

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالمة
Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences Biologiques
Département : Écologie et Génie de l'Environnement
Spécialité/Option : Microbiologie appliquée

Intitulé

Effet antibactérien d'une algue marine (*Halopteris filicina*)

Présenté par

Melle : Nour El Houda BEN SEBIHI

Melle : Abir BOUADJILA

Membre du jury

Dr. Meriem Imen BOUSSADIA
Dr. Sandra AMRI
Dr. Lamia BENHALIMA

Présidente
Encadreur
Examinatrice

Université de Guelma
Université de Guelma
Université de Guelma

Nos remerciements vont en premier lieu aux membres du jury

Dr. Meriem Imen BOUSSADIA maitre de conférences « A » à l'université 8 Mai 1954, pour l'honneur qu'elle nous fait de présider le jury.

Dr. Lamia BENHALIMA maitre de conférences « B » à l'université 8 Mai 1954, pour l'honneur qu'elle nous fait d'examiner ce modeste travail.

Dr. Sandra AMRI maitre de conférences « A » à l'université 8 Mai 1954, d'avoir accepté de diriger ce travail.

Mille mercis ne suffisent pas pour exprimer nos grandes gratitudes à nos parents qui n'ont jamais cessé de nous soutenir. Que ce travail soit le témoignage de notre profonde reconnaissance. Enfin, merci à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Table des matières

Page

Remerciements
Table des matières
Résumé en français
Résumé en anglais
Résumé en arabe
Liste des figures
Liste des tableaux

Introduction 01

Chapitre I : Synthèse bibliographique

| | |
|---|----|
| I. Botanique de la plante | 03 |
| I.1. Description..... | 03 |
| I.2. Synonymies et noms vernaculaires..... | 04 |
| I.3. Classification..... | 04 |
| I.4. Répartition géographique..... | 04 |
| I.5. Reproduction | 05 |
| I.6. Rôle écologique..... | 05 |
| I.7. Utilisation et intérêt économique des algues marines:..... | 05 |

Chapitre II : Matériel et Méthodes

| | |
|---|----|
| II.1. Matériel biologique..... | 08 |
| II.2.Extraction..... | 08 |
| II.3. Souches bactériennes..... | 08 |
| II.4. Milieux de culture..... | 09 |
| II.5. Tests phytochimiques..... | 09 |
| II.5.1. Préparation de l'infusé, du décocté et de l'extrait chloroformique..... | 09 |
| II.5.2. Tanins..... | 09 |
| II.5.3. Anthocyanes..... | 10 |
| I.5.4. Leucoanthocyanes..... | 10 |
| I.5.5. Flavonoïdes..... | 10 |
| II.5.6. Saponosides..... | 10 |
| II.5.7.Mucilages..... | 10 |
| II.5.8. Composés réducteurs | 11 |
| II.5.9. Alcaloïdes..... | 11 |
| II.5.10. Terpènes et stérols..... | 11 |

| | |
|--------------------------------------|----|
| II.5.11. Dérivés anthracéniques..... | 11 |
| II.6. Activité antibactérienne..... | 12 |
| II.6.1. Préparation d'extrait..... | 12 |
| II.6.2. Antibiogramme..... | 12 |

Chapitre III : Résultats et Discussion

| | |
|---|-----------|
| III.1. Rendement..... | 13 |
| III.2. Caractérisation phytochimique..... | 14 |
| III.3. Purification des souches bactériennes | 18 |
| III.4. Effet de la gentamicine et l'eau distillée vis-à-vis des souches bactériennes..... | 19 |
| III.5. Étude de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanoïque..... | 22 |
| Conclusion et perspectives..... | 26 |
| Références bibliographiques..... | 27 |

Résumé

Ce travail de master a pour objectif de déterminer le screening phytochimique et l'activité antibactérienne de l'algue *Halopteris filicina* qui est très abondante et utilisée pour ses divers effets thérapeutiques en Algérie. Dans cette étude, l'espèce *Halopteris filicina* a été récoltée au niveau de la wilaya d'Annaba pour la préparation de l'extrait méthanoïque. Le screening phytochimique nous a permis de mettre en évidence la présence des métabolites secondaires au niveau de *Halopteris filicina*, de même les résultats révèlent la présence des anthocyanes, alcaloïdes, Saponosides, composés réducteurs, flavonoïdes, leucoanthocyanes, tanins catéchiques. Cependant, anthraquinones libres et anthraquinones combinées C-hétérosides et O-hétérosides, tanins galliques et les mucilages n'étaient pas présents. L'activité antibactérienne de l'extrait méthanoïque de *Halopteris filicina* a indiqué des zones d'inhibitions à partir 100 mg d'extrait pour l'espèce *Escherichia coli* et de 100 mg pour l'espèce *Staphylococcus aureus*. Toutefois, l'extrait méthanoïque présentait un effet bactéricide vis à vis d'*Escherichia coli* et de *Staphylococcus aureus*.

Mots clés :

Halopteris filicina, Souches bactériennes, Activité antibactérienne, Screening phytochimique, Antibiogramme.

Abstract

This master's work aims to determine the screening phytochemical and antibacterial activity of algae *Halopteris filicina* very abundant and used for, Its various therapeutic effects in Algeria.

In this study, the species *Halopteris filicina* was collected at the Annaba wilaya for the preparation of the methanoic extract. Phytochemical screening allowed us to highlight the presence of secondary metabolites at *Halopteris filicina*, similarly the results reveal the presence of anthocyanins, alkaloids, Saponosides, reducing compound, flavonoids, leucoanthocyanins, catechic tannins. However, free anthraquinones and anthraquinones combined

C-heterosides and O-heterosides, gallic tannins and mucilages were not present. The antibacterial activity of the methanoic extract of *Halopteris filicina* indicated inhibition zones from 100 mg of extract for the species *Escherichia coli* and 100 mg for the species *Staphylococcus aureus*. However, the methanoic extract had a bactericidal effect on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*.

Keywords:

Halopteris filicina, Bacterial strains, Antibacterial activity, Phytochemical screening, Antibiogram.

ملخص

يهدف عمل الماجستير هذا إلى تحديد الفحص الكيميائي النباتي والنشاط المضاد للبكتيريا للطحالب *Halopteris filicina* الوفيرة جدًا والمستخدمه لتأثيراتها العلاجية المختلفة في الجزائر. في هذه الدراسة، تم جمع *Halopteris filicina* من ولاية عنابة لإعداد مستخلص الميثانويك.. سمح لنا الفحص الكيميائي النباتي بتسليط الضوء على وجود مستقبلات ثانوية على مستوى *Halopteris filicina*، وبالمثل، تكشف النتائج عن وجود الأنتوسيانين والقلويات والصابونوسيدات والمركبات المختزلة والفلافونويد والليوكوانثوسيان والعفص الديني. ومع ذلك، لم يكن هناك أنثراكينون حر وأنثراكينونات مجتمعة C-heterosides و O-heterosides. يشير النشاط المضاد للبكتيريا في المستخلص الميثانوي *Halopteris filicina* إلى مناطق تثبيط من 100 ملغ من المستخلص لأنواع *Escherichia coli* و 100 ملغ لأنواع *Staphylococcus aureus*. لذلك، كان لمستخلص الميثانويك تأثير بكتيري على *Escherichia coli* و *Staphylococcus aureus*.

الكلمات المفتاحية: *Halopteris filicina*, السلالة البكتيرية، النشاط المضاد، الفحص الكيميائي، انتيبيوغرام.

Liste des figures

| N° | Titre | Page |
|----|---|------|
| 01 | <i>Halopetris filicina</i> | 03 |
| 02 | Algue marine <i>Halopetris filicina</i> | 08 |
| 03 | Aspect de l'extrait méthanoïque. | 13 |

Liste des tableaux

| N° | Titre | Page |
|----|--|------|
| 01 | Caractérisation phytochimique de l'algue <i>Haloperis filicina</i> . | 14 |
| 02 | Screening phytochimique de <i>Halopteris filicina</i> . | 17 |
| 03 | Aspect des cellules bactériennes sur les milieux de cultures. | 19 |
| 04 | Effet de la gentamicine et de l'eau distillée sur les souches bactériennes. | 20 |
| 05 | Effet de la gentamicine (10 µg) vis-à-vis des souches bactériennes. | 21 |
| 06 | Effet de l'eau distillée vis-à-vis des souches bactériennes. | 22 |
| 07 | Diamètres des zones d'inhibition des souches bactérienne vis-à-vis de l'extrait. | 23 |
| 08 | Effet de l'extrait méthanoïque vis-à-vis des souches bactériennes. | 25 |

Introduction

Les océans et les mers couvrent environ 75% de la surface terrestre, abritant un écosystème marin exceptionnellement diversifié en raison de la multitude d'organismes qui y vivent, y compris les algues (Radmer et Parke, 1994). Les algues sont des végétaux beaucoup moins connues que les plantes terrestres et beaucoup plus difficiles à voir. Elles s'installent principalement dans les milieux aquatiques, notamment marins et sous-marins, et forment un ensemble d'organismes très variés qu'il est très difficile de présenter de façon très simple. La mise en valeur de la biomasse algale est l'un des programmes internationaux les plus prometteurs dans le domaine de l'exploitation du milieu marin. Les algues ont acquis un large éventail de composés chimiques, offrant une protection contre de nombreux agresseurs à la fois biotiques et abiotiques. Ces plantes génèrent une grande quantité de métabolites secondaires comme les polyphénols (Pohnert, 2004 ; Paul *et al.*, 2006 ; Blunt *et al.*, 2006).. Ces dernières années, la production de ces métabolites a connu une augmentation significative, avec un nombre considérable d'activités biologiques différentes, comme l'activité antimicrobienne (Etahiri *et al.*, 2001 ; Smit, 2004 ; Bhakuni et Rawat, 2005; Blunt *et al.*, 2006 ; Etahiri *et al.*, 2007 ; Oumaskour *et al.*, 2012 ; Boujaber *et al.*, 2016).

Étant donné la croissance de l'utilisation des macroalgues dans différentes applications, le marché mondial des macroalgues a connu une croissance exceptionnelle. De 1995 à 2012, la période de la quantité de macroalgues produites a augmenté de plus de 176 %, notamment pour les Phaeophycées (macroalgues brunes) et les Rhodophycées (macroalgues rouges). En 2014, les macroalgues représentaient 21 millions de tonnes d'algues fraîches, dont 94 % étaient issues de l'aquaculture. Dans l'avenir, les macroalgues mondiales pourraient atteindre un montant de 21,11 milliards de dollars, avec un taux de croissance de 8,4 %. De manière générale, les macroalgues rouges et brunes servent de nourriture marine pour les êtres humains et les animaux. En Europe, les industries colloïdales sont encore principalement utilisées pour les macroalgues marines, avec une part de 75 % pour les agars (Rahikainen *et al.*, 2021). Les molécules précieuses des macroalgues sont très diversifiées et ont souvent des caractéristiques physico-chimiques et/ou biologiques intéressantes, comme les protéines, les polysaccharides, les vitamines, les pigments et les polyphénols. Ainsi, la reprise et la caractérisation de ces biomolécules ont connu une augmentation significative au cours de la dernière décennie, afin de rendre la bioraffinerie des macroalgues réalisable et viable. On utilise les algues dans différents secteurs, comme l'énergie, l'alimentation, les aliments pour animaux, les cosmétiques, les nutraceutiques ou la pharmacologie (Hadjkacem *et al.*, 2022) .

Nous avons donc choisi de focaliser nos efforts sur deux principaux objectifs, d'une part faire la screening phytochimique de *Halopteris filicina* et d'autre part tester l'effet antibactérien vis-à-vis de 2 souches (*Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*) par la détermination de l'antibiogramme.

Ce manuscrit comportera trois chapitres principaux :

- Le premier chapitre, sera consacré à la recherche bibliographique. Il comportera des généralités sur *Halopteris filicina* ainsi que ses activités biologiques.
- Le second, est un chapitre expérimental consacré aux méthodes utilisées pour l'étude du screening phytochimique et de l'activité antibactérienne.
- Le troisième chapitre mentionnera les différents résultats obtenus et leur comparaison avec ceux de la littérature viendra enserrer ce chapitre.

Enfin ce manuscrit sera clôturé par une conclusion et des perspectives pour l'ensemble du travail.

Synthèse Bibliographique

I. Botanique de l'algue

I.1. Description

L'algue *Halopteris filicina*, est une algue brune dont la taille maximale est de 15 cm. La couleur de cette algue variée du brun clair au vert olive. Le thalle se compose d'un point central, qui peut être ramifié, et de rameaux alternés disposés dans un seul plan, conférant à l'ensemble une apparence de fougère ou de petit sapin. Les branches ont elles-mêmes des ramules alternées. Les sphacèles se trouvent à l'extrémité des ramules, d'où surgissent les nouveaux rameaux latéraux. La base du thalle présente fréquemment un stipe presque complètement dépourvu de branches. Les rhizoïdes sont responsables de la fixation du thalle au substrat, L'axe principal est composé de quatre cellules, recouvertes d'une couche de cellules corticales. La structure de cette algue est plutôt rigide (Bunker *et al.*, 2017 ; Keum *et al.*, 1995).



Figure 1: *Halopteris filicina* (Mansouri, 2021).

I.2. Synonymies et noms vernaculaires

Halopteris filicina peut avoir comme synonymie *Ceramium filicinum*, cette algue est également connue sous différents synonymes et noms vernaculaires. Parmi ceux-ci, on retrouve (García *et al.*, 2019) :

- ✓ *Sphacelaria disticha* Vahl
- ✓ *Sphacelaria filicina*
- ✓ *Sphacelaria sertularia*

I.3. Classification

La classification de l'algue *Halopteris filicina* est comme suit (García *et al.*, 2019) :

| | |
|---------------|----------------------------|
| Phylum | <i>Ochrophyta</i> |
| Embranchement | <i>Ochrophyta</i> |
| Classe | <i>Phaeophyceae</i> |
| Ordre | <i>Sphacelariales</i> |
| Famille | <i>Stypocaulaceae</i> |
| Genre | <i>Halopteris</i> |
| Espèce | <i>Halopteris filicina</i> |

I.4. Répartition géographique

La présence de *Halopteris filicina* est répandue dans toute la Méditerranée et la mer Noire. On peut aussi la trouver dans l'Atlantique Nord-Est, depuis la Scandinavie jusqu'aux Açores. Elle a également été mentionnée dans toutes les mers chaudes et tempérées du monde, l'Afrique du sud, le Bahamas, le Brésil, le Chili, la Floride, le golfe persique, le Hawaï, le Japon (Leblond *et al.*, 2012).

I.5. Reproduction

Halopteris filicina, comme tous les membres de l'ordre des *Sphacelariales*, possède un cycle de reproduction digénétique isomorphe (2 générations distinctes mais ayant le même aspect) [1] :

- ✓ Le sporophyte génère des sporocystes uniloculaires qui sont insérés dans l'aisselle des racines avec un court pédoncule,
- ✓ Tandis que le gamétophyte hermaphrodite (espèce monoïque) génère des spermatocytes et des oogones, qui sont généralement pluriloculaires (organe reproducteur à plusieurs loges), qui sont également portés par un pédicelle inséré à l'aisselle des racines.

I.4. Rôle écologique

L'algue *Halopetris filicina* est halophile, ce qui signifie qu'elle pousse dans des environnements salins tels que les marais salants et les régions côtières. Elle remplit plusieurs fonctions écologiques cruciales dans ces écosystèmes (Clams, 2017 ; Abdulghani, 2017 ; Squadrone *et al.*, 2017) :

- ✓ Stabilisation des sols : Les racines de *Halopetris filicina* aident à stabiliser les sols salins et à prévenir l'érosion côtière, ce qui est essentiel pour maintenir l'intégrité des écosystèmes côtiers fragiles.
- ✓ *Halopetris filicina* participe au cycle des éléments nutritifs en absorbant des minéraux et des nutriments du sol, puis en les relâchant lorsqu'elle meurt et se décompose.
- ✓ Habitat et nourriture pour la faune : Les algues halophiles comme *Halopetris filicina* offrent un habitat et une nourriture à de nombreux animaux, tels que les oiseaux côtiers et les oiseaux de mer.

I.5. Utilisation et intérêt économique des algues marines

Des algues marines sont utilisées dans de nombreuses industries. Actuellement, elles sont considérées comme une source nutritionnelle et un produit à valeur croissante, principalement en Asie où elles sont utilisées directement comme aliments, ou indirectement principalement par l'industrie des phycocolloïdes. Elles sont employées en tant qu'engrais et fourrages dans l'agriculture, dans l'industrie alimentaire et pharmaceutique, dans le textile, et dans de nombreux autres secteurs (Chopin, 1997) :

✓ Alimentation animale :

Depuis de nombreuses années, les animaux vivant sur les bords de la mer consommaient des macro-algues brunes, en particulier dans les pays où elles étaient rejetées sur le rivage. De plus, l'algue rouge *Palmaria palmata* était connue sous le nom de "goémon à vache". Les premières expériences de compléments alimentaires pour les animaux d'élevage ont révélé une acceptabilité, une digestibilité et une assimilation satisfaisantes des algues (Chopin, 1997). De nos jours, la création de farines a renforcé la disponibilité de macro-algues pour les animaux. Les macro-algues telles qu'*Ascophyllum nodosum* et *Laminaria digitata* raichement sont coupées en fines particules et passées au séchage. D'après leurs études, ils ont démontré qu'elles renfermaient des quantités significatives de minéraux, d'oligoéléments et de vitamines. Le fer, le zinc, le cobalt, le chrome, le molybdène, le nickel, le fluor et l'iode sont des oligo-éléments indispensables pour les mammifères en des quantités limitées (Chouikhi, 2013).

✓ Alimentation humaine:

Les algues sont consommées depuis le début de l'humanité en Asie. La consommation directe d'algues est plus marginale et plus récente en occident. Ces grandes algues renferment des protéines, des lipides, des vitamines et des minéraux, ce qui en fait une source d'aliment précieuse. Environ 75% de la production mondiale d'algues est utilisée directement pour l'alimentation humaine. Aujourd'hui, certains pays autorisent la vente de 14 macro-algues et micro-algues alimentaires (Noziah et Ching, 2000).

✓ **Industrie alimentaire:**

Les algues sont utilisées dans l'alimentation de manière discrète, en raison de ses propriétés technologiques, depuis le début des années soixante. L'agar et l'alginate sont désormais des éléments indispensables dans le secteur agroalimentaire. (Marfaing, 2004). Après avoir été purifié, déshydraté et broyé, le mucilage de ces algues donne naissance à la poudre d'agar-agar, principalement utilisée pour gélifier de nombreux produits alimentaires, ainsi que pour les milieux de culture pour les microorganismes ou les cultures *in vitro* (Chouikhi, 2013).

✓ **Agriculture:**

Depuis des siècles, les habitants des régions côtières fertilisaient leurs terres en utilisant des macro-algues, en particulier les grandes algues brunes, qui sont généralement collectées sur les plages, puis lavées et coupées. Les macro-algues ont des effets différents en tant que fertilisants en fonction de l'algue utilisée. Ce n'est généralement pas seulement à cause des composants chimiques de l'algue et de sa valeur nutritionnelle, mais aussi des propriétés physiques des polysaccharides de l'algue qui contribuent à améliorer la structure du sol (Kim, 1970). Il serait bénéfique d'utiliser des fertilisants naturels afin de réduire la consommation d'engrais chimiques et des traitements phytosanitaires traditionnels qui polluent le sol et la récolte (Pérez, 1997).

✓ **Domaine pharmaceutique et médical:**

De nombreux éléments chimiques extraits des macro-algues sont biologiquement actifs, dont certains ont une activité pharmacologique efficace (Rorrer et Cheney, 2004). Environ 4000 métabolites nouveaux ont été découverts aujourd'hui à partir de différents organismes marins et jusqu'aux années 1990, ce sont les algues qui ont le plus captivé les chercheurs (Praud, 1994).

✓ **Biotechnologie:**

La biotechnologie des macro-algues marines implique trois étapes : la création de la cellule et la culture cellulaire, la création de photobioréacteurs et l'identification des méthodes pour produire des métabolites secondaires (synthèse biomimétique) (Rorrer et Cheney, 2004). Le domaine émergent de la biotechnologie marine est l'ingénierie biotechnologique des macro-algues marines pour la fabrication de ces composés. La protéine phycoérythrine (PE)

présente dans les *Rhodophycées* est déjà employée dans les domaines biotechnologiques comme colorant ou teinture dans des réactions d'immunofluorescence (Fleurence, 1999).

✓ **Dans le traitement des eaux usées:**

La méthode de lagunage offre une solution économique et performante à des systèmes de traitement (les déchets des villes, de l'industrie, des fermes aquacoles et des entreprises agricoles). Les cultures d'algues en bassin ont montré que les algues sont capables d'absorber les nutriments provenant des élevages piscicoles (Cohen et Nori, 1991). Les macro-algues ont montré leur intérêt pour le traitement des eaux usées en eau salée dès la fin des années 70 dans des mélanges d'eau usée et d'eau de mer (Guist et Humm, 1976).

Matériel
et
Méthodes

II.1. Matériel biologique

L'algue *Halopteris filicina* (**Fig02**) a été récoltée en plongée et manuellement à l'aide d'un couteau au niveau du Cap de Gard (Annaba). l'échantillon prélevé est rincés délicatement à l'eau de mer puis transporter au laboratoire dans des filets à petites mailles pour libérer de l'eau et ne pas perdre les individus. Le choix de cette espèce est justifié par son abondance dans la région d'étude. L'algue fraîchement récoltée, est séchée à l'ombre dans un endroit sec et aéré puis broyée en poudre avant d'être utilisée.



Figure02 : Algue marine *Halopteris filicina* (Mansouri, 2021).

II.2. Extraction

Le travail a été réalisé au laboratoire de microbiologie de l'université 08 Mai 1945 Guelma. La poudre fine de l'algue séchée a été macéré dans une solution hydro-alcoolique (méthanol/eau : 8/2 : v/v) pendant 24 heures. Après macération, la solution a été filtrée et concentrée sous vide à 45 °C au évaporateur rotatif puis conservés dans des flacons stériles hermétiquement fermés à 4 °C.

II.3. Souches bactérienne

Les germes utilisés sont des souches de références de type ATCC (American Type Culture Collection), ils constituent d'excellents modèles pour la recherche de l'effet antibactérien des substances naturelles ou de synthèses. Les souches utilisées sont : *Escherichia coli* ATCC 29212 et *Staphylococcus aureus* ATCC 25923. Aussi, des souches hospitalières fournies par Dr. Lamia Benhalima L. (Maitre de conférence à l'université 8 Mai 1954 Guelma), ont été utilisée. Les souches sont : *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*

II.4. Milieux de culture

Suivant les méthodes employées et les souches étudiées, nous avons utilisé plusieurs milieux tels que la gélose nutritive, Hektoen, Chapman, Cétrimide, gélose Muller Hinton et du bouillon nutritif.

II.5. Tests phytochimiques

Le screening des différentes classes de métabolites secondaires a été réalisé selon les méthodes colorimétriques décrites par [Edeogal et al., \(2005\)](#) et [Karumi et al., \(2004\)](#). La présence de métabolites secondaires a été déterminée par des réactions de précipitation, de turbidité ou de changement de couleur.

II.5.1. Préparation de l'infusé, du décocté et de l'extrait chloroformique

Pour la préparation de l'infusé à 10 %, nous avons placé 10 g de l'algue en poudre dans 100 ml d'eau bouillante, après 15 min on procède à la filtration et à la récupération de l'infusé puis compléter à 100 ml. Pour le décocté, nous avons rajouté à 2 g de la plante en poudre 100 ml d'eau, porté à l'ébullition pendant 30 minutes, après refroidissement et filtration, on réajuste le volume à 100 ml. Pour l'extrait chloroformique, nous avons rajouté à 1 g de la plante en poudre 10 ml de chloroforme, puis chauffé pendant 3 minutes au bain-marie, ensuite filtrer à chaud et complété à 10 ml.

II.5.2. Tanins

Dans un tube à essais, nous avons pris 5 ml de l'infusé auquel nous avons ajouté goutte à goutte 1 ml d'une solution de chlorure ferrique (FeCl_3) à 1 %. L'apparition d'une coloration verdâtre indique la présence des tanins catéchiques et celle en bleue noirâtre indique la présence de tanins galliques.

II.5.3. Anthocyanes

Diviser l'infusé à 10 % sur 3 tubes, le 1^{er} tube de l'infusé sera considéré comme le témoin, nous avons rajouté au 2^{ème} tube de l'infusé quelque gouttes d'acide chlorhydrique (HCl) à 37 %, ensuite, nous avons rajouté quelques gouttes d'hydroxyde d'ammonium (NH₄OH) au 3^{ème} tube de l'infusé. La recherche des anthocyanes est basée sur le changement de la couleur de l'infusé avec le changement du pH.

I.5.4. Leucoanthocyanes

Nous avons mélangé 5 ml de l'infusé à 10 % avec 4 ml d'alcool chlorhydrique (éthanol /HCl à 37 % - 3V/V). Après un chauffage au bain marie à 50 °C pendant quelques minutes, l'apparition d'une couleur rouge cerise indique la présence des leucoanthocyanes.

I.5.5. Flavonoïdes

Dans un tube à essais, nous avons induit 5 ml d'infusé, puis rajouter 5 ml d'alcool chlorhydrique (alcool à 95°, eau distillée, HCl concentré a parties égales en volume), 1 ml d'alcool isoamylique puis quelques copeaux de magnésium. Il se produit une réaction de crépitation pendant quelque minute. L'apparition d'une coloration rose orangée (flavones) ou rose-violacée (flavanones) ou rouge (flavonones, flavanonols) rassemblée dans la couche surnageant indique la présence d'un flavonoïde.

II.5.6. Saponosides

La détection des saponosides est réalisée en ajoutant un peu d'eau à 2 ml du décocté puis la solution est fortement agitée. Ensuite, le mélange est laissé pendant 10 min et la teneur en saponosides est évaluée (pas de mousse = test négatif, mousse moins de 1cm = test faiblement positif, mousse de 1-2 cm = test positif, mousse plus de 2 cm = test très positif).

II.5.7. Mucilages

Nous avons introduit 1 ml du décocté dans un tube à essai et rajouté 5 ml d'éthanol absolu. Après une dizaine de minutes, l'obtention d'un précipité floconneux par mélange indique la présence de mucilage.

II.5.8. Composés réducteurs

La détection des composés réducteurs consiste à mélanger 1 ml du décocté avec 2 ml d'eau distillée et 20 gouttes de la liqueur de Fehling puis chauffer. Un test positif est révélé par la formation d'un précipité rouge-brique.

II.5.9. Alcaloïdes

Nous avons procédé à une macération sous agitation pendant 24 heures de 5 g de la poudre dans 25 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) à 10 % à température ambiante. Après filtration sur un papier Whatman. Introduire 1 ml du filtrat dans un tube à essai, puis 5 gouttes de réactif de Mayer ont été rajoutées. La présence d'une turbidité ou d'un précipité blanc jaunâtre, après 15 minutes indique la présence d'alcaloïdes.

II.5.10. Terpènes et stérols

Nous avons procédé à une macération de 5 g de la poudre dans 20 ml d'éther de pétrole. Après filtration et évaporation la phase organique dans un bain de sable à 90 °C, le résidu est dissout dans 5 ml d'acide acétique en ajoutant 1 ml d'acide sulfurique concentré. Dans la zone de contact, entre les deux liquides ils se forment un cercle marron ou violet qui vire vert le gris, ce changement indique la présence de stérol et de terpène.

II.5.11. Dérivés anthracéniques

Pour les anthraquinones libres, mélanger 1 ml de l'extrait chloroformique avec 1 ml d'ammoniaque (NH_4OH) dilué (V/V : 1/1) puis agité. Une coloration plus et moins rouge indique la présence d'anthraquinones libres. Pour les anthraquinones combinées, à partir de l'extrait chloroformique, nous avons préparé un hydrolysât auquel il a été ajouté 10 ml d'eau, 1 ml d'HCl concentré puis maintenir le tube à essai au bain-marie bouillant pendant 15 minutes. Filtrer, puis récupérer 5 ml de l'hydrolysât et faire agiter avec 5 ml de chloroforme, récupérer la phase organique puis rajouter 1 ml de NH_4OH (dilué à $\frac{1}{2}$) et agiter. La présence d'anthraquinones est révélée par l'apparition d'une coloration rouge plus ou moins foncée. La réaction peut être plus poussée par addition à 5 ml de l'hydrolysât 3 à 4 gouttes de $FeCl_3$ à 10 % puis agitation avec 5 ml de chloroforme. En présence d'une coloration rouge plus ou moins intense indique la présence de anthraquinones combinées de type O- hétérosides.

Nous avons repris la phase chloroformique par 10 ml d'eau et 1 ml de $FeCl_3$ à 10 %. Après ébullition au bain-marie pendant 30 min, nous avons rajouté à la phase chloroformique

5 ml de chloroforme et 1 ml de NH_4OH (dilué à 1/2). Une coloration rouge plus ou moins intense indique la présence des anthraquinones combinées de type C-hétérosides.

II.6. Activité antibactérienne

II.6.1. Préparation d'extrait

L'extrait méthanoïque préparés au paravent est repris dans de l'eau distillée stérile à 200 mg/ml.

II.6.2. Antibiogramme

L'activité antibactérienne de l'extrait méthanoïque a été évaluée par la méthode de diffusion en milieu gélosé décrite par [Bauer *et al.*, \(1966\)](#). A partir de colonies jeunes de 18 à 24 heures, une suspension bactérienne est réalisée dans de l'eau physiologique stérile à 0,9 % de NaCl est préparée pour chaque souche bactérienne. La turbidité de cette suspension est ajustée à 0,5 Mc Farland puis diluée et étalé à l'aide d'un écouvillon sur boîtes Pétri contenant de la gélose Mueller-Hinton. L'extrait est déposé à 100 mg dans des puits. Les boîtes Pétri sont d'abord laissées pendant 2 heures à 4 °C avant d'être incubées dans une étuve à 37 °C pendant 24 heures. L'évaluation de l'inhibition est réalisée par la mesure du diamètre de la zone d'inhibition autour de chaque puits. Nous avons utilisé un témoin négatif (eau distillé stérile) et un témoin positif (gentamicine 10 µg).

Résultats
et
Discussion

III.1. Rendement

L'extrait méthanoïque a été caractérisé par sa couleur et son rendement par rapport à la poudre sèche de *Halopteris filicina*. En matière de rendement, l'extrait méthanoïque a présenté un rendement en extrait assez faible de l'ordre de 0,4 % par rapport au 206 g de poudre. Pour l'aspect et la couleur, il été de couleur marron très foncé de forte odeur (**Fig03**). Le rendement est très sensible au choix de la période de récolte de l'algue. Aussi le rendement peut varier selon le climat, la zone géographique, la génétique de la plante et la méthode d'extraction employée (Belhaoues *et al.*, 2020).



Figure 03 : Aspect de l'extrait méthanoïque.

III.2. Caractérisation phytochimique

Les résultats de l'étude phytochimique effectuée sur l'algue *Halopteris filicina*, sont reportés dans le **Tableau01**.

Tableau 01 : Caractérisation phytochimique de l'algue *Halopteris filicina*:

| Molécules détectés | | Résultat |
|--------------------------|---------------|----------|
| Anthocyanes | | + |
| Alcaloïdes | | + |
| Anthraquinones libres | | - |
| Anthraquinones combinées | O-hétérosides | - |
| | C-hétérosides | - |
| Composés réducteurs | | + |
| Flavonoïdes | | + |
| Leucoanthocyanes | | + |
| Mucilages | | - |
| Tanins | Catéchiques | + |
| | Galliques | - |
| Saponosides | | + |

(+) : Présence
(-) : Absence

Le screening phytochimique nous a permis de mettre en évidence la présence des métabolites secondaires au niveau de l'algue *Halopteris filicina*. La détection de ces composés chimiques est basée sur des essais de solubilités des constituants, des réactions de précipitation, de turbidité ou un virage de couleur. Les résultats révèlent la présence des anthocyanes, des alcaloïdes, des composés réducteurs, des flavonoïdes, des leucoanthocyanes, des tanins de type catéchiques et des saponosides. Tout fois, les mucilages et anthraquinones libres n'étaient pas présents.

Les propriétés antibactériennes des métabolites secondaires chez les algues peuvent être utilisées comme des mécanismes de défense actifs contre l'épiphyte dans l'environnement marin et préserver la capacité de régénération rapide après les dommages causés par l'environnement (Vlachos *et al.*, 1997). Les flavonoïdes ont un impact crucial, car ils offrent une protection contre le stress et favorisent une tolérance aux métaux lourds. Les flavonoïdes, en dehors des végétaux, ont divers effets pharmacologiques. Ils jouent un rôle essentiel dans le traitement des problèmes de circulation sanguine et capillaire. De plus, ils préviennent l'oxydation des aliments d'origine végétale, ce qui les rend célèbres antioxydants pour leur effet anti-radicalaire (Makhloufi, 2013). Plusieurs études ont montré la relation entre la structure des flavonoïdes et l'activité antibactérienne (Cushnie, 2005 ;

Cushnie et Lamb, 2005). Les flavonoïdes sont des substances phytochimiques qui se trouvent dans divers organismes, y compris les algues. Leurs vertus antioxydantes, anti-inflammatoires, anticancéreuses et autres avantages pour la santé sont bien connues (Lima *et al.*, 2015).

Les alcaloïdes constituent un ensemble de composés organiques azotés provenant de végétaux, plus ou moins basiques, parfois complexes, qui peuvent entraîner des réactions chimiques communes et avoir une activité physiologique marquante. Les recherches scientifiques ont largement documenté leur présence et leur répartition dans les algues (Carvalho *et al.*, 2016).

Les saponosides sont des substances chimiques présentes dans divers organismes, notamment certaines algues. Les saponosides peuvent se trouver dans les algues à différentes concentrations. Les algues marines sont connues pour contenir des saponosides dans leurs tissus. Différents rôles peuvent être joués par ces composés, tels que la protection contre les prédateurs, la régulation de la croissance et du développement, ainsi que la protection contre le changement climatique (Holdt *et al.*, 2011).

Les anthocyanes, sont des pigments naturels qui varient du rouge orangé au bleu pourpre dans le spectre visible. Ils ont un rôle crucial dans la préservation de l'algue face aux agressions de l'environnement. En raison de leur pouvoir colorant élevé, de leur solubilité en milieu aqueux et l'absence de toxicité, elle peuvent être utilisés comme substitut aux colorants synthétiques utilisés dans l'industrie agroalimentaire (Azevedo *et al.*, 2010).

Certains organismes, tels que les algues, produisent des substances visqueuses appelées mucilages. Il a examiné leur présence et leur fonction dans les algues dans la littérature scientifique (Roussis *et al.*, 2000). Chez les algues, en particulier chez les Phaeophycées et les Rhodophycées, le mucilage est issu du développement important de la lamelle moyenne, qui peut gonfler au contact de l'eau. Ce gonflement peut être très important et entraîner une augmentation de plusieurs fois du volume de la substance. La lamelle moyenne contient des substances gonflantes qui forment le mucilage de drogues comme *Stipes Laminariae*, *Fucus* et Carrageen. À l'état plus ou moins pur, elles sont isolées d'autres espèces de Phaeophycées et Rhodophycées et constituent les alginates et l'Agar-Agar. De ce point de vue, ces mucilages sont enchâssés dans le tissu de ces algues. La forme plus ou moins attractive de ces plantes et leur grande perméabilité ne requièrent pas toujours la pulvérisation de la peau (Aellig, 1952).

Les terpénoïdes et les stéroïdes constituent probablement la plus large classe de composés secondaires (Krief, 2003). Le terme de terpénoïde est attribué à tous les composés possédant une structure moléculaire construite d'un monomère à 5 carbones appelé isoprène, ces composés sont majoritairement d'origine végétale. Dans le règne végétal, les terpénoïdes sont considérés en tant que métabolites secondaires qui jouent des rôles écologiques importants, notamment en contribuant aux phénomènes de communication et de défense. Depuis l'antiquité, quelques caractéristiques des terpénoïdes étaient connues pour l'homme et certaines épices ont été utilisées pour leurs particularités de parfum, leur saveur et leur effet de conservateur (Bauer *et al.*, 2001).

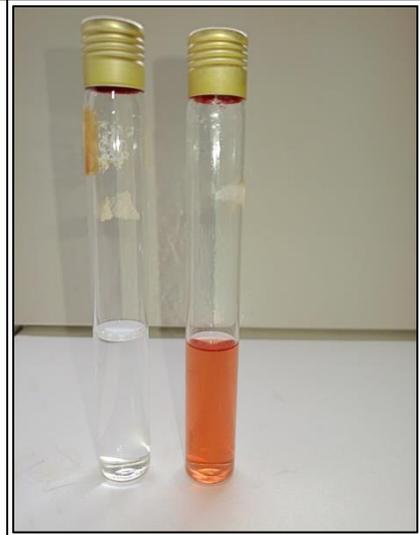
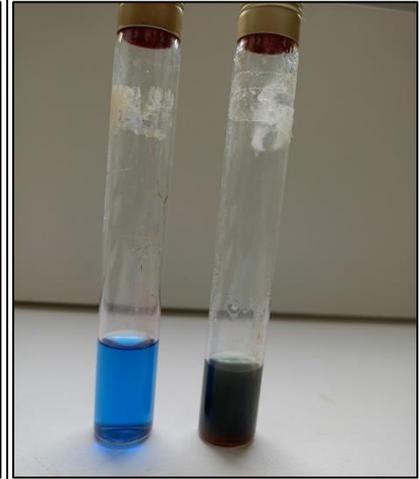
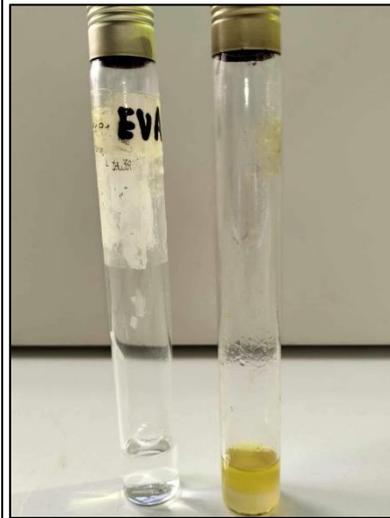
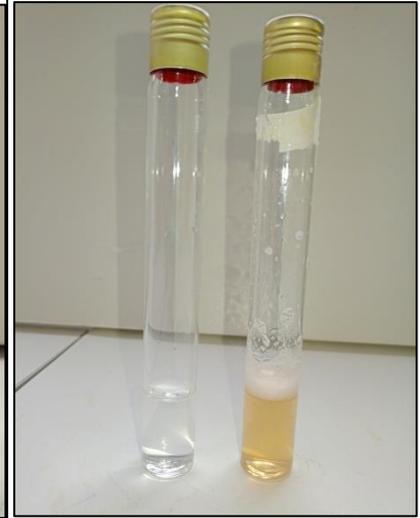
Tous les végétaux contiennent des tanins à un degré plus ou moins élevé (Loto *et al.*, 2011). Les tanins sont des substances polyphénoliques qui sont présentes de manière naturelle, elles constituent le quatrième élément de la biomasse, après la cellulose, les hémicelluloses et la lignine (Hernes, 2000 ; Hedges, 2000). Les tanins ont également été observés chez les algues. Ils jouent un rôle fréquent dans la lutte contre les herbivores, la préservation contre les perturbations environnementales et la régulation de la croissance des algues (Freile, 2012 ; Robledo, 2012).

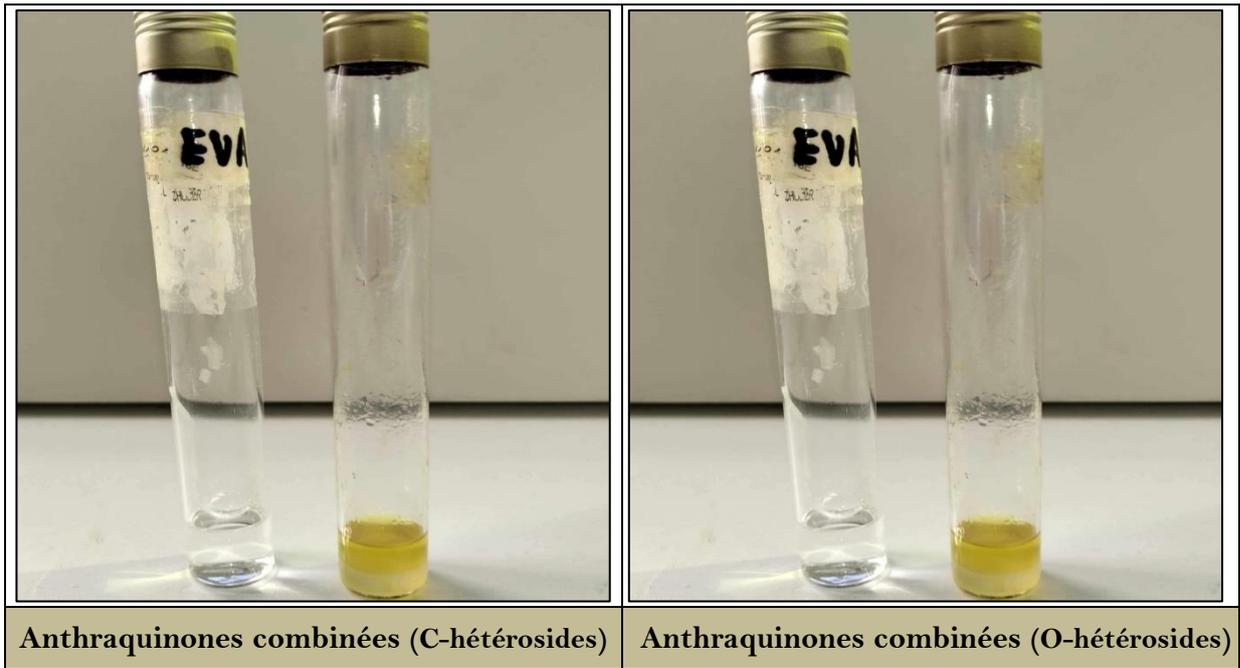
Les leuco-anthocyanes, également appelées anthocyanes leuco, sont des pigments présents dans certaines algues. Tout comme les flavonoïdes, sont des pigments qui contiennent des substances actives qui contribuent à maintenir les vaisseaux sanguins en bonne santé (Masquelier, 1958).

Les composés réducteurs sont des composés chimiques présents dans les algues et qui jouent un rôle crucial dans diverses activités biologiques. Ces substances peuvent inclure des pigments, des polysaccharides, des protéines et d'autres composés organiques qui peuvent subir des réactions de réduction (Hamed *et al.*, 2015).

Les anthraquinones se distinguent par leur structure en noyau d'anthracénique et sont réputés pour leurs multiples activités biologiques, telles que leurs propriétés antioxydants, antimicrobiennes, antivirales et anticancéreuses. Ces substances ont été repérées dans diverses espèces d'algues et se trouvent fréquemment en concentrations variables en fonction des espèces et des conditions environnementales (Ai *et al.*, 2019).

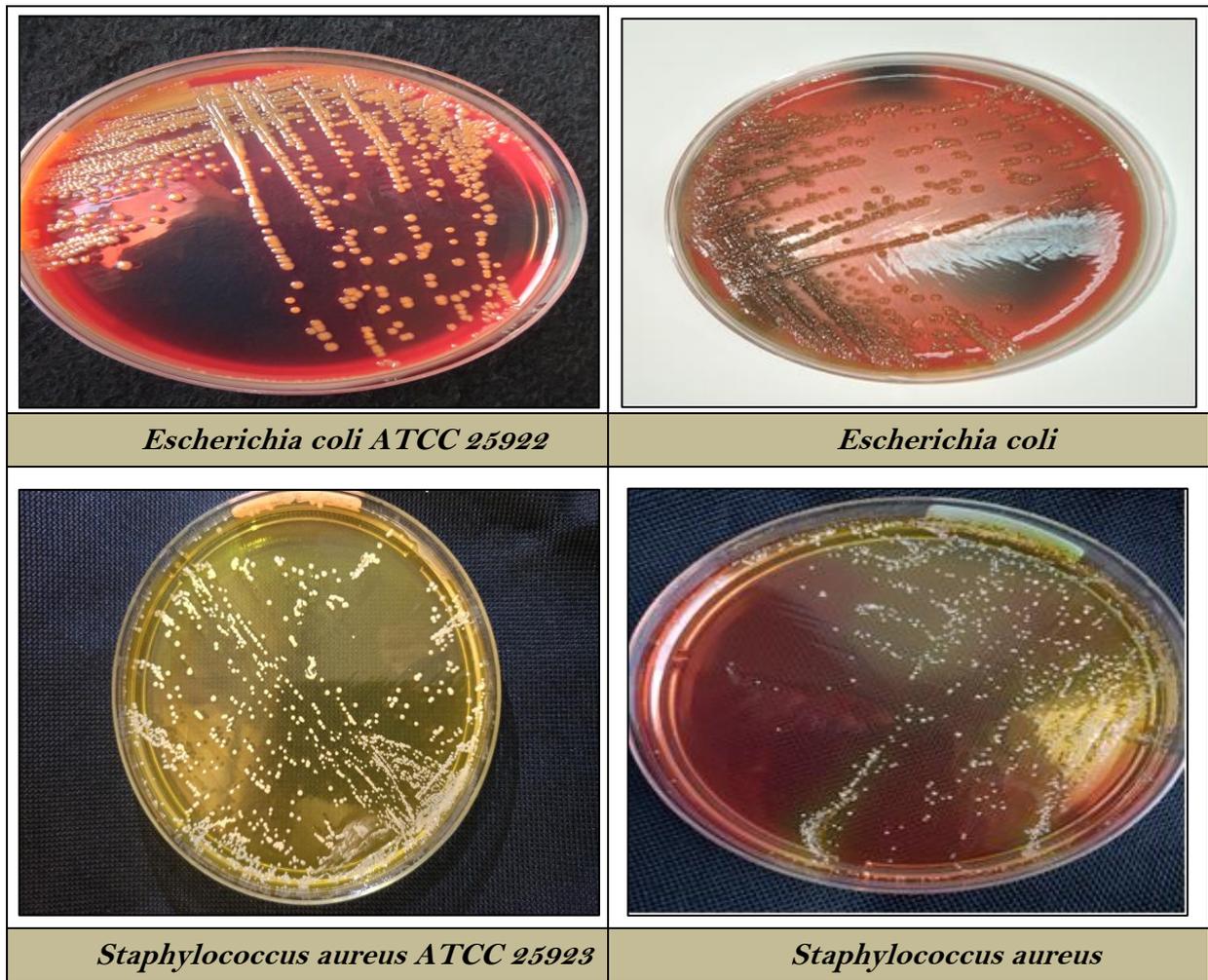
Tableau 02 : Screening phytochimique de *Halopteris filicina*.

| | | |
|---|--|---|
|  |  |  |
| <p>Tanins catéchiques</p> | <p>Anthocyanes</p> | <p>Leucoanthocyanes</p> |
|  |  |  |
| <p>Saponosides</p> | <p>Mucilages</p> | <p>Composés réducteurs</p> |
|  |  |  |
| <p>Alcaloïdes</p> | <p>Anthraquinones libres</p> | <p>Flavonoïdes</p> |



III.3. Purification des souches bactériennes

Afin de vérifier leur pureté, les souches bactériennes ont été ensemencées et repiqués sur des milieux de cultures spécifique, les photos prisent sont représentés dans le (**tableau 03**). Sur la gélose Hektoen, l'espèce *Escherichia coli* se présente sous forme de petites colonies de couleur rouge brique. Sur la gélose Chapman l'espèce *Staphylococcus aureus* se présente sous forme de petites colonies luxuriantes de couleur jaune.

Tableau 03 : Aspect des cellules bactériennes sur les milieux de cultures.

III.4. Effet de la gentamicine et l'eau distillée vis-à-vis des souches bactériennes

Afin de soumettre l'extrait aux essais biologiques, la résistance ou la sensibilité bactérienne peut également être critique. Pour cela, la gentamicine (10 μg) a été testée comme témoin positif et l'eau distillée comme témoin négatif. Les résultats obtenus indiquent que les souches bactériennes peuvent présenter des zones d'inhibitions à la gentamicine (**Tableau 04 et 05**). De même, l'eau distillée est appropriée et ne présente aucun effet sur la croissance normale des souches bactériennes (**Tableau 04**).

L'espèce *Escherichia coli* ATCC 25922 et *Escherichia coli* ont indiqués un effet de l'ordre de 25,6 mm et 26,3 mm pour 10 μg de gentamicine. Cependant l'espèce *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 et *Staphylococcus aureus* ont indiqués un effet de l'ordre de 22,6 mm et 23,3

mm pour 10 µg de gentamicine. Donc l'algue de *Halopteris filicina* possède un effet antibactérien avec toutes les deux souches bactériennes testées, ce qu'explique que ces souches testés sont sensibles à la gentamicine.

Tableaux 04 : Effet de la gentamicine et de l'eau distillée sur les souches bactériennes (moyenne ± écart type).

| Souches bactérienne | Gentamicine (10 µg) | Effet antibactérien | ED |
|---|---------------------|---------------------|-------|
| <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922 | 25,6 ± 0,57 mm | sensible | 00 mm |
| <i>Escherichia coli</i> | 26,3 ± 0,57 mm | sensible | 00 mm |
| <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923 | 22,6 ± 1,5 mm | Sensible | 00 mm |
| <i>Staphylococcus aureus</i> | 23,3 ± 0,21 mm | Sensible | 00 mm |

ED : Eau distillée

Tableau 05 : Effet de la gentamicine (10 µg) vis-à-vis des souches bactériennes.

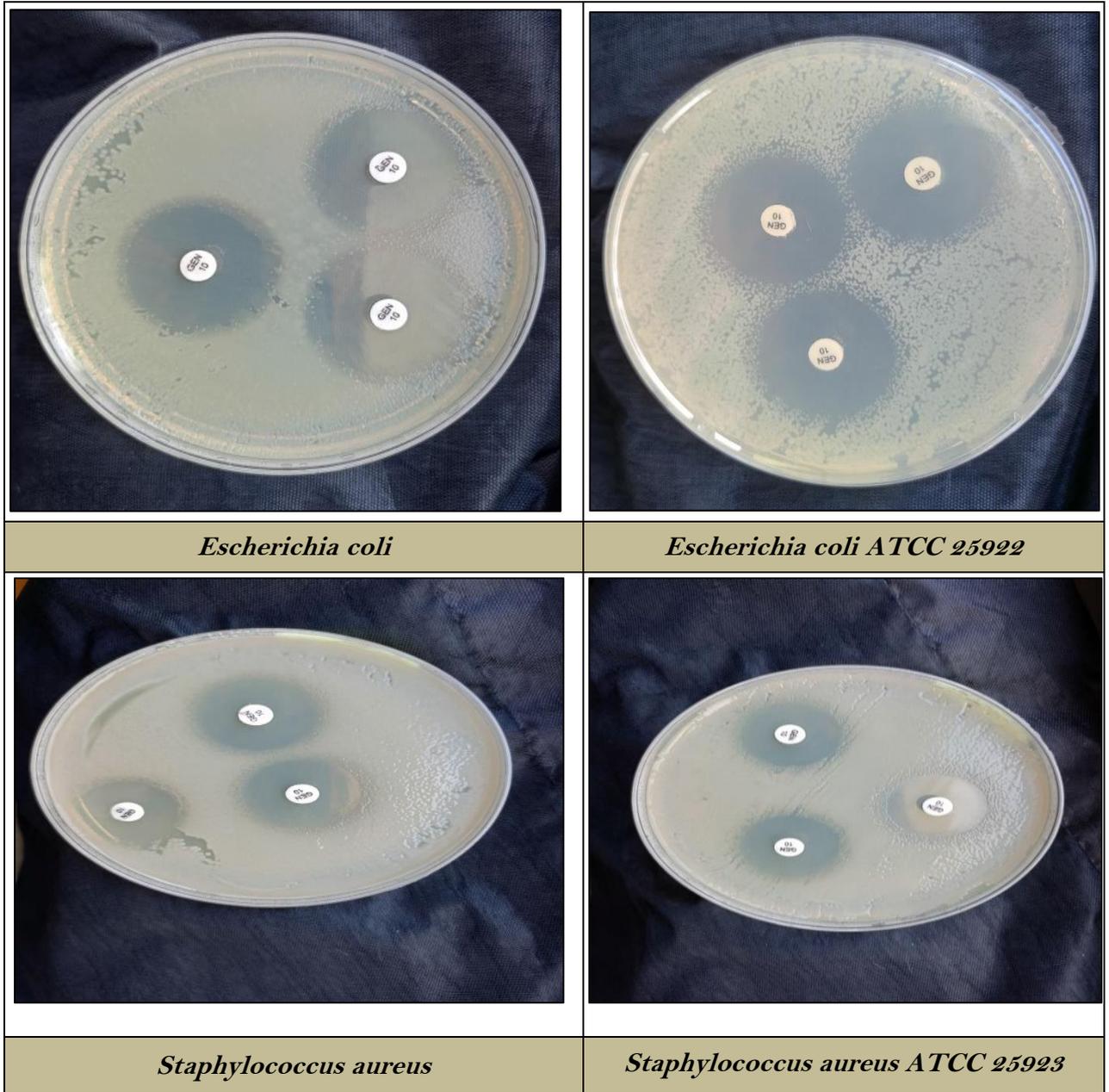
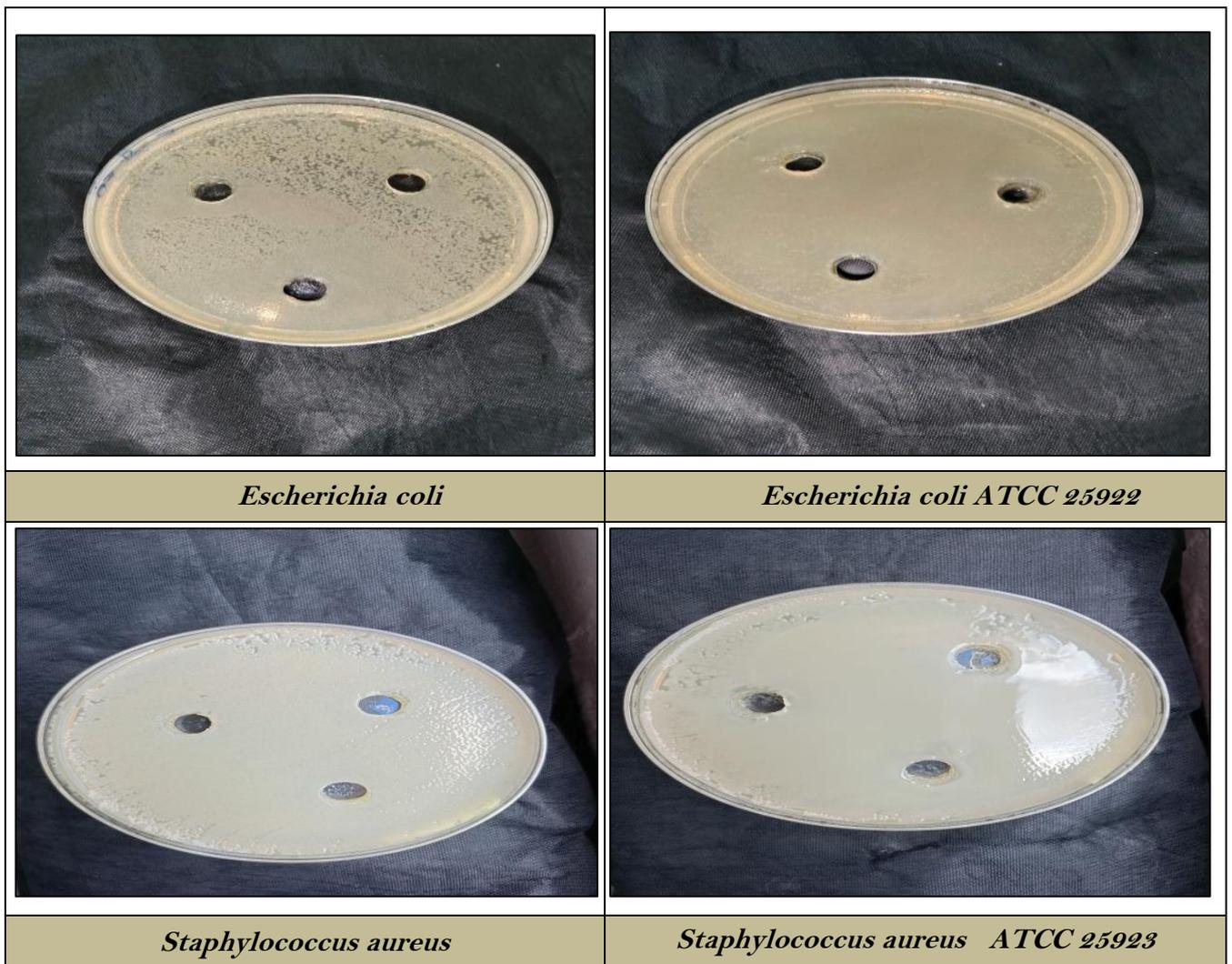


Tableau 06 : Effet de l'eau distillée vis-à-vis des souches bactériennes.



III.5. Étude de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanoïque

Nous avons étudié *in vitro* l'activité antibactérienne de l'extrait méthanoïque d'une algue marine *Halopteris filicina* par la méthode de diffusion en milieu gélosé. L'activité antibactérienne de notre extrait a été déterminée par la mesure du diamètre de la zone d'inhibition au tour des puits contenant l'extrait méthanoïque. Les résultats obtenus à partir de cet extrait sont représentés dans le **tableau 07** et les photos présentées dans le **tableau 08**. D'après les résultats obtenus, l'extrait méthanoïque de *Halopteris filicina* peut avoir un effet antibactérien sur les espèces bactériennes étudiées.

Selon le **tableau 07** l'espèce *Escherichia coli* ATCC 25922 et *Escherichia coli* ont indiqués des zones d'inhibitions de l'ordre de 6,3 mm et 16,3 mm pour des quantités de 100 mg d'extrait méthanoïque. Cependant l'espèce *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 et *Staphylococcus aureus* ont indiqués des zones d'inhibitions de l'ordre de 21,6 mm et 21,3 mm pour des quantités de 100 mg d'extrait méthanoïque. Par contre selon (Taskin *et al.*, 2007) l'algue brune *Halopteris filicina* n'a également pas montré d'activité contre E. coli.

Tableau 07 : Diamètres des zones d'inhibition des souches bactérienne vis-à-vis de l'extrait méthanoïque (Moyenne \pm écart type).

| Souches bactériennes | Zones d'inhibitions (mm) |
|---|--------------------------|
| | Extrait 0,4 mg |
| <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922 | 16,3 \pm 0,057 |
| <i>Escherichia coli</i> | 16,3 \pm 0,63 |
| <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923 | 21,6 \pm 0,05 |
| <i>Staphylococcus aureus</i> | 21,3 \pm 0,05 |

Les résultats obtenus ont indiqués que l'extrait méthanoïque de *Halopteris filicina* possède un effet antibactérien avec toutes les souches bactériennes testées. L'algue marine possède des propriétés antibactériennes en raison de sa teneur élevée en minéraux, antioxydants, vitamines et acides gras essentiels. Ces nutriments protègent les fibres de collagène et d'élastine, qui assurent la souplesse et la fermeté de la peau, et qui peuvent aussi combattre les bactéries. Les algues marines contiennent depuis des millénaires des composés anti-inflammatoires et antimicrobiens, ce qui leur confère des vertus médicinales bien connues. Les anciens Romains utilisaient les algues pour soigner diverses affections cutanées. Alors que des éléments anecdotiques suggèrent que les anciens Égyptiens les employaient peut-être pour le traitement du cancer cervical. En raison de leur composition riche en éléments bénéfiques pour la peau, les algues marines ont des propriétés antibactériennes, ce qui explique leur efficacité contre les bactéries et leur amélioration de la peau.

Les algues sont une source de composés bioactifs car elles ont la capacité de générer une grande diversité de métabolites secondaires qui se distinguent par un large éventail d'activités biologiques. Les algues brunes comme *Halopteris filicina* contiennent des composés qui possèdent des propriétés cytostatiques, antivirales, anthelminthiques, antifongiques et antibactériennes (Lindequist, et Schweder, 2001; Newman *et al.*, 2003). Selon des recherches précédentes, il a été observé une variation de l'activité antibactérienne

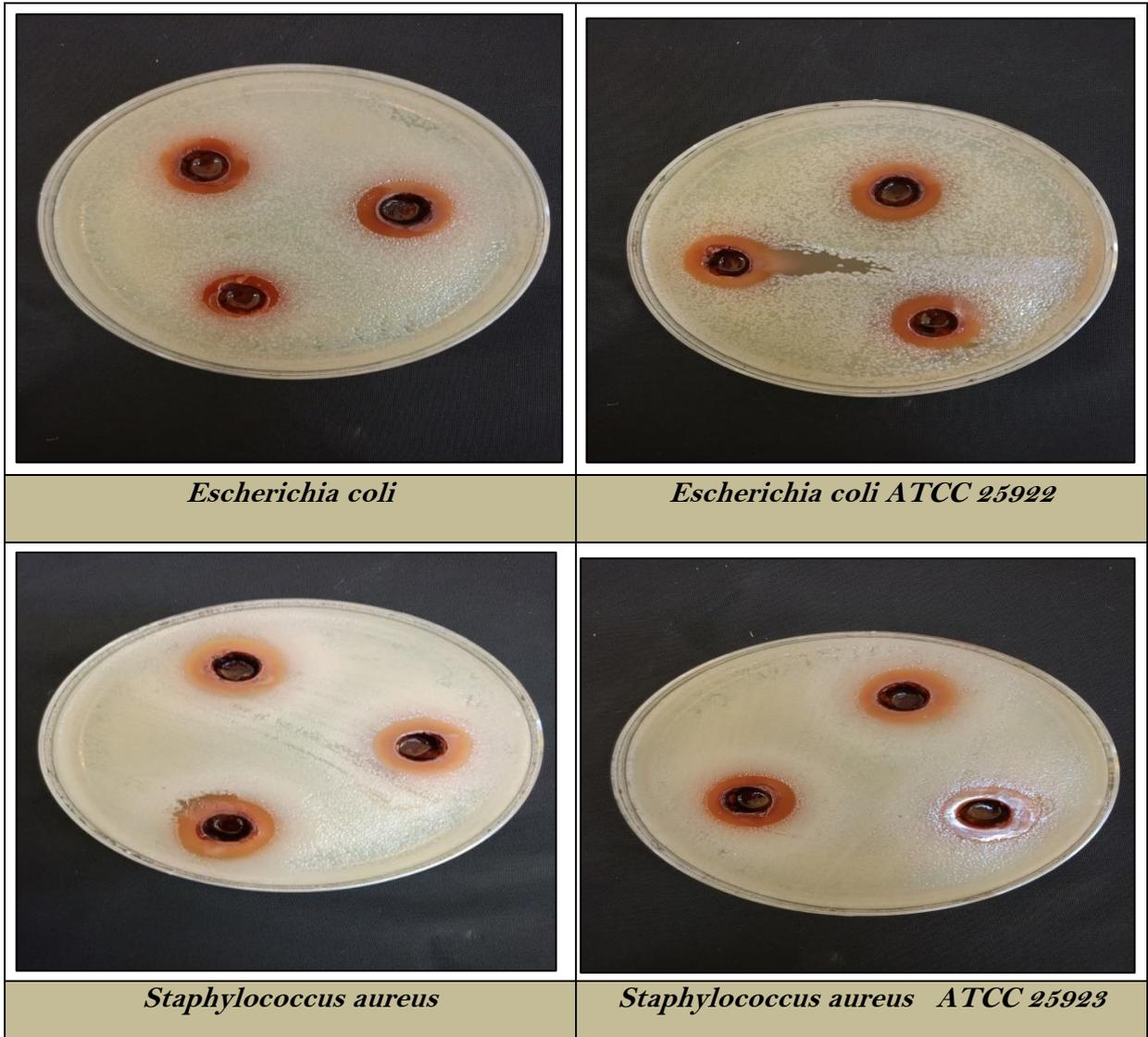
au sein d'une même espèce d'algues causée par des variations de l'écologie, de la croissance ou de la maturité sexuelle (Pratt *et al.*, 1951 ; Burkholder *et al.*, 1960 ; Pesando, 1990).

Les zones d'inhibition ont été observées dans les extraits méthanoliques de deux algues, à savoir *Cystoseira barbata* ($12,66 \pm 0,57$ mm) et *Halopteris filicina* ($11 \pm 1,00$ mm) (Taskin *et al.*, 2007). Les résultats obtenus dans notre étude diffèrent de ceux des autres recherches, Cette disparité peut être attribuée à différentes raisons, telles que le processus de séchage de l'extrait, la résistance des bactéries et une concentration trop faible des molécules bioactives. De plus, la sensibilité des bactéries est en réalité indépendante du Gram (Dorman et Deans, 2000), Selon la nature de l'extrait utilisé, cela varie (Deans et Ritchie, 1987).

Les travaux ont prouvé que les flavonoïdes avaient des activités antifongiques et antibactériennes qui régulaient la croissance et le développement des bactéries. De la même manière, les tanins ont une activité antioxydant puissante, ils sont de très bons pièges contre les radicaux libres et ils empêchent la formation de radicaux superoxydes (Abedini, 2013). En outre, leur action antiseptique, antibactérienne et antifongique a été clairement prouvée dans le traitement des diarrhées infectieuses et des dermatites (Daira *et al.*, 2016). De même, Les propriétés biologiques et pharmacologiques des saponosides et des anthocyanes comprennent des propriétés antimicrobiennes, antifongiques, anti-inflammatoires et antioxydantes (Richard, 2012).

La membrane externe des bactéries à Gram négatif joue un rôle essentiel en tant que barrière de perméabilité, car elle est composée de lipopolysaccharides riches, ce qui empêche la diffusion des molécules hydrophobes. Cependant, certaines substances phénoliques de faible poids moléculaire peuvent se fixer à ces bactéries en se fixant aux protéines et aux lipopolysaccharides membranaires grâce à leurs groupes fonctionnels, et se faufilant jusqu'à la membrane intérieure plus fragile. En d'autres termes, les substances hydrophobes ont la capacité d'altérer la membrane plasmique et la membrane externe des bactéries à Gram négatif en la rendant perméable et en provoquant la mort cellulaire (Ouibrahim, 2015).

Tableau 08 : Effet de l'extrait méthanoïque vis-à-vis des souches bactériennes.



Conclusion
et
Perspectives

A cours des résultats obtenus, il ressort que :

- La richesse potentielle de l'algue *Halopteris filicina* en molécules bioactives.
- Le rendement de l'extrait méthanoïque est assez faible de l'ordre de 0,4 %.
- Le screening phytochimique nous a permis de mettre en évidence la présence des métabolites secondaires au niveau de l'algue *Halopteris filicina* comme des anthocyanes, alcaloïdes, Saponosides, composés réducteurs, flavonoïdes, leucoanthocyanes, tanins catéchiques. Toutefois, anthraquinones libres et anthraquinones combinées C-hétérosides et O-hétérosides, tanins galliques et les mucilages n'étaient pas présents.
- L'antibiogramme a indiqué que l'extrait méthanoïque de *Halopteris filicina* possédait un effet antibactérien contre *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*.
- L'extrait méthanoïque de *Halopteris filicina* possédait un effet bactéricide vis à vis d'*Escherichia coli* et de *Staphylococcus aureus*.

En perspectives, il serait judicieux de :

- Tester l'activité antifongique.
- Doser les constituants bioactifs.
- Utiliser des souches pathogènes.

Références bibliographiques

- [Abdulghani, Abdulghani A Hamad. 2017.](#) Biological and ecological processes during the establishment of a marine invasion: the *Siganus* rabbitfishes from the Red Sea to the coastal areas of Cyrenaica, Libya. University of Salford (United Kingdom).
- [Abedini, A. 2013.](#) Evaluation biologique et phytochimique des substances naturelle d'*hyptis atrorubens* Poit. (Lamiaceae), sélectionnée par un criblage d'extraits de 42 plantes. Thèse de doctorat. Option : Science des médicaments. Université Lille 2, Droit et Santé. Lille. France. p. 211. Disponible sur : <http://theses.hal.science>.
- [Ai, X., Guo, Z., Wang, J., Zhou, X., Zhao, Y., & Guan, H. 2019.](#) Anthraquinones: Promising Antioxidants, Antimicrobials, Antivirals, and Anticancer Agents. In M. R. Khan (Ed.), Handbook of Marine Natural Products, p 600 .
- [Azevedo, J., Fernandes, I., Faria, A., Oliveira, J., Fernandes, A., de Freitas, V., Mateus, N. 2010.](#) Antioxidant properties of anthocyanidins, anthocyanidin-3-glucosides and respective portisins. Food Chemistry, 119: 518-523.
- [Bauer, A.W., Kirby, W.M.M., Sherris, T.C., Truck, M. 1966.](#) Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disc method. American Journal of Clinical Pathology. 45: 493-496.
- [Bold, H. C. 1967.](#) Morphology of Plants. Harper Row Publishers, New York. p. 2-3.
- Bunker, Francis, Juliet A Brodie, Christine A Maggs, et Anne R Bunker. 2017. Seaweeds of Britain and Ireland. Vol. 9. Princeton University Press.
- [Burkholder, P.R., Burkholder L.M., Almodovar L.R. 1960.](#) Antibiotic activity of some marine algae of Puerto Rico. Botanica Marina, 2: 149-156.
- [Carvalho, M. C., Sanches, E. A., & Barros, F. W. C. 2016.](#) Screening phytochimique et évaluation des activités biologiques d'une plante à usage thérapeutique. Université de Mila, Algérie. 150 p.
- [Chapman, A. R. O. 1979.](#) Biology of Seaweeds Level of Organization. Edward and Arnold, London. p. 17-20.
- [Chopin, T. 1997.](#) Marine biodiversity monitoring. Protocol for monitoring of seaweeds. Environment Canada, Ecological monitoring and Assessment Network. Ottawa.
- [Chouikhi, A. 2013.](#) Les applications potentielles des macroalgues marines et les activités pharmacologiques de leurs métabolites : Revue. USTHB-FBS-4thm International Congress of the Populations & Animal Communities .Dynamics &

Biodiversity of the terrestrial & aquatic Ecosystems""CIPCA4"TAGHIT (Bechar) – Algeria.

- Clams, Giant. 2017. « Oceanography and Marine Biology ». Oceanography and marine biology: An annual review 55: 2-303.
- Cohen, I. et Neori, A. 1991. Ulva lactuca biofilters for marine fishpond effluents I. Ammonia uptake Kinetics and nitrogen content. Bot. Mar.
- Costa, M. S. S. P., Rodrigues, D., Pereira, L., & Duarte, A. C. 2013. Evaluation of phenolic compound and antioxidant activity in macroalgae extracts from the Atlantic coast of Portugal by multi-dimensional chromatography and multivariate analysis. Journal of Chromatography A, 1279, 160-167.
- Culioli, G., Ortalo-Magné, A., & Valls, R. 2004. Saponins from marine algae. Progress in Molecular and Subcellular Biology, 37, 59-69.
- Cushnie, T.P.T., Lamb, A.J. 2005. Antimicrobial activity of flavonoids. International Journal of Antimicrobial Agents, 26: 343-356.
- Daira, N.H., Maazi, M.Ch., Chefrou, A. 2016. Contribution à l'étude photochimique d'une plante médicinale (Ammoïdes verticillata Desf. Briq.) De l'Est Algérien. Bull. Soci. Roy. Sci. Liège. 85 : 276 – 290.
- Daira, N.H., Maazi, M.Ch., Chefrou, A., 2016. Contribution à l'étude photochimique d'une plante médicinale (Ammoïdes verticillata Desf. Briq.) De l'Est Algérien. Bull. Soci. Roy. Sci. Liège. 85 : 276 – 290.
- Deans, S., Ritchi, G. 1987. Antibacterial properties of plant essential oils. Inter. J. Food Microbiol. 5: 165-180.
- Dorman H, J., Deans S, G. 2000. Antimicrobial agent from plants: antibacterial activity of plant volatil oils. J. Appl. Microbiol. 88 : 308-16.
- Dutta, A. C. 1963. Botany for Degree Student Satribari Road Gauhati, Assam. Pp. 341-395, 1963.
- Fleurence, J. 1999. Seaweed proteins: biochemical, nutritional aspects and potential uses. Trends Food Sci Tech. Sien. Spectro. physico-Chimie Structurale. Univ. Aix-Marseille 1, France.
- García-Ferrer, Loyda, Citlalli Galicia-García, Yuri Okolodkov, et Jorge A Herrera-Silveira. 2019. « Halopteris filicina (Phaeophyceae: Sphacelariales), A new record for Mexico ». CICIMAR Oceanides 34 (2).

- Genicot-Joncour, S., Rogniaux, H., Meslet-Cladière, L., Barbeyron, T., Helbert, W., & Rohfritsch, O. 2009. Les caractéristiques structurales et la biosynthèse des polysaccharides sulfatés de la famille des fucoidanes de l'algue brune *Pelvetia canaliculata*. *Glycobiology*, 19(4), 399-412.
- Gómez Garreta, A., Ribera, M. A., & Cormaci, M. 2012. Checklist of the Mediterranean seaweeds. I. Fucophyceae (Warming, 1884). *Botanica Marina*, 55(5), 491-504.
- Guille, Alain, Pierre Laboute, et Jean-Louis Menou. 1986. Guide des étoiles de mer, oursins et autres échinodermes du lagon de Nouvelle-Calédonie. Vol. 25. IRD Editions.
- Guist, G.G. et Humm, J.J. 1976 .Effect of sewage effluent on growth of *Ulva lactuca* Florida Sci.
- Hadjkacem, F., Pierre, G., Christophe, G., Elleuch, J., Fendri, I., Boual, Z., & Abdelkafi, S. 2022. Bioconversion of THE Brown Tunisian seaweed *Halopteris scoparia*: application to energy. *Journal of Energy*, 15(12), 4342.
- Holdt, S. L., Kraan, S., & Fleurence, J. 2011. Divulcation des propriétés de la biomasse algale marine par la détermination des composés bioactifs. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), 543-597.
- Kamenarska, Z., Yossifova, L., & Stefanov, K. 2015. Flavonoid composition of some Black Sea macrophytes. *Acta Botanica Croatica*, 74(1), 75-82.
- Keum, Yeon-Shim, Yoon Sik Oh, et In Kyu Lee. 1995. « Morphology and life history of *Halopteris filicina* (Sphacelariales, Phaeophyceae) from Korea ». *Phycological Research* 43 (3): 137-44.
- Kim, D.H. 1970. Economically important seaweeds in Chile-I/Gracilaia. *Bot.Mar.*
- Krief, S. 2003. Métabolites secondaires des plantes et comportement animal: surveillance sanitaire et observations de l'alimentation des chimpanzes (*Pan troglodytes schweinfurthii*) en Ouganda. *Activités biologiques et étude chimique de plantes consommées*. Sciences du Vivant [q-bio]. Museum national d'histoire naturelle, MNHN PARIS, France, 348p.
- Kristiansen, Aase. 1993. « Guide de Algues des mers d'Europe ». Taylor & Francis. Leblond, Emilie, Fabienne Daures, Patrick Berthou, Claude Merrien, Mathilde Pitel-Roudaut, Christelle Le Grand, Sebastien Demaneche, Michele Jezequel,

- Erwan Bodere, et Samuel Le Blond. 2012. « Synthèse des flottilles de pêche 2010. Flotte de Mer du Nord-Manche-Atlantique. Flotte de Méditerranée ».
- [Laouini, S., 2014.](#) Etude phytochimique et activité biologique d'extraits des feuilles de *Phoenix dactylifera* L. Dans la région du sud d'Algérie (région d'Oued Souf). Thèse de doctorat. Option : Génie Chimique. Université Mohamed Khider. Biskra. Algérie. p. 392. Disponible sur : <http://thesis.univ-biskra.dz>
 - [Lima, G. P. P., Vianello, F., Corrêa, C. R., da Silva Campos, R. A., & Borguini, M. G. 2014.](#) Polyphenols in fruits and vegetables and its effect on human health. Food and Nutrition Sciences, 5(11), 1065-1082
 - [Lindequist, U., Schweder, T. 2001.](#) In: Rehm HJ, Reed G (eds) Biotechnology, Special processes. Wiley VCH, 10: 441-484.
 - [Loto, C.A. 2011.](#) Inhibition effect of tea extract on the corrosion of mild steel in dilute sulphuric acid. J. Mat. Envir. Sci. 254: 335-344.
 - [Mabeau, S. et Fleurence, J. 1993.](#) Seaweed in food products: Biochemical and nutritional aspects. Trends Food Sci Tech.
 - [Makhloufi, A. 2013.](#) Etude des activités antimicrobienne et antioxydante de deux plantes médicinales poussant à l'état spontané dans la région de Bechar (*Matricaria pubescens* (Desf.) et *Rosmarinus officinalis* L) et leur impact sur la conservation des dattes et du beurre cru. Thèse de doctorat. Option : Microbiologie et sécurité sanitaire des aliments. Université Aboubakar Belkaide. Tlemcen. Algérie. p. 166. Disponible sur : www.dspace.univ-tlemcen.dz.
 - [Marfaing, H. 2004.](#) Les algues dans notre alimentation : Intérêt nutritionnel et utilisations. Revue de nutrition pratique. Dietecom Bretagne. CEVA.
 - [Masquelier, J. 1958.](#) Sur quelques propriétés biologiques des anthocyanes et des leucoanthocyanes de la vigne (*Vitis Vinifera*) (Première partie). Plant Foods for Human Nutrition, 3: 481.
 - [Newman, D.J., Cragg, G.M., Snader, K.M. 2003.](#) Natural products as source of new drugs over the period 1981-2002. Journal of Natural Products, 66: 1022-1037.
 - [Ouibrabim, A. 2015.](#) Evaluation de l'effet antimicrobien et antioxydant de trois plantes aromatiques (*Laurus nobilis* L., *Ocimum basilicum* L. et *Rosmarinus officinalis* L.) de l'Est Algérien. Thèse de doctorat. Option : Toxicologie. Université Badji Mokhtar. Annaba. Algérie. p. 95. Disponible sur : <https://biblio.univ-annaba.dz>.

- [Pena-Martin, Carolina, Manuel B Crespo, et Amelia Gomez-Garreta. 2014.](#) « Article PHYTOTAXA ». *Phytotaxa* 184 (5): 265-74.
- [Pèrez, R.1997.](#) Ces algues qui nous entourent, Conception actuelle, Rôle dans la biosphère, utilisations, culture, aquaculture. Ifremer.
- [Pesando, D. 1990.](#) Antibacterial and antifungal activities of marine algae. In: (I. Akatsuka,ed.) Introduction to applied phycology. SPB Academic Publishing by, The Hague. 3-27.
- [Pratt, R., Mautner, H., Gardner, G.M., Sha, Y.H., Dufrenoy, J. 1951.](#) Report on antibiotic activity of seaweed extracts. *Journal of the American Pharmaceutical Association*, 40:575-579.
- [Praud, A. 1994.](#) Isolement, caractérisation structurale et analyse de nouveaux métabolites d'algues méditerranéennes appartenant aux genres *Cystoseira* et *Lyngbiya*.
- [Richard, A., 2012.](#) Synthèse bibliographique de la phytothérapie et de l'aromathérapie appliquée à la dermatologie. Thèse de doctorat. Option : Vétérinaire. Université Claude- Bernard, Lyon I. Lyon. France. p. 223. Disponible sur : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr>.
- [Rorrer, G.L., Cheney, D.P. 2004.](#) Bioprocess engineering of cell and tissue cultures for marine seaweeds. *Aquacultural Engineering*.
- [Sanchez-Machado, D.I., López-Cervantes, J., López-Hernandez, J. and Sanchez Machado, D.I., Lopez-Hernandez, P., Paseiro-Losada, P., Lopez Cervantes, J. 2004b.](#) An HPLC method for the quantification of sterols in edible seaweeds *Biomedical Chromatography*.
- [Squadrone, Stefania, Paola Brizio, Marco Battuello, Nicola Nurra, Rocco Mussat Sartor, Alessandro Benedetto, Daniela Pessani, et Maria Cesarina Abete. 2017.](#) « A first report of rare earth elements in northwestern Mediterranean seaweeds ». *Marine Pollution Bulletin* 122 (1-2): 236-42.
- [Taskin E, Ozturk M, Taskin et Kurt O. 2007.](#) Antibacterial activities of some marine algae from the Aegean Sea (Turkey). *African Journal of Biotechnology*. 6 Suppl 24: 2746-2751.

- [Thierry, THIBAUT. 2018.](#) « ECOLOGIE ET VALORISATION CHIMIQUE DES MACROPHYTES DU GOLFE D'ANNABA, ALGÉRIE ». Aix-Marseille Université, France.
- [Verlaque, M. 1990.](#) « VEGETATION MARINE DE LA CORSE (MÉDITERRANÉE). VIII.DOCUMENTS POUR LA FLORE DES ALGUES Marine Végétation of Corsica(Mediterranean). VIII. Documents for the Algal flora ». Vie et Milieu/Life & Environment, 79-92.
- [Vlachos, V., Critchley, A.T., von Holy, A. 1997.](#) Antimicrobial activity of extracts from selected Southern African marine macroalgae. *South African Journal of Science*, 93: 328-332.

Site web

- [1] <https://doris.ffessm.fr/Especies/Halopteris-filicina-Halopteris-fougere-3594> .
consulté le : 15/03/2024