. Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège; 77 ; 44

Msaddak, L. (2018) Propriétés techno-fonctionnelles et substances bioactives de deux ingrédients alimentaires : cladodes du figuier de barbarie et feuilles de vigne. Thèse de Doctorat, Université de Gabès Tunis.p56.

Neffar, S. (2012) Etude de l'effet de l'âge des plantations de figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica* L. Miller) sur la variation des ressources naturelles (sol et végétation) des steppes algériennes de l'Est. Cas de Souk Ahras et Tébessa. PhD Thesis, University of Annaba, Algeria.p236.

Nerd, A., Karady, A., & Mizrahi, Y. (1991). Out-of-season prickly pear: fruit characteristics and effect of fertilization and short droughts on productivity. *HortScience*, 26(5), 527-529.

Nobel, P. S. (Ed.), *Cacti. Biology and Uses*, University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London, 2002, p. 199–210.

Nicklin J., Graeme K-Cook., Paget RT., Killingtons R.(2000). Essentiel en microbiologique .Berti édition .paris. P : 3,75.

Miranda, J. M., Vazquez, B. I. Fente, C. A. , Barros-Vela ´zquez, A. Cepeda et Franco, C. M. (2008). Evolution of Resistance in Poultry Intestinal *Escherichia coli* During three Commonly Used Antimicrobial Therapeutic Treatments. *Poult.Sci.* 87:1643–1648.

Munoz DE ChavezM., Chavez A., Valles V.et RoldanJ. A. (1995).The nopal: a plant of manifold qualities . *World Review of Nutrition and Dietetics*.**77** ;109–134.

OMS. (2018, 02 07). *Escherichia coli (E. coli)*. Récupéré sur Organisation mondiale de la Santé: <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/e->

Orwa C., Mutua, A., Kindt R., Jamnadass R., & Simons A., (2009). Agroforestry Data-base:a tree reference and selection guide version 4.0
<http://www.worldagroforestry.org/af/treedb/>

Olvera, P., & Romero, C. D. L. P. C. (2006). Atlas de anatomía vegetal./carmen de la paz perez olvera y jacqueline ceja romero (No. QK641. P47 2006.).

Paolo Inglese, Candelario Mondragon, Ali Nefzaoui. (2018). Ecologie,Culture Et Utilisations Du Figuier De Barbari . Rome ..250p.

Pritchard, H. N., & Hall, J. A. (1976). The chemical composition of glochids from Opuntia. *Canadian Journal of Botany*, 54(1-2), 173-176 .

Pimienta-Barrios, E. (1993). Vegetable cactus (Opuntia). *Pulses and Vegetables, Chapman & Hall, London*, 177-191.

Piga, A. (2004). Cactus pear: a fruit of nutraceutical and functional importance. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 6 ;9-22.

Prescott LM, Harley JP Klein DA .(2003). Microbiologie. De Boeck-Supérieur: 1137.

Prior R.L., Lazarus S.A., Cao G., Muceteli H.et Hammerstone J.F. (2001).Identification of procyanidins and anthocyanins in blueberries and cranberries (*vaccinium spp.*) using high-performance liquid chromatography/mass spectrometry. *Journal of Agriculturaland Food Chemistry*. **49** ;1270-1276.

Priscilla D.H.et Prince S.M. (2009). Cardioprotective effect of gallic acid on cardiac troponin-T, cardiac marker enzymes, lipid peroxidation products and antioxidants in experimentally induced myocardial infarction in wistar rats. *Chemico- Biological Interactions*.**179** ; 118-124.

Picard, M. (s.d.). Récupéré sur universalis.fr:
<https://www.universalis.fr/encyclopedie/cellule-la-division/1-le-cycle-de-divisioncellulaire-des-bacteries/>

Rodríguez-Felix, A., & Cantwell, M. (1988). Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). *Plant foods for Human nutrition*, 38(1), 83-93.

Rabemanatsoa N.A., (2010). Action pour une meilleure valorisation des *cactus Opuntia*. Mémoire d'ingénieur, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Antananarivo Madagascar, 45p.

Retamal, N., Durán, J. M., & Fernández, J. (1987). Seasonal variations of chemical composition in prickly pear (Opuntia ficus-indica (L.) miller). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 38(4), 303-311.

Rodriguez-felix A., Cantwell M. (1988), Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos), *Plant. Foods Hum. Nutr.* 38;83-93.

Salem-Fnayou, A. B., Zemni, H., Nefzaoui, A., & Ghorbel, A. (2014). Micromorphology of cactus-pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill) cladodes based on scanning microscopies. *Micron*, 56 ;68-72 .

Russell, C., and Felker, P. (1987). The prickly-pears (*Opuntia spp.*, Cactaceae): A Source of Human and Animal Food in Semiarid Regions. *Economic Botany*, 41;433-445.

Slimen, I. B., Najar, T., & Abderrabba, M. (2016). *Opuntia ficus-indica* as a source of bioactive and nutritional phytochemicals. *Journal of Food and Nutrition Sciences*, 4(6) :162-169.

Schweizer M.(1997). Docteur Nopal, le médecin de bon dieu. Edition APB (Aloe Plante et Beauté).Paris(France).

Stintzing, F. C., and Carle, R. (2005). Cactus stems (*Opuntia spp.*): A review on their chemistry, technology, and uses. *Molecular nutrition & food research*, 49:175-194.

Temagoult A.(2017). Caractérisation et transformation de la figue de barbarie (*Opuntia ficus indica* L.), Elaboration d'une confiture et d'une gelée extra. Mémoire de magister en Génie des Procédés Alimentaires. Université Hadj Lakhdar- Batna 1, Algérie.

Tenover, F.C. et Hughes, J.M. (1996). The challenges of emerging infectious diseases. Development and spread of multiply-resistant bacterial pathogens. *J. of Am. Med.As.* 275 :300-304.

Sultana B, Anwar F, Ashraf M. (2009). Effect of extraction solvent/technique on the antioxidant activity of selected medicinal plant extracts. *Molecules*. 14: 2167-2180.

Teles, F. F., Stull, J. W., Brown, W. H., & Whiting, F. M. (1984). Amino and organic acids of the prickly pear cactus (*Opuntia ficus indica* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 35(4), 421-425.

Saleem M., Ja Kim H., Kyun Han C., Jin C., & Sup Lee Y., (2006). Secondary metabolites from *Opuntia ficus indica* var. *saboten*. *Phytochemistry*, 67 ;1390-1394

Ventura-Aguilar, R. I., Bosquez-Molina, E., Bautista-Baños, S., & Rivera-Cabrera, F. (2017). Cactus stem (*Opuntia ficus-indica* Mill): anatomy, physiology and chemical composition with emphasis on its biofunctional properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(15),:5065-5073.

Wallace, R. S., and Gibson, A. C. (2002). Evolution and systematics. *Cacti biology and uses*, PS Nobel (ed.). University of California Press, Berkeley, CA, 1-21.

Waldron K.W., (2009). Anatomical chemical and biochemical characterization of cladodes from prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.], *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(21) ;10323-10330.

Zhiri A.(2006). Les huiles essentielles, un pouvoir antimicrobien avéré. Ed. Nutra News: p16.



Annexe :

Annexe 01 : les milieux de culture

Muller Hinton agar ;

Infusion de viande de bœuf déshydraté.....	300g
Hydrolysate de caséine	17.5g
Amidon de maïs.....	5g
Agar Agar	13g
Eau distillée.....	1000ml

Bouillon nutritif :

Peptone	05g
Extrait de viande	01g
Extrait de levure.....	02g
Chlorure de Sodium.....	05g
Eau distillé.....	1000ml

Eau physiologique :

Chlorure de Sodium.....	09g
Eau distillée	950g

PH=autoclavage 120°pendent 20min

les domaines d'utilisation

La gélose de Mueller Hinton est reconnue par tous les experts comme étant le milieu de référence pour l'étude de la sensibilité des germes aux antibiotiques et aux sulfamides. Il constitue un excellent milieu de base pour la fabrication de géloses au sang.

Principes

- Le choix des ingrédients est déterminé de façon à obtenir une très faible quantité de thymine et de thymidine (substances connues pour inhiber l'activité antibactérienne du triméthoprim), ainsi qu'une très faible quantité d'acide para-amino-benzoïque (PABA) et de ses analogues de structure qui sont des antagonistes de l'activité des sulfonamides

Annexe 02 : préparation des milieux

1. Préparation du milieu Mueller-Hinton

Muller Hinton est, le milieu complexe, recommandé pour la réalisation des interactions, nécessaire pour obtenir des résultats fiables au niveau de l'antibiogramme et préparée comme suivant :

- Mettre 64.6 g de Muller Hinton dans 1700 ml d'eau distillée. Faire bouillir avec agitation jusqu'à dissolution complète.

2. Préparation du milieu gélose nutritive

Gélose nutritive préparée comme suivant :

Dissoudre 20 g de la gélose nutritive dans un litre d'eau distillée. Faire bouillir avec agitation jusqu'à dissolution complète.

3. Préparation de l'eau physiologique

2.7g de NaCl dissoudre dans 300 ml d'eau distille dans un récipient, ce dernier ferme pendant 15 min, mettre de cote celui-ci jusqu'à ce qu'il soit refroidi a la température ambiante

Annexe 03 : Les matériels utilisés



Spectrophotomètre



vortex



Évaporateur rotatif

Annexe 04 : antibiotique utilisée :



Annexe 05 : Méthode de préparation des solutions et d'ensemencement des boîtes.

