



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

**FACULTE DES SCIENCES ET DE L'INGENIERIE
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE**

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par :

Doukani Amine

Taibaoui Khadidja

DOMAINE : Biologie

FILIERE : Microbiologie

OPTION : Microbiologie environnementale et infectieuse

Thème

**Contribution à l'étude du pouvoir antibactérien de l'extrait
d'algue marine rouge *Asparagopsis armata***

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	qualité
Guarmaoui Mohamed	Maitre de Conférences Classe B	Président
Bennaceur Farouk	Maitre de Conférences Classe A	Examineur
Hicham Gouzi	Maitre de Conférences Classe A	Rapporteur
Rachid Chaibi	Maitre de Conférences Classe B	Co-rapporteur

Juin - 2015



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي



جامعة عمار ثليجي - الأغواط

كلية العلوم و الهندسة
قسم البيولوجيا

مذكرة ماستر

تقديم الطالب: دكاني أمين
طيباوي خديجة

ميدان : بيولوجيا

شعبة : علم الأحياء الدقيقة

تخصص : علم الأحياء الدقيقة البيئية والمعدية

موضوع البحث

مساهمة في دراسة القدرة المضادة للبكتيريا للمستخلصات الميثانولية للطحالب
الحمراء *Asparagopsis armata*

أعضاء لجنة المناقشة:

الاسم و اللقب	الدرجة العلمية	الصفة
غرماوي محمد		رئيسا
بناصر فاروق		ممتحن
قوزي هشام		مقرر
شايبي رشيد		مقرا مساعد

الدفعة: جوان - 2015

Dédicaces

L'occasion m'est offerte, et je m'en réjouit en présence de cette honorable assistance pour dédier ce travail modeste soit-il, à tous ceux qui n'ont ménagé aucun effort, pour m'aider, m'orienter voire même m'accompagner durant toute l'année universitaire, et en particulier mes parents AISSA et NABILA.

Aussi, je ne manquerai pas de saisir cette opportunité pour remercier mes deux frères Chawki et Chahineze tous deux universitaires, qui ont été d'un grand apport pour moi, et qui ont priorisé et avec leur consentement, la préparation de ce mémoire qui revêt un caractère primordial pour toute la famille.

Les deux derniers du groupe Chems-Eddine et Karim bien que turbulents et souvent très bavards, ont eu quand même la gentillesse de créer une atmosphère propice et adaptée à de tel événement (préparation de mémoire).

Ma famille, mes collègues des deux groupes M1 et M2 sans exception aucune, et spécialement mes amis qui tout au long de l'année n'ont pas cessé de m'encourager sans relâche et sans répit.

A titre exceptionnel et pour clôturer cette dédicace je suis très reconnaissant à mon cher ami Farouk, geste inoubliable et réconfortant d'ailleurs, pour la disponibilité qu'il a affichée pour que le travail que j'ai préparé avec l'aide de tout un chacun soit à la hauteur des espérances des imminents professeurs, des membres de la famille et de mes collègues de l'université Amar THELIDJI.

... Amine

Dédicaces

Grâce à Allah le tout puissant
Au nom de dieu le clément et le miséricordieux, dont la grâce m'a permit de
présenter mes travaux.

A son prophète Mohamed, paix et salut sur lui, ses compagnants et sa
famille .

Je dédie mon travail à :

Ma mère Zohra pour son amour, son soutien sans faille. Merci Maman
d'avoir toujours été là pour moi et de m'avoir inculquer le courage et la
persévérance .

Mon père Mohamed qui m'a inculqué le gout du savoir, des études et du
travail et qui a toujours mis tout en œuvre pour que je puisse faire mes
études dans de bonnes conditions. Merci papa pour ton amour et pour tous
ces sacrifices.

Mes frères Madani, Oussama, Khaled, A.elkader et yacine, mes sœurs Aicha
et Fatima .Mes plus proches, meilleurs et chères amies :

Brahimi Reguia , lazreg leila

Mon binôme Amine .

et tous ceux que j'aime.

REMERCIEMENTS

*Avant toute chose, nous remercions **DIEU**, tout puissant, maître des cieux et de la terre, qui m'a permis de mener à bien ce travail.*

*Tout d'abord nous tient surtout à adresser nos plus vifs remerciements à notre promoteur **Mr. Gouzi Hicham**, Maître de conférences qui nous a fait l'honneur de réaliser ce travail sous sa direction, pour sa grande patience, pour sa disponibilité et ses conseils judicieux.*

*Nous remercions également notre Co-promoteur **Mr. Chaibi Rachid**, pour toute l'aide qu'il nous a apporté et ses précieux conseils.*

*Nous tenons également à exprimer nos remerciements au président du jury **Mr. Guarmaoui mohamed** et l'examineur **Mr. Bennaceur Farouk**, désignés parmi les enseignants du département de Biologie, université de Laghouat, d'avoir accepté d'examiner notre travail.*

Nous remercions encore tous les enseignants qui nous accompagnent durant notre cycle d'étude et les travailleurs de la bibliothèque, et aussi les ingénieurs de laboratoire, pour son patience et son l'aide.

Nous remercions toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Un grand merci à tous.

Résumé

Dans le but de montrer l'importance des composés naturels d'origine marine, nous nous sommes intéressés à étudier l'activité antibactérienne de l'extrait d'algue marine rouge *Asparagopsis armata*, récoltée auprès de la côte de l'ouest algérien. Cinq souches cliniques des bactéries ont été utilisées, dont deux sont des Grams positifs (*Micrococcus luteus*, *Staphylococcus aureus*), et trois Gram négatif (*Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*). L'activité antibactérienne a été évaluée par la méthode de diffusion sur des disques. Quatre solvants ont été utilisés pour obtenir les différents extraits : acétonique, hexanique, dichlorométhanolique et méthanolique. L'activité antibactérienne de l'extrait d'algue fraîche a été évaluée également. Les résultats obtenus ont montré que l'activité antibactérienne de l'algue rouge dépend de la polarité du solvant d'extraction utilisé.

Les résultats ont révélé aussi que tous les extraits présentent une activité importante vis-à-vis des souches bactériennes étudiées, avec des diamètres de zones d'inhibition variables qui sont compris entre 10 et 36 mm, et que le méthanol est le meilleur solvant d'extraction.

Les résultats montrent aussi que les bactéries à gram négatif étudiées, sont un peu moins sensibles aux différents extraits utilisés, par rapport aux bactéries à gram positif.

Mots clés : Algue marine, Algue rouge, *Asparagopsis armata*, Bactérie, Activité antibactérienne, Activité antimicrobienne.

Abstract

In order to show the importance of natural compounds of marine origin, we are interested in studying the antibacterial activity of the extract of red seaweed *Asparagopsis armata*, collected from the coast of western Algeria. Five clinical bacteria strains were used, which two of them are Gram-positive bacteria (*Micrococcus luteus*, *Staphylococcus aureus*), and the other three are Gram-negative bacteria (*Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*). The antibacterial activity was evaluated through the disk diffusion method. Four solvents were used to obtain different extracts: acetonic, hexanic, dichloromethanolic and methanolic. The antibacterial activity of the fresh seaweed extract was also evaluated. The results showed that the antibacterial activity of the red alga depends on the polarity of the extraction solvent used. The results also revealed that all extracts show significant activity against studied bacterial strains, with inhibition zone diameters varying between 10 and 36 mm. and that methanol is the best extraction solvent.

The results also show that the studied gram-negative bacteria are a bit less sensitive to the different extracts used compared to Gram-positive bacteria.

Keywords: Seaweed, Red Algae, *Asparagopsis armata*, Bacteria, Antibacterial activity, antimicrobial activity.

الملخص

من أجل إظهار أهمية المركبات الطبيعية ذات المنشأ البحري ، اهتمنا بدراسة الفعالية المضادة للبكتيريا لمستخلصات الطحالب البحرية الحمراء *Asparagopsis armata* ، محصودة من الساحل الغربي الجزائري. خمسة سلالات من البكتيريا تم العمل عليها، اثنان منها هي بكتيريا موجبة الغرام *Micrococcus luteus* , *Staphylococcus aureus*، و ثلاثة منها هي بكتيريا سالبة الغرام *Pseudomonas aeruginosa* , *Escherichia coli*, *Klebsiella.pneumoniae* . الفعالية المضادة للبكتيريا تم تقييمها بطريقة النشر بواسطة أقراص. استخدمت أربعة مذيبيات للحصول على المستخلصات المختلفة : الأستيني، الهكساني، ثنائي-كلورو-ميثاني و الميثانولي ، و تم أيضا تقييم النشاط المضاد للبكتيريا من مستخلص الطحالب الطازجة . النتائج أظهرت أن النشاط المضاد للبكتيريا للطحالب الحمراء يعتمد على قطبية المذيب المستخدم في الاستخراج . كشفت النتائج أيضا أن جميع المستخلصات لديها نشاط كبير ضد السلالات البكتيرية المدروسة ، بأقطار لمناطق التثبيط تتراوح ما بين 10 و 36 ملم، وأن الميثانول هو أفضل مذيب الاستخراج. تظهر النتائج أيضا أن البكتيريا سالبة الغرام المدروسة أقل حساسية بقليل للمستخلصات المختلفة المستخدمة من البكتيريا إيجابية الغرام.

كلمات المفتاح : الطحالب البحرية ، الطحالب الحمراء ، *Asparagopsis armata* ، بكتيريا ، النشاط المضاد للجراثيم ، النشاط المضاد للميكروبات.

Sommaire

	Page
Dédicace	I
Remerciements	III
Résumé	IV
Liste des abréviations	IX
Liste des figures	X
Liste des tableaux	XI
Liste des photos	XII
Introduction	1
Partie I. Synthèse bibliographique	3
1. Généralités.....	3
1.1. Structure des algues.....	4
1.1.1. Les macro algues.....	4
1.1.2. Les micro algues.....	4
1.2. Conditions de vie.....	5
1.3. Classification et cycle de vie	5
1.3.1. Chlorophytes.....	6
1.3.2. Rhodophytes.....	8
1.3.3. Phéophytes ou Chromophytes.....	10
1.3.4. Cyanophytes.....	11
1.4. Composition des algues marines.....	12
1.4.1. Polyphénols.....	12
1.4.2. Caroténoïdes.....	13
1.4.3. Les polysaccharides sulfatés (SPS)	14
1.4.4. Peptides.....	15
1.4.5. Acides gras polyinsaturés (AGPI)	16
1.4.6. Fucostérol.....	16
1.4.7. Les sels minéraux.....	17
1.5. Propriétés nutritionnelles et utilisation des algues.....	17
1.5.1 Nutrition	17
1.5.1.1. Alimentation humaine	17
1.5.1.2 Alimentation animale.....	17
1.5.2 Domaine thérapeutique	18
1.5.3. Domaine environnemental.....	18
1.5.4. Domaine industriel.....	18
2. <i>Asparagopsis armata</i>	19
2.1. Description.....	19
2.2. Classification.....	20
2.3. Habitat.....	20
2.4. Composants.....	20
3. Activités biologiques des algues.....	20
3.1. Des métabolites bioactifs des algues.....	21
3.1.1. Polyphénols	21
3.1.1.1. Structure chimique.....	21
3.1.1.2. Bromophénols.....	22
3.1.1.3. Terpénoïdes.....	22
3.1.1.3.1. Terpénoïdes halogénés.....	22
3.1.2. Radicaux libres.....	22
3.2. Les bactéries utilisées.....	23
3.2.1. <i>Escherichia coli</i>	23

3.2.2. <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	24
3.2.3. <i>Staphylococcus aureus</i>	25
3.2.4. <i>Klebsiella pneumoniae</i>	26
3.2.5. <i>Micrococcus luteus</i>	27
Partie II. Matériel et méthode	28
1. Présentation du site de récolte.....	28
1.1. Récolte et conservation des échantillons.....	28
2. Préparation des extraits d'algue.....	29
2.1. Calcul du rendement d'extraction.....	30
2.2. Etude du pouvoir antibactérien.....	30
2.2.1. Souches testées.....	30
2.2.2. Conservation des souches.....	31
2.2.2.1. Milieux de culture utilisés.....	31
3. Evaluation de l'activité antibactérienne.....	31
3.1. Méthode de diffusion sur agar (méthode des disques).....	32
4. Préparation de l'inoculum.....	32
4.1. Ensemencement.....	32
4.2. L'application des disques.....	33
4.3. Incubation.....	33
4.4. Lecture.....	33
Partie III. Résultats et discussion	34
1. Effet du solvant sur le rendement d'extraction.....	34
2. Mesure de l'activité antimicrobienne.....	35
Conclusion	43
Références bibliographiques	44
Annexe	51

Liste des abréviations

% :	Pourcentage.
°C :	Degré Celsius.
Mm :	Millimètre.
KM :	Kilomètres
PI :	Polarity Index
DO :	Densité optique.
MS :	Matière sèche.
UFC :	Unité Formant Colonie.
Nm :	Nano mètre
RL :	Radicaux libres
ATCC:	American Type Culture Collection.
MNHN :	Muséum National d'Histoire Naturelle (Paris) ;
<i>S.aureus :</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>
<i>P.aeruginosa :</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
<i>M.luteus :</i>	<i>Micrococcus luteus</i>
<i>K.pneumoniae :</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>
<i>E.coli :</i>	<i>Escherichia coli</i>

Liste des Figures

Figure 1 : Représentation schématique d'une macro-algue brune de type fucale.....	4
Figure2: Microalgues.....	5
Figure 3: Distribution des algues selon l'intensité lumineuse.....	6
Figure 4 : Le cycle de reproduction digénétiques haplodiplophasique d' <i>Ulva lactuca</i>	8
Figure 5 : Cycle hétéromorphe diplohaplontique d' <i>Antithamnionplumula</i>	9
Figure 6 : Cycle de développement du fucus.....	11
Figure 7 : <i>Oscillatoria</i>	11
Figure 8 : Produits antioxydants de phlorotannins dérivés des algues marines.....	13
Figure 9 : Les antioxydants dérivés des caroténoïdes des algues marines.....	14
Figure 10 : Les polysaccharides sulfatés antioxydantes dérivé des algues marines : fucoidan, carrageenan.....	15
Figure 11 : structure de fucostérol.....	16
Figure 12 : <i>Asparagopsis armata</i>	19
Figure 13 : Structure chimique du phénol.....	21
Figure14 : <i>Escherichia coli</i> au microscope électronique.....	23
Figure 15 : <i>Pseudomonas aeruginosa</i> au microscope électronique.....	25
Figure 16 : <i>Staphylococcus aureus</i> au microscope électronique.....	26
Figure 17: <i>Klebsiella pneumoniae</i> au microscope électronique.....	27
Figure 18: <i>Micrococcus luteus</i> au microscope électronique.....	27
Figure 19 : Histogramme de l'effet de différents extraits d'algue sur les bactéries.....	39

Liste des tableaux

Tableau 1 : Origines des souches utilisées dans les différents tests d'activité antimicrobienne.....	31
Tableau2: le rendement d'extraction des différents solvants.....	34
Tableau 3 : Évaluation de l'activité antibactérienne des différents extraits d'algue récoltée exprimée en diamètre d'inhibition (<i>mm</i>).....	38

Introduction

La planète bleue où l'eau recouvre plus de 70% de sa surface. Elle abrite des organismes marins riches en composés bioactifs à divers activités biologiques présentant une énorme ressource de nouveaux composés (Yong-Xin *et al.*, 2011).

L'étude des produits d'origine marine a débuté à la fin des années 70 et a conduit à l'isolement plus de 21800 substances. Beaucoup d'extraits isolés présentent une potentialité pharmacologique, bien supérieure à celle de produits naturels provenant de plantes ou d'organismes terrestres (Blunt *et al.*, 2012).

Parmi les organismes marins, les algues représentent une source riche en composés bioactifs. Récemment, les chercheurs ont indiqué que les composés extraits d'algues marines montrent diverses activités biologiques à savoir : des activités antioxydants, antimicrobiennes et anti-inflammatoires (Balboa *et al.*, 2013).

Grâce aux diversités pigmentaires qu'elles contiennent, les algues sont capables de transformer l'énergie solaire en matière organique et en oxygène. Ces organismes sont à l'origine d'environ 70% de la photosynthèse planétaire (W. John *et al.*, 1994).

La biodiversité des macro algues, rouges (rhodophycées), vertes (chlorophycées) et brunes (phéophycées) nous offre la possibilité de trouver diverses variétés de composés naturels ayant des propriétés biologiques très intéressantes (Andrade *et al.*, 2013).

Les algues marines sont une source de composées bioactives comme les composées phénoliques, les vitamines, les acides gras essentiels, les fibres alimentaires, les protéines et les sels minéraux (Chandini *et al.*, 2008). Les métabolites trouvés dans les algues marines ont des activités antimicrobienne, anti-oxydante, antivirale, anti-mutagéniques, anti-tumorale, antidiabétique et anti-hypertensive (Andrade *et al.*, 2013 ; Chew *et al.*, 2008).

Lorsque les algues sont exposées aux conditions environnementales défavorables, telles que les concentrations élevées en oxygène ou bien les rayons ultraviolets; il y'a la formation des radicaux libres, et à d'autres oxydants forts, ils n'ont aucun dommage sérieux. Ainsi, l'algue produit des métabolites secondaires à caractères antioxydants tels que les caroténoïdes, fucoxanthine, phlorotanins et tocophérols (Widjaja-Adhi *et al.*, 2010).

La résistance croissante des bactéries envers les antibiotiques existants est devenue un problème majeur dans le monde entier. Une des manières d'empêcher cette résistance est l'élaboration des nouveaux composés qui ne sont pas basés sur les agents antimicrobiens synthétiques existants. Ainsi, la recherche des nouvelles sources naturelles des écosystèmes marins a pu mener à l'isolement de nouveaux antibiotiques d'origine algale tels : l'acide acrylique, composés aliphatiques halogénés, terpènes, composés hétérocycliques sulfurés et inhibiteurs phénoliques (Chiheb *et al.*, 2009).

Plusieurs produits naturels comprenant les composés halogénés, comme les haloformes, les méthanes, les cétones, les acétates et les acrylates, sont décrits à partir du genre *Asparagopsis* (McConnell and Fenical., 1977 ; Woolard et *al.*, 1979). Les membres de la famille des Bonnemaisoniaceae, où appartiennent les espèces d'*Asparagopsis*, forment des cellules spécialisées (Wolk., 1968 ; Womersley., 1998 ; Young., 1977) typiquement connues comme vésicules ou les glandes cellulaires (Paul et *al.*, 2006).

L'odeur puissante de ces algues est due à une huile essentielle composée principalement de bromoforme avec une faible teneur des autres composés tel que bromine, chlore et l'iode contenant le méthane, l'éthane, l'éthanol, acétaldéhydes, acétone, 2-acétoxypropanes, propènes, époxypromanes, acroléine et les buténonas (Burreson et *al.*, 1976). Les espèces d'*Asparagopsis* sont reportées d'avoir des propriétés antifongiques, antibactériennes et antiparasitaires (Bansemir et *al.*, 2006 ; Burreson et *al.*, 1975 ; Genovese et *al.*, 2009, 2012 ; Jiao et *al.*, 2011; McConnell et Fenical, 1977 ; Salvador et *al.*, 2007).

D'après nos connaissances aucune étude n'a été réalisée sur le pouvoir antibactérien de l'extrait de l'algue marine rouge *Asparagopsis armata* d'Algérie. Par conséquent, l'objectif principal de notre travail c'est d'évaluer l'activité antibactérienne de l'extrait de cette algue vis-à-vis de quelques bactéries pathogènes en utilisant différents solvants d'extraction.

Ce mémoire a été organisé en différentes parties décrivant les étapes successives de cette étude.

La première partie concerne un rappel bibliographique aussi précis que possible sur les algues marines et leurs applications. Dans la deuxième partie, nous décrivons les procédures expérimentales mises en jeu dans cette étude. La troisième partie est consacrée à une discussion des résultats expérimentaux obtenus. Une récapitulation succincte des résultats ainsi que les perspectives ouvrant la voie à des études ultérieures sur l'algue *Asparagopsis armata*, sont regroupées dans la dernière partie.

Partie I

Synthèse bibliographique

1. Généralités :

Les algues sont des organismes eucaryotes chlorophylliens dépourvus de racines, de tiges (absence de tissus vasculaires) et de feuilles, leurs appareil végétatif relativement simple est appelé « thalle » (Guillaume, 2010), elles sont donc classées dans le groupe des thallophytes, elles peuvent être libres ou fixés sur un support (Prescott L., 1995).

Elles se développent dans l'eau ou dans des milieux très humides. Bien que surtout abondantes dans les eaux des mers, des lacs, des mares, des eaux courantes et des eaux thermales, on trouve également sur les rochers humides (Feldmann., 1963), et même sur le sol ou sur le tronc des arbres (Prescott L., 1995)

En plus de l'eau, l'air, la lumière et les sels dissous, sont nécessaires à leur développement, elles se nourrissent directement à partir de leur surface cellulaire et obtiennent les éléments nutritifs nécessaires du milieu qui les baigne ou qui les humecte (Cabioc'h et *al.*, 2006).

Les algues sont des organismes autotrophes, elles sont donc capables de faire la photosynthèse en présence de la lumière, celle-ci est absorbée par l'eau et en allant vers la profondeur, l'éclairement devient de plus en plus insuffisant pour assurer une assimilation compensant les pertes dues à la respiration. C'est pour ça on les trouve dans les milieux aquatiques dans les zones superficielles, qui en général, ne dépasse pas 40 à 60 mètres de profondeur (ce qui représente à l'échelle océanique une mince pellicule ; au-delà, le milieu marin est dépourvu de producteurs).

Le vrai nombre d'espèces n'est pas bien déterminé vu leur diversité inconnue et leur recensement et classification différente. Dernièrement, le nombre d'espèces recensées est de plus de 130 600 espèces (Guiry, 2014).

Certaines algues unicellulaires ne dépassent pas 2-3 μm de diamètre alors que d'autres, comme les laminariales du genre *Macrocystis*, peuvent atteindre et même dépasser 50 m de long (Ozenda, 1990).

On distingue dans les populations algales deux grands ensembles. Le premier est constitué d'espèces qui nagent ou flottent dans l'eau ; elles sont généralement microscopique et unicellulaires. Elles forment la partie végétale et productrice du plancton et *phytoplankton* (du grec, *plankton* = errant). Le second ensemble *phytobenthos* (du grec, *benthos* = fond) ce sont des espèces fixées au fond.

1.1. Structure des algues

1.1.1. Les macroalgues

Les macroalgues sont constituées à leur base par des crampons, leurs permettant de se fixer sur un support. Elles absorbent les nutriments par toute la surface du thalle en contact avec l'eau. Les crampons sont surmontés d'un pédoncule de longueur et de diamètre variable, le stipe. L'algue se termine par une fronde qui peut être découpée en filaments, cordons ou lanières (Hortense, 2011).

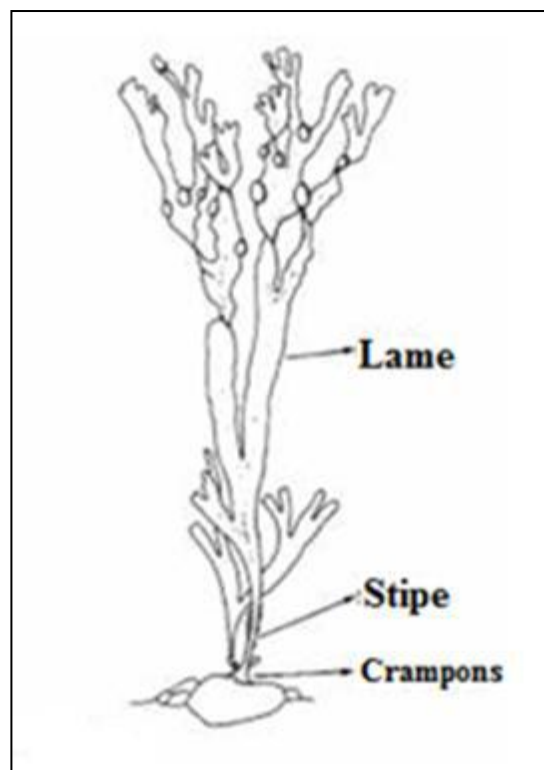


Figure 1 : Représentation schématique d'une macro-algue brune de type fucale (Person., 2011).

1.1.2. Les microalgues

La cellule unique des microalgues unicellulaires est capable d'assurer toutes les fonctions. Leur taille est d'une dizaine de microns et la plupart d'entre elles sont adaptées à la flottaison. De nombreuses espèces possèdent un ou plusieurs flagelles mobiles qui leur confèrent une véritable aptitude à la nage (Hortense., 2011).

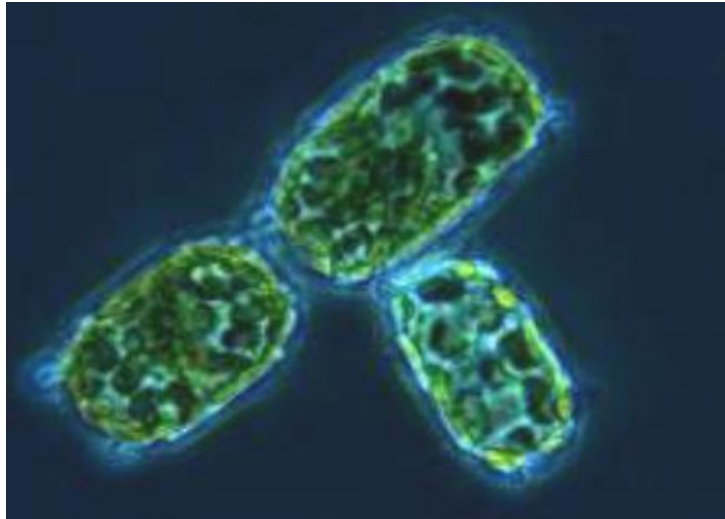


Figure 2 : Microalgues (Person, 2011).

1.2. Conditions de vie

Il y a des algues pratiquement partout sur notre planète. Elles sont peu exigeantes, il leur suffit un peu de lumière et de l'eau pour se développer. La plupart des algues vivent en effet dans les océans, elles y représentent plus de 90% des végétaux. Les grandes algues vivent plutôt le long des côtes rocheuses (Leclerc., 2010).

1.3. Classification et cycle de vie

Les algues ont des couleurs différentes selon leur pigmentation, ces pigments masquent plus ou moins la chlorophylle, ce qui conduit à subdiviser les algues en trois groupes majeurs : les chlorophycées, les rhodophycées et les phéophycées (Mohamed *et al.*, 2012). Ces derniers s'opposent par un ensemble de caractères biochimiques, structuraux et fonctionnels (Roland *et al.*, 2008).

- **Chlorophytes (algues vertes)**
- **Rhodophytes (algues rouges)**
- **Phéophytes ou Chromophytes (algues brunes)**
- **Cyanophytes (algues bleues)**

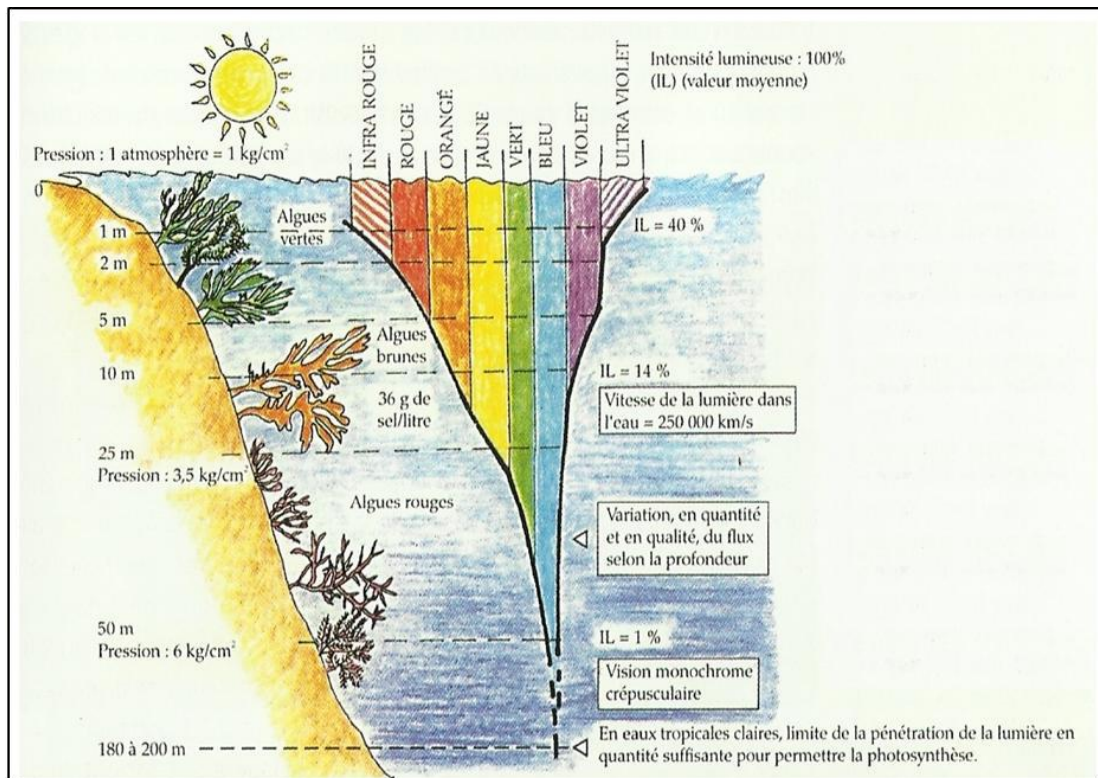


Figure 3 : Distribution des algues selon l'intensité lumineuse (Leclerc., 2010).

1.3.1. Chlorophytes

Avec plus de 6'500 espèces (Géraldine., 2009), la plus part des algues vertes vivent en eau douce, mais de nombreuses espèces se rencontrent en milieu océanique comme composantes de la végétation benthique ou bien du phytoplancton. Quelques autres sont terrestres, se développant dans des endroits humides au voisinage des mousses et des fougères. Certaines algues vertes peuvent également former des associations symbiotiques avec d'autres organismes. Les algues vertes synthétisent les chlorophylles a et b, et stockent l'amidon dans les plastes (Nabors., 2009).

Il existe environ 7500 espèces d'algues vertes réparties dans plusieurs classes, parmi lesquelles : les chlorophyceae, les ulvophyceae et charophyceae. Ces classes se différencient par la disposition et l'ancrage des flagelles, par la chronologie de la disposition des fuseaux à la télophase, et par la manière dont se produit la cytotérière après la division nucléaire (Nabors., 2009).

La reproduction peut se manifester à l'observation de deux manières. Dans les cas les plus simple et les plus aisément observables, un ensemble de cellules végétatives transforment intégralement leur contenu en cellules fertiles (spores ou gamètes). Tel est le cas des Ulvales, dont on observe fréquemment sur les grèves les extrémités décolorées après complètes libération des éléments fertiles (Figure 4). Chez ces espèces, après élimination de la région morte décolorée, le thalle, demeuré intact, se répare jusqu'à l'apparition d'une seconde poussée reproductrice. Chez d'autres espèces, au contraire, le thalle se reproduit une seule fois, se transforme intégralement en élément reproducteur (holocarpie des *Caulerpa*, *Flubelliü*, *Halimedà*) et ne survit pas à la période de reproduction. Dans d'autres cas par exemple *codium* des cellules spécialisées apparaissent au moment de la reproduction et sont relativement peu accessibles à l'observation sans les moyens de microscope (Leclerc., 2010).

Les cycles biologiques sont divers, depuis le cycle digénétiques isomorphe (alternance entre un sporophyte diploïde et un gamétophyte haploïde identiques) des *Ulva* et *Cladophorajus* qu'au cycle monogénétique des *codium* et *Lauletpa* (une seule génération productrice de gamètes), auxquels s'ajoutent des cas intermédiaires (cycles digénétiques hétéromorphes) ainsi que de nombreuses possibilités d'aberrations (apoméiose, apomixie, parthénogenèse).

Les algues vertes marines présentent différentes cas de longévité. Certaines sont pérennantes, c'est-à-dire susceptible de vivre plusieurs années, avec une croissance et une reproduction généralement saisonnières que *codium* et *Halimeda*. D'autres sont au contraire annuelles et éphémères; elles ont une vie courte et connaissent une succession de générations au cours de l'année. Certains d'entre elles peuvent en outre présenter des périodes de prolifération importantes et spectaculaires sous l'effet d'un fort ensoleillement et d'un enrichissement du milieu en sels nutritifs, c'est le cas des *Ulvales* (Cabioc'h et al., 2006).

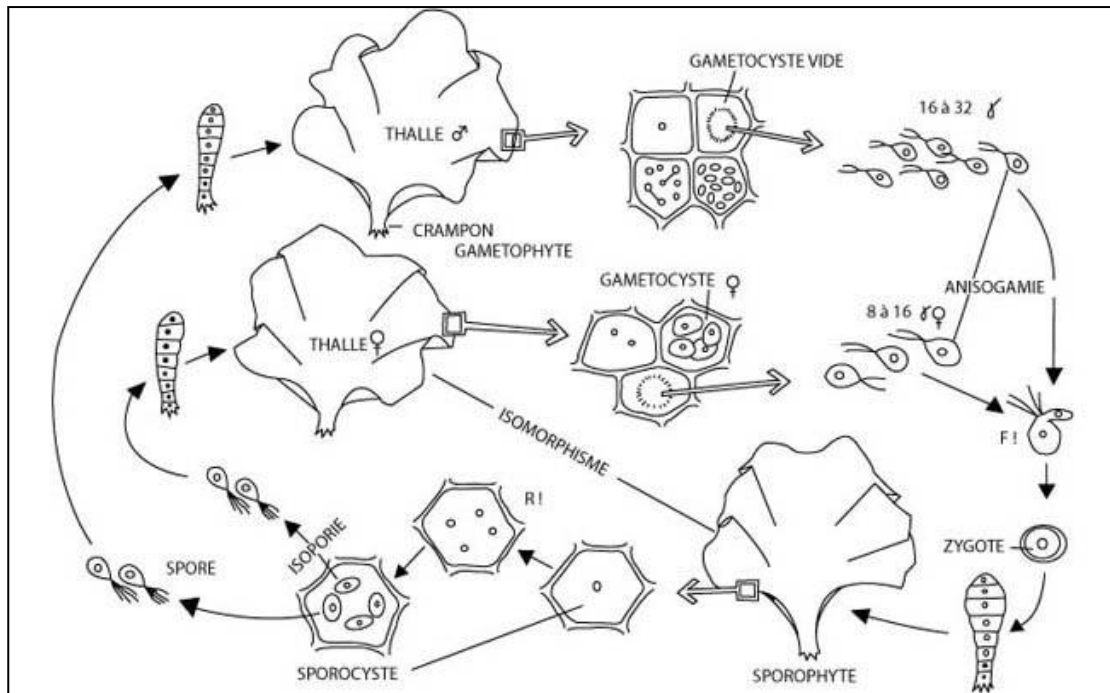


Figure 4 : Le cycle de reproduction digénétiques haplodiplontique d'*Ulva lactuca* (Simon., 2002).

1.3.2. Rhodophytes

Les algues rouges prédominent dans de larges zones des plateaux continentaux, des régions tropicales, tempérées ou bien froides. On connaît jusqu'à 6000 espèces réparties dans environ 680 genres. La grande majorité de ces espèces sont des algues marines macroscopiques et leurs structures sont plus complexes. Parmi les espèces identifiées moins de 100 vivent en eau douce. La plupart des algues rouges sont pluricellulaires, avec des thalles pouvant mesurer jusqu'à 30 cm de longueur. Les Rhodophytes sont généralement fixées aux rochers ou à d'autres algues, mais il existe aussi quelques formes flottantes (Raven *et al.*, 2003), ou parasite.

Les parois d'algues rouges possèdent une charpente cellulosique, mais elles sont essentiellement constituées de mucilage contenant des agars et des carragénanes, tous polymères de galactose qui sont utilisés comme épaississants alimentaires. De nombreuses algues rouges forment en outre des dépôts de carbonate de calcium dans leurs parois. Ces algues appartiennent au groupe des *Corallinacées*.

Les algues rouges sont connues par la complexité de leur cycle de vie. La majorité des espèces possède trois phases pluricellulaires : une phase gamétophytique haploïde et deux phases sporophytiques diploïdes. L'une des phases sporophytiques (tétrasporophytes), produit

par moise des spores (tétraspores) qui germent en donnant des gamétophytes mâles ou j femelles. Les gamétophytes males libèrent des spermatis (gamètes non flagellées), qui seront transportées par les courants jusqu'aux cellules reproductrices femelles portées par les gamétophytes femelles (figure 5).

Après la fécondation, le zygote se divise par mitose, produisant la seconde phase sporophytique, le carposporophyte, qui reste fixé sur le gamétophyte femelle, aux dépens duquel il vit en parasite. Le carposporophyte libère des carpospores, qui vont se développer en donnant de nouveaux sporophytes (Nabors., 2009).

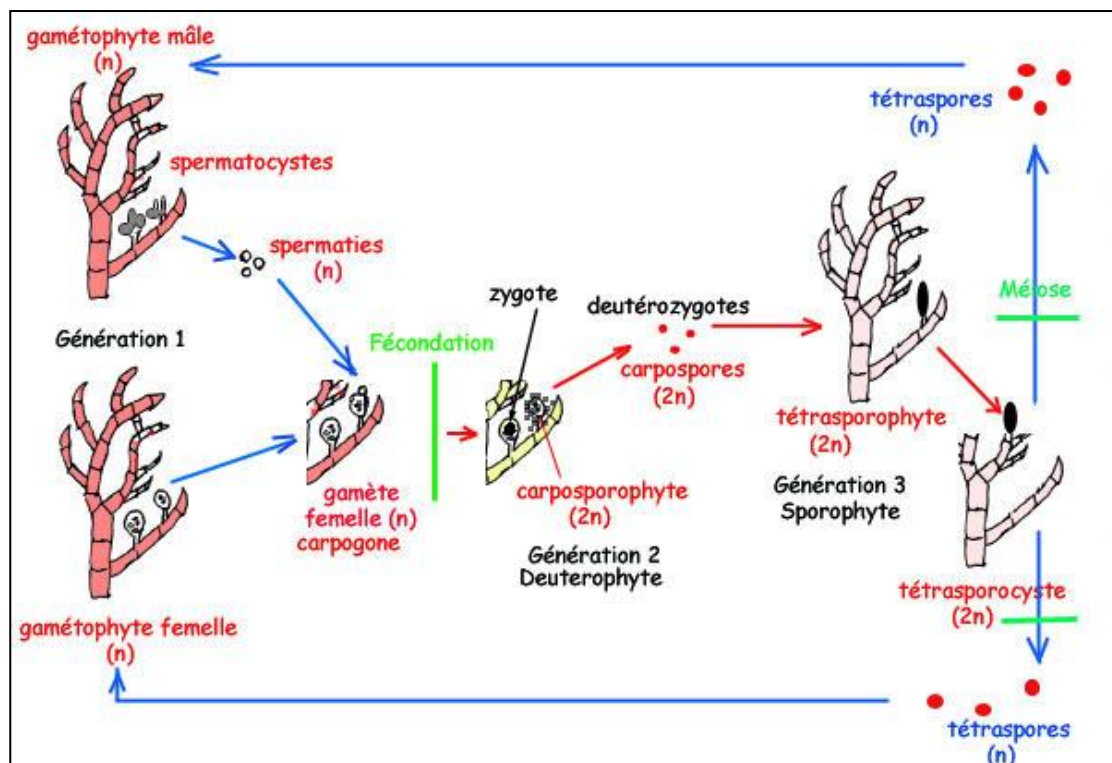


Figure 5 : Cycle hétéromorphe diplohaplontique d'*Antithamnion plumula* (Otero et al., 2013).

1.3.3. Phéophytes ou Chromophytes

Ce sont des algues annuelles dont on dénombre 1500 espèces (Géraldine., 2009). Les caractéristiques principales des algues brunes, indépendamment de leur abondance de caroténoïdes de xanthophylle, est le stockage des produits photosynthétiques excessifs sous forme de laminaran et de mannitol et de fait que leurs murs de cellules se composent de cellulose, d'acide fucinique, et d'acide alginique (Kumar et Singh., 1979; Wiencke et *al.*, 2007). Les plastes bruns de ces algues, qui comptent 1500 espèces, contiennent trois chlorophylles (a, c₁ et c₂) plus ou moins masquées par divers pigments jaunes et oranges, la paroi des cellules sont riches en un polysaccharide particulier, l'acide alginique, présent sous forme d'alginate.

L'amidon est toujours absent chez les phéophycées. Chaque algue brune est male, femelle, ou hermaphrodite. Leur cycle peut comporter une ou deux générations (Nabors., 2009).

La reproduction se fait par voie sexuée et asexuée, à l'aide de cellules spécialisées sporocystes ou gamétocystes, il y a deux grands types de cycles biologiques qui ont été reconnus :

- Dans la majorité des cas le cycle digénétique comporte la succession d'un gamétophyte producteur de gamètes et d'un sporophyte producteur de spores.
- Un second ensemble d'algues brunes est caractérisé par une réduction extrême du gamétophyte. Seule persiste une génération diploïde (sporophyte) qui héberge un gamétophyte inclus et réduit, producteur de gamètes. Le cycle est alors monogénétique. Comme dans le cas des fuciales (Figure 6) (Cabioc et *al.*, 2006).

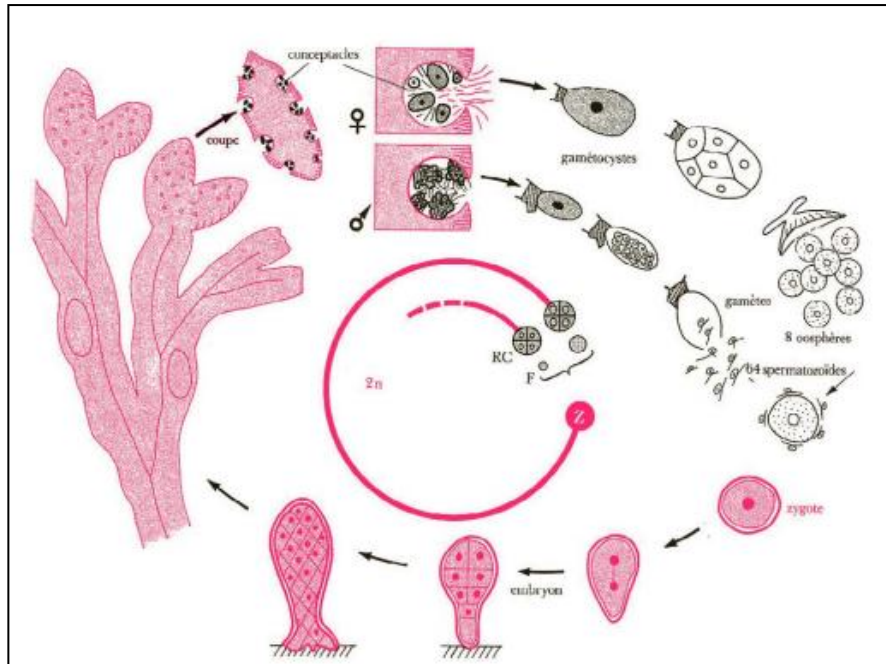


Figure 6 : Cycle de développement du fucus (Roland., 2008)

1.3.4. Cyanophytes

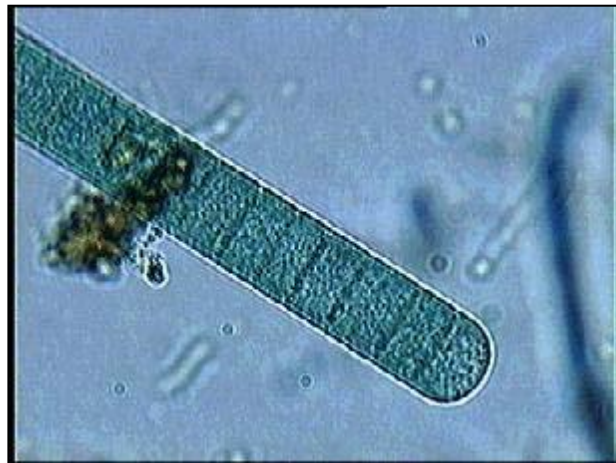


Figure 7 : *Oscillatoria* (www.ws.chemie.tu-muenchen.de)

Les cyanophytes sont des algues microscopiques, on dénombre environ 15 000 espèces (Géraldine., 2009), ces algues bleues appartenant au domaine des Eubactéries, Ce sont des organismes autotrophes grâce à la présence de la chlorophylle et des pigments surnuméraires 'phycobilines' qui sont des phycocyanines (bleues) et des phycoérythrine (rouges). Ce sont également des procaryotes, leur matériel génétique est sous forme d'ADN nu. Elles sont caractérisées par l'absence de plastides, de mitochondries, d'appareil de Golgi et de réticulum endoplasmique. Elles ne possèdent jamais de flagelles.

Les Cyanobactéries se présentent sous différentes formes : unicellulaires solitaires, unicellulaires coloniales informes, cénobies, trichomes qui peuvent être simples, ramifiés ou présentant des fausses ramifications.

Les cyanobactéries se reproduisent uniquement par voie asexuée. Parmi les modes de division rencontrés, on cite :

- La scissiparité (division binaire) : se fait par apparition d'une membrane annulaire qui se développe vers le centre en se refermant à la manière d'un diaphragme iris.
- La fragmentation de la colonie : chez les espèces à trichomes, donne des structures spécialisées qui sont des coccospores (spores isolées) ou des hormogonies (filaments de quelques cellules). Des cellules particulières permettent également la fragmentation du thalle. Ce sont des nécridies, des cellules disjonctrices et des hétérocystes. Les hétérocystes sont des cellules volumineuses et enkystées qui sont réparties le long du trichome. Ce sont des cellules spécialisées également dans la fixation de l'azote de l'air dans un milieu aérobique. Ces structures sont caractéristiques de certaines familles. Des espèces non munies d'hétérocystes peuvent fixer l'azote de l'air mais seulement en anaérobiose (Ourari., 2013).

1.4. Composition des algues marines

1.4.1. Polyphénols

Appelés **phlorotannins** chez les algues, constitués par la polymérisation du phloroglucinol ou défini en tant qu'une unité du monomère 1,3,5-trihydroxybenzène et biosynthétisées par la voie d'acétate malonate. Ces phlorotannins sont retrouvés chez plusieurs familles d'algues brunes, comme Alariaceae et les Sargassaceae.

Chez les algues brunes les phlorotannins peuvent constituer 15% du poids sec, ils sont le seul groupe phénolique détecté, ils sont hydrophyles avec une taille moléculaire entre 126 et 650 k Da (Sathya et al., 2013).

Les phlorotannins ont plusieurs activités biologiques salutaires de santé, y compris l'activité antioxydante qui est fortement liée aux cycles de phénol qui agissent en tant que pièges d'électron pour éliminer les peroxydes, aux anions de superoxyde et aux radicaux d'hydroxyle (Sathyaet *al.*, 2013).

Les phlorotannins des algues brunes ont jusqu'à huit cycles reliés ensemble et sont donc des extracteurs plus efficaces de radical libre que des polyphénols dérivés des plantes terrestres (Sathyaet *al.*, 2013).

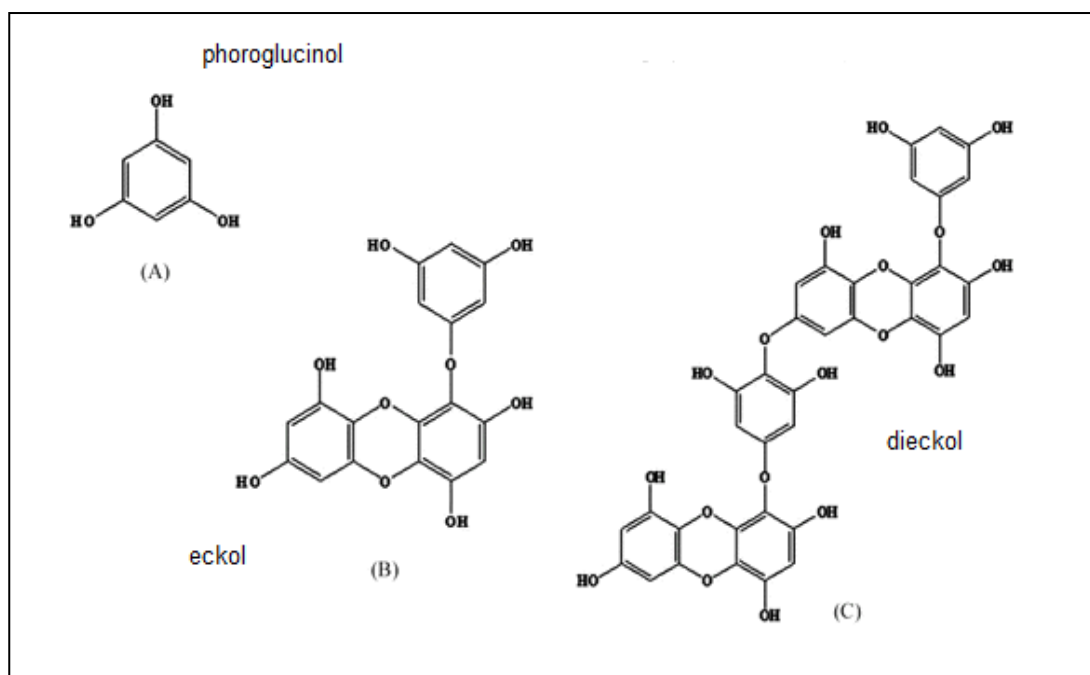


Figure 8 : Produits antioxydants de phlorotannins dérivés des algues marines (Li et Kim., 2011).

1.4.2. Caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des pigments organiques tétraterpenoïdiques, ce sont synthétisés naturellement au niveau des chloroplastes et des chromoplastes des plantes et quelques autres organismes photosynthétiques comme les algues, quelques types de mycète et bactéries.

Les caroténoïdes communs, comme la lutéine, l'astaxanthine, et la zéaxanthine, sont connus comme xanthophylles mais le fucoxanthin et rastaxanthine (sont les constituants principaux des caroténoïdes d'algues marines. Le fucoxanthin est l'un des caroténoïdes marins les plus abondants, et contribue plus que 10 % de toute la production estimée des caroténoïdes en nature, spécialement dans l'environnement marin (Figure 9) (Rengasamy et

al, 2014). C'est une xanthophylle, de la formule $C_{42}H_{58}O_6$, se trouvant comme pigment accessoire dans les chloroplastes des algues brunes, par exemple, *Sargassum siliquarum* et donne la couleur brune ou verte-olive (Wijesinghe et al., 2012).

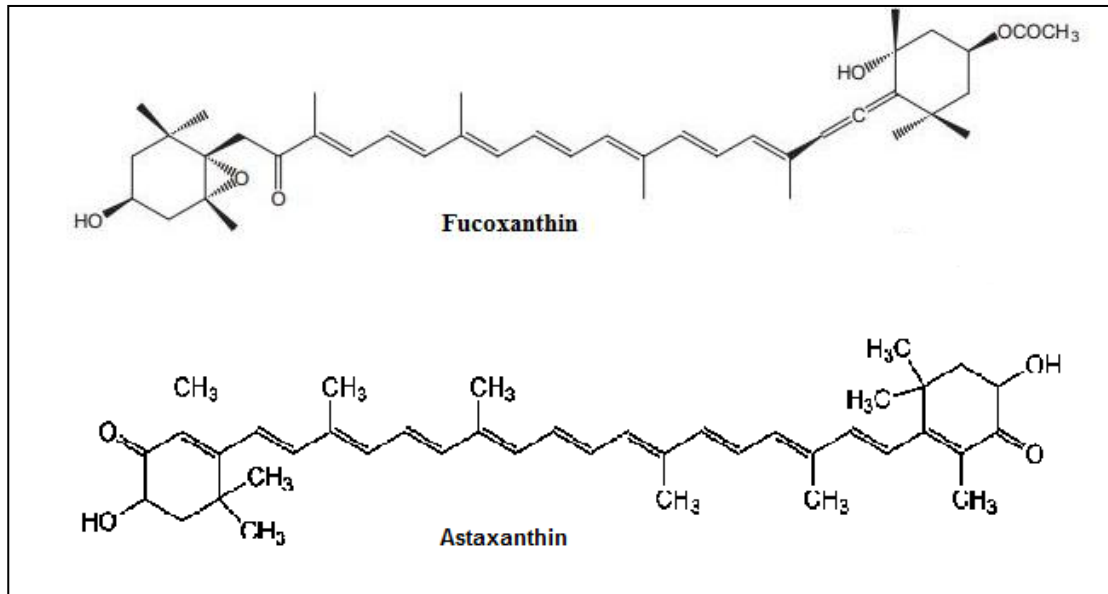


Figure 9 : Les antioxydants dérivés des caroténoïdes des algues marines (Li et Kim., 2011).

1.4.3. Les polysaccharides sulfatés (SPS)

Ce sont des polymères des sucres simples liés par des liaisons glycosidiques. Ces polymères chimiquement anioniques, constituent une grande variété d'applications comme stabilisateurs, épaississants, et émulsifiants en nourriture (Kannan et al., 2014).

Les algues marines sont la source la plus importante de SPS non animal (et la structure chimique de ces polymères change selon l'espèce d'algues). La quantité présente de SPS s'avère différer selon les trois divisions principales des algues marines, chlorophyceae, rhodophyceae, et phéophyceae. Les principales SPS trouvées dans les algues marines incluent des fucoïdan et des laminarans d'algues brunes et du carragénanes des algues rouges, et ulvan des algues vertes (Figure 10). L'activité antioxydante du SPS dépend de leurs dispositifs structuraux tel que le degré de sulfatage, de poids moléculaire, de type du sucre majeur, et d'embranchement glycosidique. Par exemple. le SPS à faible poids moléculaire montre une activité antioxydante efficace que SPS de poids moléculaire élevé, En outre, le SPS des algues marines sont connus pour être des extracteurs et des antioxydants de radicaux libres importants pour la prévention des dommages oxydants, qui sont un contribuant important dans la carcinogénèse (Li et Kim., 2011).

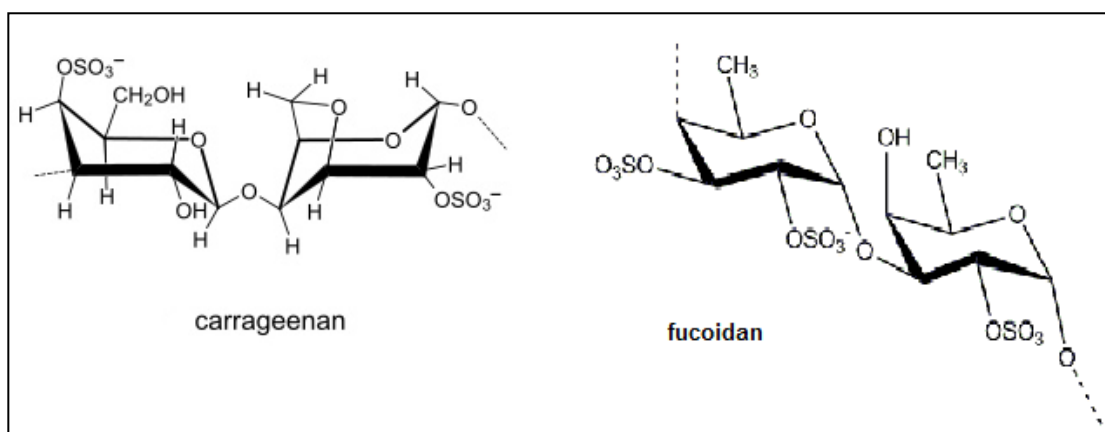


Figure 10 : Les polysaccharides sulfatés antioxydantes dérivés des algues marines : fucoidan, carrageenan (Li et Kim., 2011).

1.4.4. Peptides

L'algue renferme des protéines et des fragments de peptide qui peuvent exercer des effets biologiques *in vitro* et *in vivo*. Les peptides bioactifs peuvent être produits par des réactions hydrolytiques en utilisant des diverses protéases (Wijesmghe et Jean., 2012).

La structure primaire des protéines naturelles se compose de certaines séquences d'acides aminés qui ont la capacité d'exercer les avantages physiologiques dans les êtres humains. Ce genre de peptides est inactif dans la séquence de la protéine parentale, et peut être libéré dans différentes manières telles que l'hydrolyse par les enzymes digestives et par les microorganismes protéolytiques (Wijesmghe et Jean., 2012).

Récemment les peptides marins ont ouvert une nouvelle perspective dans le développement pharmaceutique. Les protéines et les peptides biologiquement actifs ont été isolés non seulement dans les animaux marins, mais également dans les algues. En ce qui concerne les potentialités nutraceutiques et pharmaceutiques, différents protéines et peptides avec diverses bioactivités ont été découverts (Wijesmghe et Jean., 2012).

Quelques espèces rouges ou vertes d'algue contiennent une quantité de protéines considérablement élevée. Cependant, l'extraction de la protéine de la plupart des algues est difficile en présence de grandes quantités de polysaccharides dans les cloisons cellulaires, tels que des alginates de phéophycées ou les carragénanes de certains Rhodophycées (Wijesmghe et Jean., 2012).

1.4.5. Acides gras polyinsaturés (AGPI)

Les phospholipides et les glycolipides sont les principales classes de lipides présents dans les algues. Lorsque la température de l'environnement diminue, les algues peuvent accumuler des acides gras polyinsaturés (AGPI). Les espèces qui vivent dans les régions froides contiennent plusieurs AGPI que les espèces vivant dans des températures plus élevées. Les AGPI à chaîne longue (LC-PUFA) font partie de l'entretien de la santé de l'homme et ils ne sont synthétisés que par les plantes. Ces lipides sont constitués d'au moins 20 atomes de carbone avec au moins deux doubles liaisons. Lorsque la première double liaison est située dans le troisième atome de carbone, la molécule de lipide est désignée comme les oméga-3 (n-3LC-PUFA). La recherche a montré que n-3 AGPI-LC constitué 10,38% des acides gras totaux présents dans *Enteromorpha spp* (Chojnacka., 2012).

1.4.6. Fucostérol

Les eucaryotes contiennent de grandes quantités des stérols (20 à 30 %), plus élevées dans leurs membranes plasmiques. Les règnes eucaryotes ont différents stérols plus élevées pour leur armature de membrane, tels que le cholestérol chez les animaux, l'ergostérol dans les champignons et le phytostérol chez les plantes (Li et Kim., 2011).

Le fucostérol est un phytostérol trouvé dans les algues brunes bien reconnu pour ses activités biologiques bénéfiques pour la santé, tels que, les antioxydants, réduction du cholestérol, et des activités antidiabétiques (Figure 11) (Li et Kim., 2011).

Le fucostérol augmente l'activité de piégeage des radicaux libres par les enzymes, tels que le superoxyde dismutase, catalase et glutathion peroxydase (Li et Kim., 2011).

Le saringostérol, un dérivé du fucostérol, découvert en plusieurs algues brunes (Phéophyceae), tels que *Lessonia*, a montré un pouvoir inhibiteur de croissance de *Mycobacterium tuberculosis* (Li et Kim., 2011).

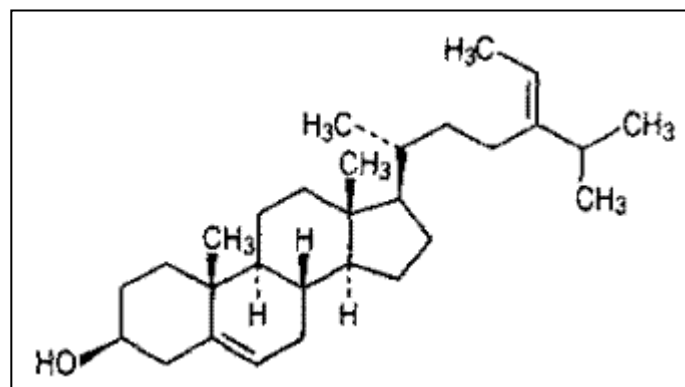


Figure 11 : Structure de fucostérol (Li et Kim., 2011).

1.4.7. Les sels minéraux

Les algues sont une source riche en minéraux. Leur contenu dans la biomasse est parfois aussi élevée que 40%, Ceci est dû à l'accumulation des ions métalliques de l'eau salée par les algues et la concentration des substances, comme les sels de carbonate, dans leurs thalles.

En examinant la teneur en minéraux dans les algues récoltées sur des plages japonaises, les chercheurs ont montré que les ions de concentrations plus élevées sont le potassium (2,71 g / L), le magnésium (0,19 g / L) et le calcium (0,16 g / L) qui ont été détectés dans l'extrait de *Sargassum ringgoldianum* subsp. *coreanum*. (Cbojnacka., 2012).

Codium fragile a été montré d'être une source riche d'ions de sodium (1,21 g / L). *Kappaphycus alvarezii* contient des niveaux élevés d'ions de magnésium (0,58 g / l) et de calcium (0,46 g / L) (Cbojnacka., 2012).

1.5. Propriétés nutritionnelles et utilisation des algues

1.5.1. Nutrition

Vue qu'elles sont riches en oligoéléments, en vitamines et minéraux importants pour les êtres vivants (calcium, sodium, magnésium, potassium, chlore et soufre) ; les algues sont souvent utilisées dans le domaine l'alimentation humaine et animale (McHugh., 2003).

1.5.1.1. Alimentation humaine

Dans les pays asiatiques en particulier, les algues sont traditionnellement employées pour l'alimentation en raison de leur valeur nutritive élevée (McHugh., 2003).

Les algues sont utilisées récemment non pas seulement comme nourriture, mais aussi comme épices et délicatesses, cette utilisation a été reconduite aux pays occidentaux à cause de changement de style de vie et de conventions diététiques (Kannan et al., 2004). Les algues les plus utilisées sont *Spirulina*, *Chlorella*, *Dunaliella*, *Nostoc*, *Aphanizomenon*, *Sargassum wightii* et *Ulva* (Andres et al., 2007).

1.5.1.2. Alimentation animale

Les animaux tel que les moutons, les bovins qui vivaient dans les zones côtières des pays européens, consommés les algues rejetés sur le rivage. Aujourd'hui les algues sont disponibles et utilisées dans la production de la farine d'algues marines à partir d'*Ascophyllum nodosum*, *laminaria digitata* et *Alaria esculenta* (McHugh., 2003).

Les études montrent que la farine d'algues marines est bénéfique pour les ovins et les bovins mais pas les volailles car après l'ajout d'un repas (*Ascophyllum*) il ya aucun effet sauf l'augmentation de la teneur d'iode des œufs (McHugh., 2003).

1.5.2. Domaine thérapeutique

Les algues sont une source naturelle des molécules bioactive avec une large gamme des activités biologiques, telles que les anti-inflammatoires, les antibiotiques, antivirales, les antisudoraux et les antioxydantes (Bhagavathy., 2011). L'utilisation des algues marines pour des buts médicaux n'est pas nouvelle ; étant mentionné dans la médecine chinoise, les algues ont été employées dans la médecine pour le traitement du goitre, les maladies néphrétique, antihelminthiques, cataracte, les maladies de peau, et comme source de vitamine suppléments pour le traitement de divers désordres intestinaux, tels que des vermifuges et états hypocholestérolémiques et hypoglycémiques (Kannan et *al.*, 2014).

1.5.3. Domaine environnemental

Les algues sont riches en matière organique, notamment en fibre (33 à 61%) (Lahaye, 1991), ainsi que les éléments minéraux solubles dans l'eau et oligoéléments dans les algues principalement les fucus et les laminaires font d'elles un excellent engrais (Saidani., 2010). Les microalgues peuvent être aussi utilisées pour la dépollution des eaux usées surtout celles polluées par des métaux lourds comme Cu, Ni, Pb et Zn (Nemchi., 2012).

1.5.4. Domaine industriel

L'utilisation des algues comme matière première dans l'industrie des phycocolloïde . Deux types des algues sont essentiellement récoltées à cet effet, les algues brunes *Laminaria digitata*, *Laminaria hyperborea*, *Ascophyllum nodosum*, d'où on extrait les polysaccharides d'alginate, et les algues rouges *Chondrus crispus* et *Mastocarpus stellatus* d'où on extrait les polysaccharides de carragénanes. Ces substances particulières qui n'existent que chez ces végétaux et qui n'ont pas leur équivalent de synthèse sont recherchées pour leurs propriétés physiques et utilisées surtout comme agent gélifiants, épaississant et stabilisateur. Leur pouvoir élevé de gélification ou d'épaississement permet de les utiliser à très faibles doses (de 0.01 à 0.5%) dans la plupart des cas. C'est pour cette raison qu'elles entrent de manière discrète dans une multitude d'application aussi variées que l'impression des textiles, le couchage de papier, l'enrobage des électrode, les vernis, les colles, les dentifrices et les couches pour bébés (Cabioc'h et al., 2006).

L'agar-agar (E406) : est extrait d'algues rouges. Il a pour propriété une fois réduit en poudre, de devenir un excellent gélifiant végétal. L'agar-agar est aussi employé comme gélifiant dans les desserts, les confitures et les glaces. C'est aussi un épaississant pour les sauces, les soupes ou les purées. Utilisé dans l'industrie alimentaire et dans les ménages, il a l'avantage d'être stable à la chaleur, en supportant des traitements au-delà de 100 degrés (ce qui permet la stérilisation sans dégradation) et de goût neutre (Fleurence et *al.*, 1999).

2. *Asparagopsis armata*

2.1. Description

Le thalle d'*Asparagopsis armata* est de couleur rouge rosé à rose pâle et se présente en touffes au contour pyramidal, de 15 à 30 cm de long. L'axe principal, cylindrique, d'un diamètre proche de 1 mm, est ramifié irrégulièrement. Les axes portent une succession alternée de rameaux longs à croissance indéfinie, de rameaux courts et de rameaux épineux, en forme de harpon. Les rameaux longs garnis de fins filaments (ou ramules) forment de petites touffes coniques (ou touffes pyramidales) (Reviere B., 2002).

Dans la partie supérieure de l'algue. Les rameaux en forme de harpons sont disposés par paire à la base des axes secondaires et vont permettre aux frondes de cette algue de s'accrocher aux algues environnantes ou à divers supports. Les plongeurs peuvent en faire l'expérience : s'ils passent trop près d'*Asparagopsis armata*, l'algue restera accrochée à leur combinaison. Le thalle a une structure uni-axiale, à croissance apicale (Reviere B., 2002).

Les cellules superficielles contiennent de nombreux plastes discoïdes ou rubanés, alors que les cellules internes ont des plastes peu nombreux et plus allongés. A la base du thalle, des stolons plus ou moins ramifiés contribuent à sa fixation sur la roche ou sur d'autres algues. L'algue contient des cellules spécialisées, iodiques, contenant de l'iode. Lorsque l'on étale l'algue sur du papier, l'iode réagit avec la cellulose du papier. On observe une auréole bleutée autour de l'algue (Reviere B., 2002).

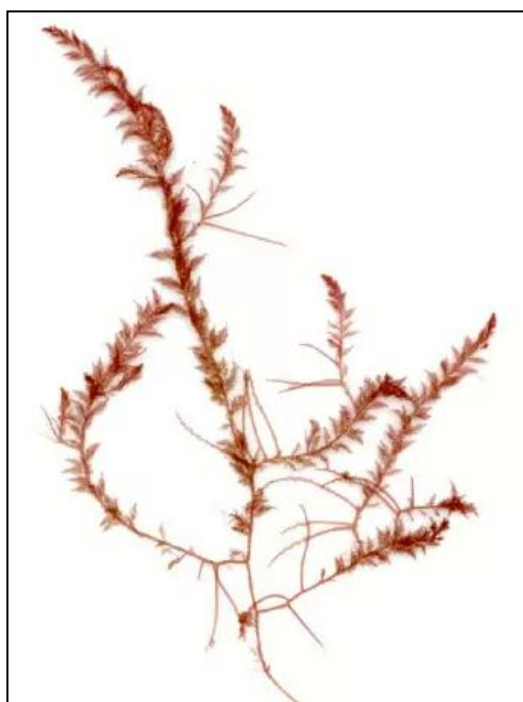


Figure 12 : *Asparagopsis armata*.

2.2. Classification

- Classe** : Rhodophycophyte
Ordre : Bonnemaisoniales
Famille : Bonnemaisoniaceae (Bonnemaisoniacées)
Genre : *Asparagopsis*
Espèce : *Asparagopsis armata*

2.3. Habitat

Asparagopsis armata est une espèce photophile, qui se développe au niveau de l'étage infralittoral supérieur, de la surface à une dizaine de mètres de profondeur, rarement plus bas que 25 mètres, dans des zones calmes (Reviere B., 2002).

2.4. Composants

Elle stocke l'iode à une concentration 100 000 fois plus élevée que dans l'eau de mer. Son extraction a permis la fabrication industrielle de la teinture d'iode jusqu'à la seconde moitié du XXème siècle. Elle présente une grande richesse en minéraux, en vitamines et en acides aminés (Reviere B., 2002).

3. Activités biologiques des algues

Les algues sont sans cesse remis en cause par une combinaison de lumière et des concentrations d'oxygène élevées, des microorganismes (les virus, les bactéries, les champignons, et des autres algues) et des brouteurs. Pour survivre dans un tel environnement, les algues développent des moyens de lutte efficaces contre ces agressions par la production des métabolites bioactifs (Hellio et al., 2004).

Les algues sont capables de produire une grande variété de métabolites secondaires caractérisés par un large spectre d'activités biologiques (des propriétés antioxydantes, des activités antivirales, antifongiques et antibactériennes) (Cox et al., 2010). Il s'est avéré que la production de ces composés de défense chimique est influencée par les variations saisonnières et géographiques (Hellio et al., 2004 ; Chiheb et al., 2009).

3.1. Des métabolites bioactifs des algues

Les métabolites bioactifs des algues incluent: les alcaloïdes, les saponines, les carbohydrates, les protéines, les acides aminés, les glycosides, les phytostérols, les composés phénoliques, les terpénoïdes (Elsie et *al.*, 2011), les cétones halogénés, les alcanes, les polysulfures cycliques, les acides gras et l'acide acrylique (Taskin et *al.*, 2005). En effet, les rhodophytes sont plus connues pour produire des métabolites halogénés (Demirel et *al.*, 2011) dont les bromophénols (Bhakuni & Rawat, 2005 ; Lee et *al.*, 2007) et les terpenoïdes halogénés (Fenical & Paul, 1984 ; Valiela, 1995 ; Bourgougnon & Stiger-Pouvreau, 2011).

3.1.1. Polyphénols

Les composés phénoliques ou les polyphénols sont des produits du métabolisme secondaire des plantes (Vermerris & Nicholson, 2006), ils constituent l'un des groupes les plus répons dans le règne végétal, actuellement on connaît plus de 8000 structures phénoliques différentes (Tsao, 2010). Ils résultent bio-génétiquement de deux voie synthétiques principales ; la voie de shikimate et acétate (Bravo, 1998). Les composés phénoliques, en plus de son pouvoir antioxydant puissants (Tsao, 2010), ils jouent un rôle important dans l'activité anti-inflammatoire, antimicrobienne et anticancéreuse (Elsie et *al.*, 2011).

3.1.1.1. Structure chimique

Les polyphénols sont des composés qui ont plus qu'un groupe hydroxyle attaché à un ou plusieurs noyaux benzène. Le phénol est la structure de base de tout le groupe (Figure 13).

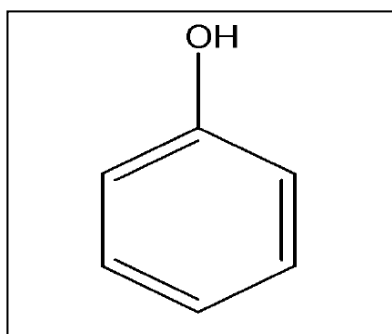


Figure 13 : Structure chimique du phénol.

Les phénols se ressemblent aux alcools de structures aliphatiques où le groupe hydroxyle est attaché à une chaîne de carbone. Le groupe hydroxyle phénolique, cependant, est influencé par la présence du noyau aromatique. À cause de ce noyau aromatique, l'hydrogène de l'hydroxyle phénolique est labile, ce qui les rend des acides phénoliques faibles. Ils se trouvent comme des esters ou glycosides plutôt que comme des composés libres (Vermerris & Nicholson., 2006).

3.1.1.2. Bromophénols

Les bromophénols (BPS) sont biosynthétisés en présence de bromoperoxydases, de l'eau oxygénée et le bromure (Liu *et al.*, 2011). Ils peuvent être biosynthétisés par la voie de shikimate (Bhakuni & Rawat, 2005). La fonction écologique des BPS n'est pas encore claire, mais ils peuvent jouer un rôle dans la défense chimique dans la régulation des épiphytes et les endophytes. Des études récentes ont révélé que les BPS marins ont un large spectre d'activités biologiques avantageuses. Ces BPS ont attirés beaucoup d'attention dans le domaine agroalimentaire et pharmaceutique (Liu *et al.*, 2011). Les bromophénols des algues rouges ont montré une activité antioxydante et antibactérienne et antifongique significative. Ils peuvent agir aussi comme anti-inflammatoire (Lee *et al.*, 2007).

3.1.1.3. Terpénoïdes

Les terpénoïdes sont définis comme étant des matériaux ayant des structures moléculaires contenant un squelette carbonés formé des unités d'isoprène (Sell, 2004). Ils constituent une classe variée de produits naturels des plantes. Ils ont une importance commerciale en raison de leur large application dans un grand nombre de produits industriels comme les agents aromatisants, des insecticides et des agents anti- microbiens, ils entrent également dans la composition des produits pharmaceutiques et des parfums. Bien que beaucoup d'entre eux sont associés au métabolisme primaire, d'autres sont des métabolites secondaires des plantes (Aharoni *et al.*, 2006).

3.1.1.3.1. Terpénoïdes halogénés

Le phylum des Rhodophytes est connu de leur production d'une variété des terpénoïdes chloré et bromé. Ces terpénoïdes halogénés ont montré une activité antifongique forte, contre *Penicillium oxalicum*, une activité antibactérienne contre *Micrococcus luteus* et une activité anti tumorale (Tringali, 1997).

3.1.2. Radicaux libres

Un radical est une molécule possédant un ou plusieurs électrons non appariés sur ses orbitales électroniques externes. La présence d'un électron célibataire confère souvent à ces molécules, une grande instabilité et les rend très réactif, en essayant de capturer l'électron nécessaire à partir d'autre molécule pour avoir une stabilité et donc elles ont une durée de vie courte (Lacolley., 2007).

Les radicaux libres RL réagissent sur les macromolécules lipidiques, protéiques, glucidiques et, l'ADN et l'ARN. La réaction initiale stimule d'autres réactions, ce qui accroît la production de radicaux libres. Le résultat de ces perturbations est un dysfonctionnement cellulaire menant au dommage de la cellule ou de la bactérie, à des désordres inflammatoires, à des troubles immunologiques, à des problèmes neurologiques, à des mutations génétiques et au vieillissement (Poortmans et Boisseau., 2003).

3.2. Les bactéries utilisées

3.2.1. *Escherichia coli*

C'est un bacille Gram négatif, de la famille des Entérobacteriaceae, anaérobie facultatif possédant des cils péritriches et flagelles. C'est une bactérie commensale du tube digestif des animaux et de l'homme. La 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 (Blanc *et al.*, 2006).

Certaines souches d'*E. coli* peuvent être pathogènes, entraînant alors des gastro-entérites, infections urinaires, méningites ou septicémies.

Ce sont des bacilles dont 70% sont mobiles, non sporulés, de 2,5 µm de long et 0,6 µm de large. *E. coli* est utilisée en génie génétique pour l'obtention de l'insuline glargine analogue de l'insuline humaine (Scheen., 2004).

Ce microorganisme n'existe pas normalement dans l'eau et dans le sol, leur présence est donc indicateur de contamination fécale (Scheen., 2004).

Les caractères biochimiques d'*Escherichia coli* sont :

- Gaz en glucose + ;
- Lactose, mannitol, sorbitol + ;
- β- galactosidase +
- indole + ;
- rouge de méthyle +, Voges-Prokauer - .
- phénylalanine-désaminase, uréase, gélatinase, malonate, adonitol, inositol, H₂S, citrate de simmons - ;

La plupart des souches poussent sur milieu synthétique minimum (Le Minor L., 1989).

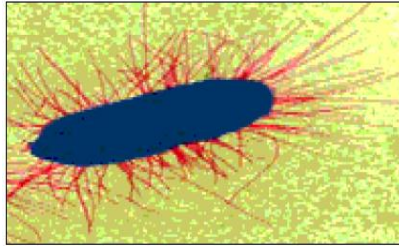


Figure 14 : *Escherichia coli* au microscope électronique (Kaiser., 1998).

3.2.2. *Pseudomonas aeruginosa*

C'est un bacille pyocyanique (bacille du pus bleu) (du grec : *puon*, pus ; et du latin : *cyaneus*, bleu foncé), est maintenant désigné sous le nom de *Pseudomonas aeruginosa* (du latin : *aes*, airain, cuivre ; *aerugo*, roille d'airain, vert de gris ; *aeruginosus*, couvert de rouille). C'est une bactérie gram négative, bâtonnets (0,5-1 μm x 1,5-5 μm). elle est extrêmement mobile grâce a une ciliature polaire en générale monotriche (Pilet et *al.*, 1979). Le *Pseudomonas aeruginosa* possède souvent des granulations plus fortement colorées.

Cette bactérie qui vit a l'état saprophytique dans l'eau, les végétaux, les sols humides ; résiste mal à la dessiccation. Elle peut vivre en commensal dans le tube digestif de l'homme et de divers animaux, et elle peut exercer un pouvoir pathogène chez certains de ces hôtes (Pilet et *al.*, 1979).

Sur le plan médical, cette bactérie est habituellement inclus dans la liste des « bactéries pathogènes », elle est définit comme un agent pathogène « opportuniste », car elle provoque chez l'homme et l'animale es suppurations diverses, particulièrement fréquentes en milieu hospitalier (Pilet et *al.*, 1979).

P. aeruginosa est capable de produire de nombreux métabolites diffusant dans le milieu environnant, beaucoup d'entre eux sont toxiques, et sont susceptibles de jouer un rôle soit dans la virulence de la bactérie, soit dans la protection contre la maladie «rôle pathogène naturel » (Singleton., 1984).

Il montre également une capacité de résister aux antibiotiques, soit de façon native (par l'expression constitutive de β -lactamases, ou en raison d'une faible perméabilité de la membrane externe), soit suite à l'exposition aux antibiotiques (acquisition de gènes codant pour des enzymes détruisant les antibiotiques, mutation de cible...) (Mesaros et *al.*, 2007).

Les caractères biochimiques de *Pseudomonas aeruginosa* sont :

- Oxydase + ;
- Indole - ;
- urée - ;
- TDA - (tryptophane-désaminase) ;
- H₂S - ;
- gélatine + ;
- Nitrate-réductase + ;
- ONPG - (orthonitrophényl-galactose) ;
- LDC - (Lysine-décarboxylase) ;
- ODC - (Ornithine-décarboxylase) ;
- ADH + (Arginine-déshydrogénase).

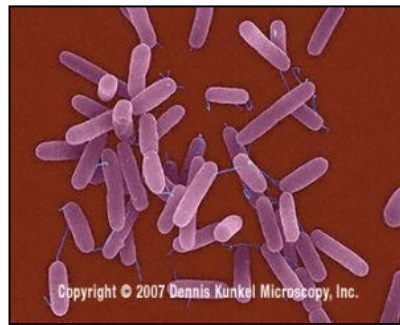


Figure 15 : *Pseudomonas aeruginosa* au microscope électronique
(<http://education.denniskunkel.com>)

3.2.3. *Staphylococcus aureus*

Observés par Robert Koch en 1878 et puis reconnus par Louis Pasteur en 1880 le *Staphylococcus aureus*, également appelé *staphylocoque doré*, (du grec « staphyle » qui signifie grappe de raisin) est une cellule cocciforme de 0.8 à 1 µm de diamètre, à Gram positif, immobile, non capsulé sauf de très rares souches sont entourées d'une pseudo capsule sporulé, isolé en diplocoques et le plus souvent en amas ayant l'aspect d'une grappe de raisin et pouvant causer plusieurs types d'infections. L'homme est considéré comme étant un réservoir naturel de *Staphylococcus aureus* ; 30 à 40 % des adultes en bonne santé en sont porteurs, c'est à dire que l'on peut trouver ces germes temporaires ou permanents au niveau

de la peau et des muqueuses (fosses nasales, gorge, périnée, aines, nombril, aisselles) (Guiraud et Galzy., 1980; Klevens et *al.*, 2005).

Les premières souches de *Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline (SARM) ont été décrites pour la première fois en 1961. Ayant développé une multi résistance avec le temps, le type SARM est devenu problématique dans les années 90 (Tremblay., 2008).

Suite à l'emploi excessif d'antibiotiques et à des mesures hygiéniques insuffisantes, un pourcentage de plus en plus important de souches de *Staphylococcus aureus* devient résistant à la méthicilline. Cela signifie que ces souches sont résistantes à tous les antibiotiques β -lactames (Tremblay, 2008).

Les caractères biochimiques de *Staphylococcus aureus* sont :

- catalase , coagulase + ;
- oxydase - ;
- glucose + (sans dégagement de gaz) ;
- Mannitol + .

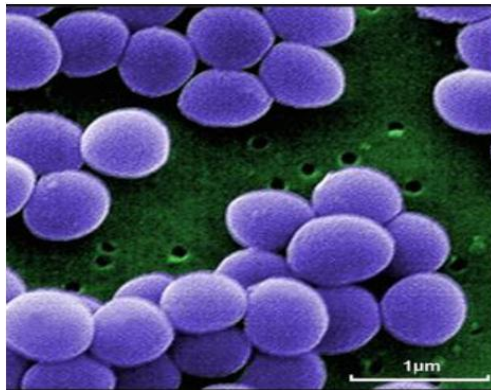


Figure 16 : *Staphylococcus aureus* au microscope électronique

(<http://www.bacteriainphotos.com>).

3.2.4. *Klebsiella pneumoniae*

K. pneumoniae est une bactérie appartenant à la famille des Entérobacteriaceae, elle représente l'espèce type du genre *Klebsiella*. Elle fait partie de la flore commensale de la peau et des muqueuses de l'homme et des animaux en faible quantité (Raud, 2003).

C'est un bacille Gram négatif de 1 à 4 μm de long sur 0,4 à 0,6 μm de large, immobile généralement entouré de capsule polysidique donnant un aspect muqueux typique du genre. C'est une bactérie aéro-anaérobie facultative (Raud, 2003).

Les caractères biochimiques de *Klebsiella pneumoniae* sont :

- Glucose + ;
- Oxydase – ;
- Catalase, Nitrate réductase, β -galactosidase + ;
- Production H₂S – ;
- Tryptophane désaminase – ;
- Voges-Proskauer - .

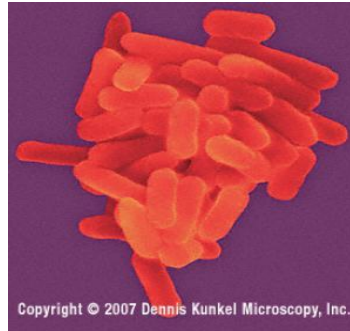


Figure 17 : *Klebsiella pneumoniae* au microscope électronique

(<http://education.denniskunkel.com>)

3.2.5. *Micrococcus luteus*

Cette bactérie est de forme sphérique, saprophyte faisant partie de la famille des Micrococcacées. Elle est aérobic stricte. Elle vit dans le sol, les poussières, l'eau et l'air et fait partie de la flore naturelle de la peau des mammifères (Euzéby, 2010).

Elle peut aussi coloniser la bouche, la muqueuse de l'oropharynx et les voies respiratoires supérieures humaines (Euzéby, 2010).

Caractères biochimiques de *Micrococcus luteus* :

- Gram + , mannitol + ;
- catalase + .



Figure 18 : *Micrococcus luteus* au microscope électronique

(<http://www.bacteriainphotos.com>).

Partie II

Matériels et méthodes

1. Présentation du site de récolte

Les prélèvements des algues ont été effectués pendant le mois de février 2015 à salamandre (Mostaganem, 09°02'50'' longitude Ouest et 32°44'42'' l'altitude nord), située sur la côte méditerranéenne Algérienne. Les prélèvements on été faits à marrée basse.

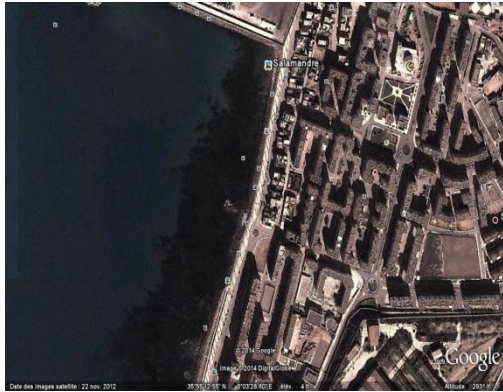


Photo 1: Photographie de Salamandre.

1.1.Récolte et conservation des échantillons

L'algue a été récoltée mensuellement à la main au niveau de la plage salamandre Mostaganem. Elle est lavée avec de l'eau de mer pour débarrasser tous les débris adhérents qui pourrait influencer l'évaluation des activités biologiques., puis placé dans des sacs en plastique fermés hermétiquement contenant l'eau de mer.

Au laboratoire, cet échantillon est à nouveau rincée avec l'eau de robinet puis avec l'eau distillée pour le mettre à l'obscurité et à la température ambiante jusqu'à la déshydratation complète, l'algue est broyée à l'aide d'un mixeur puis placée dans un flacon stérile et conservée ensuite à l'abri de la lumière au réfrigérateur à une température de 4 °C.



Photo 2 : *Asparagopsis armata*.

2. Préparation des extraits d'algue

Les extraits d'algue sont obtenus en ajoutant 5g de poudre à 50 ml de ces différents solvants méthanol, hexane, acétone et dichlorométhane. L'extrait dichlorométhanolique est de nature huileuse et de couleur verte; composé de substances apolaires tels que les pigments chlorophylliens, de caroténoïdes, de composés stéroliques, des lipides et les composés terpéniques (Wafa Chérif et *al.*, 2011).

Les mélanges (algue/solvant) obtenus sont macérés à l'abri de la lumière pendant 48 h à température ambiante, ensuite des filtrations sur papier Wattman N°1 ont été réalisées. Les filtrats obtenus sont évaporés à sec à 40 °C sous pression réduite avec un évaporateur rotatif de type Heidolph 4010 digital, selon la méthode décrite par (Ktari., 2000), les extraits obtenus sont récupérés par le méthanol puis conservés à 4°C jusqu'à leurs utilisation ultérieurement.



Photo 3 : Evaporateur rotatif de type Heidolph 4010 digital.

2.1. Calcul du rendement d'extraction

Les pourcentages des extraits bruts ont été calculés par la formule suivante:

$$R (\%) = M/M_0 \times 100$$

R : Rendement exprimé en %

M : Masse en gramme de l'extrait sec résultant

M₀ : Masse en gramme du matériel végétal à traiter.

Les solvants utilisés sont :

Méthanol : CH₄O ;

Hexane : C₆H₁₄ ;

Acétone : C₃H₆O ;

Dichlorométhane : CH₂Cl₂ .

2.2. Etude du pouvoir antibactérien

2.2.1. Souches testées

A fin d'évaluer leurs activités antibactérienne, les extraits d'algues préparés ont été testés, sur des bactéries mentionnés dans le tableau suivant:

Tableau 1 : Origine des souches utilisées dans les différents tests d'activité antibactérienne.

<i>Bactérie</i>	<i>Gram</i>	<i>Code</i>	<i>Origine</i>
<i>Staphylococcus aureus</i>	Positif	ATCC 6538	MNHN
<i>Micrococcus luteus</i>		ATCC 9341	MNHN
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Négatif	ATCC 27853	MNHN
<i>Escherichia coli</i>		ATCC 8739	MNHN
<i>Klebsiella pneumoniae</i>		IBMC Strasbourg	MNHN

ATCC: American Type Culture Collection.

MNHN : Muséum National d'Histoire Naturelle (Paris) ;

2.2.2. Conservation des souches

Elle a été réalisée par ensemencement des souches isolées sur gélose nutritive inclinée en tubes à essais, les cultures pures sont conservées à 4°C à l'obscurité.

2.2.2.1. Milieux de culture utilisés

Les milieux de culture utilisés sont :

- ✓ Bouillon BHIB (Fluka).
- ✓ Gélose Mueller Hinton pour les bactéries (Fluka).

3. Evaluation de l'activité antibactérienne

La méthode de diffusion très utilisée en microbiologie repose sur la diffusion du composé antibactérien en milieu solide. L'effet du produit antibactérien sur la cible est apprécié par la mesure d'une zone d'inhibition et en fonction du diamètre d'inhibition, la souche du microorganisme sera qualifiée de sensible, d'intermédiaire ou de résistante.

Dans cette technique, il y a compétition entre la croissance de la bactérie et la diffusion du produit à tester (Broadsky et *al.*, 1976).

3.1.Méthode de diffusion sur agar (méthode des disques)

L'activité antibactérienne a été déterminée en utilisant la méthode de diffusion sur agar (Lesueur et *al.*, 2007; Boulekbache-Makhlouf et *al.*, 2012). Dans des boîtes de Pétris stériles préalablement coulées par le milieu (Müller Hinton), les bactéries sont écouvillonnées sur la surface des géloses. Puis des disques de papier filtre sont imprégnés d'une concentration précise de différents extraits, après évaporation du solvant à l'air libre, (pendant 5 à 10 secondes) ces disques ont été déposés stérilement sur la surface du milieu des boîtes de pétri préalablementensemencées par les souches-tests concernées. Après incubation, la lecture des résultats se fait par la mesure du diamètre en mm des halos clairs au tour des disques de la zone d'inhibition (Lesueur et *al.*, 2007).

4. Préparation de l'inoculum

Pour la fixation de l'inoculum de départ, nous avons employé une méthode photométrique (Atwal., 2003).

- A partir d'une préculture d'environ 20 h sur bouillon BHIB pour les bactéries, on prépare une suspension bactérienne, la densité optique doit être entre 0.08 à 0.1 mesurée en spectrophotomètre à 625 nm pour les bactéries afin d'avoir une concentration de 10^8 UFC/ ml.
- L'inoculum peut être ajusté en ajoutant, soit de la culture s'il est trop faible, ou bien du milieu stérile s'il est trop chargé.
- L'ensemencement doit se faire pendant les 15 min qui suivent la préparation de l'inoculum.

4.1.Ensemencement

L'ensemencement se fait par la méthode d'écouvillonnage

- Tremper un écouvillon stérile dans l'inoculum.
- L'essorer en le pressant fermement (et en le tournant) contre la paroi interne du tube, afin de décharger au maximum.
- Frotter l'écouvillon sur la totalité de la surface gélosée sèche, de haut en bas, en stries serrées.
- Répéter l'opération 2 fois, en tournant la boîte de 60° à chaque fois, sans oublier de faire pivoter l'écouvillon sur lui-même. Finir l'ensemencement en passant l'écouvillon sur la périphérie de la gélose.
- Dans le cas où l'on ensemence plusieurs boîtes de Pétri, il faut recharger l'écouvillon à chaque fois (Rahal et *al.*, 2011).

4.2.L'application des disques

- Il est préférable de ne pas mettre plus de 6 disques sur une boîte de 90mm de diamètre. Les disques doivent être espacés de 24 mm, centre à centre.
- Des disques de papier wattman n°1 stérile de 6 mm de diamètre, imprégnés de 30µl de différents extraits, après évaporation du solvant à l'air libre, ces disques ont été déposés stérilement sur la surface du milieu des boîtes de pétri préalablement ensemencées par les souches-tests concernées.
- Des disques imprégnés d'extrait d'algue fraîche sont également déposés.
- Presser chaque disque à l'aide d'une pince bactériologique stérile pour s'assurer de son application. Une fois appliqué, le disque ne doit pas être déplacé (Rahal et *al.*, 2011).

4.3.Incubation

Les boites sont incubées pendant 24 h à 37°C.

4.4.Lecture

- On mesure avec précision les diamètres des zones d'inhibition à l'aide d'un pied à coulisse ;
- On compare les résultats aux valeurs critiques;
- Selon le diamètre d'inhibition, on peut classer la bactérie dans l'une des catégories: S : Sensible ; I : Intermédiaire ; R : Résistante.

Partie III

Résultats et discussion

1. Effet du solvant sur le rendement d'extraction

Les résultats de l'effet du solvant sur le rendement d'extraction des principes actifs d'algue rouge *Asparagopsis armata* sont indiqués dans le Tableau 2.

Un meilleur rendement d'extraction est obtenu avec le méthanol comme solvant (23,58 %) ce résultats est proche de celui déjà obtenu par (Bentireche et Achour., 2014), où elles ont trouvé un rendement d'extraction de l'extrait méthanolique de 20.1% pour l'algue *Asparagopsis armata*. Les autres solvants ont permis d'avoir des rendements relativement faibles.

Beaucoup d'études ont montré l'influence de différentes conditions d'extraction, sur les rendements d'extraction des métabolites biologiquement actifs tels que, le temps et la température d'extraction, le pH, la composition chimique des échantillons et la polarité du solvant (Mahmoudi et al., 2013 ; Lopez et al., 2011), qui sont le plus souvent des solvants alcooliques (Spigno et al., 2007).

Tableau 2: Le rendement d'extraction des différents solvants

Solvant	Rendement d'extraction (%)
Acétone	4,16
Hexane	5,16
Dichlorométhane	5,78
Méthanol	23,58

On peut lier le rendement d'extraction élevé de l'extrait méthanolique à la polarité de méthanol. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par (Febles et al., 95 ; Etahiri et al., 2003 ; Zeng et al., 2012), dans lesquels il a été mis en évidence que le méthanol est le meilleur solvant pour l'extraction des molécules, dotées d'une activité antibactérienne.

Hediat et al., 2010, ont reporté que la capacité des solvants de faire extraire les différents phyto-constituants, dépend de la polarité et la solubilité de ces composés dans les solvants.

La variation du rendement d'extraction est due à l'effet de la nature du solvant, la composition chimique des algues qui dépend de l'espèce et de son âge, les facteurs environnementaux, la localisation géographique des algues, et les conditions saisonnières (Balboa et al., 2013).

2. Mesure de l'activité antimicrobienne

L'activité antibactérienne des quatre extraits préparés avec les solvants organiques de polarité différente de l'algue rouge *Asparagopsis armata* sur la croissance de cinq souches bactériennes; deux gram positifs (*Micrococcus luteus*, *Staphylococcus aureus*), et trois gram négatif (*Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*), a été étudiée par la méthode de diffusion sur agar Müller-Hinton.

Les résultats obtenus de l'activité antibactérienne des différents extraits utilisés sont représentés dans le Tableau 3 (annexe 2).

Cette étude a démontré que les extraits de l'algue rouge *Asparagopsis armata*, présentent presque toujours des diamètres d'inhibition assez importants. Ces résultats sont en accord avec les observations de (Paul et al., 2006 ; Noemi et al., 2007).

On remarque que le pouvoir antibactérien de l'extrait d'algue dépend de la souche bactérienne utilisée et aussi de solvant utilisé.

Les extraits d'algue ont montré une activité antibactérienne contre toutes les souches bactériennes étudiées sans aucune exception.

Les zones d'inhibition obtenues sont comprises entre 10 et 36 mm dans toutes les souches bactériennes étudiées. L'extrait dichlorométhanolique et L'extrait d'algue fraîche semblent avoir une meilleure activité par rapport aux autres extraits d'algue

On remarque aussi que les bactéries à gram négatif étudiées sont un peu plus résistantes par rapport aux bactéries à gram positif vis-à-vis des extraits d'algue.

L'extrait acétonique a des zones d'inhibition entre 11 et 36 mm, l'extrait hexanique a des zones d'inhibition entre 15 et 22 mm, pour l'extrait dichlorométhanolique les zones d'inhibition sont comprises entre 16 et 25 mm, et l'extrait méthanolique a des zones d'inhibition entre 10 et 23 mm. L'extrait d'algue fraîche a des zones d'inhibition comprises entre 14 et 27 mm.

Micrococcus luteus montre une sensibilité vers les extraits méthanolique, dichlorométhanolique et hexanique, avec des diamètres d'inhibition de 21.5, 24 et 21 mm, respectivement, l'extrait d'algue fraîche a aussi un effet inhibiteur important sur cette bactérie avec une zone d'inhibition de 25 mm.

Staphylococcus aureus est beaucoup plus sensible à l'extrait dichlorométhane avec un diamètre d'inhibition de 24.5 mm, par rapport aux autres extraits où la zone d'inhibition est comprise entre 14 et 21 mm.

Donc on peut dire que les deux bactéries à gram positif utilisées dans notre étude montrent des zones d'inhibition importantes lorsqu'il s'agit de l'utilisation de l'extrait dichlorométhanologique.

Pseudomonas aeruginosa semble très sensible à l'extrait acétonique avec un diamètre d'inhibition de plus de 34.5 mm, Cette zone d'inhibition est caractérisée par l'absence de développement d'aucune bactérie et ayant un aspect très clair. Elle a des diamètres d'inhibition entre 12.5 et 16.5 mm pour les autres extraits d'algue utilisés,

Dans le cas d'*Escherichia coli*, elle aussi a un diamètre d'inhibition important de 19.5 mm avec l'extrait dichlorométhanologique, ce résultat est en accord avec celui obtenu par d'autres chercheurs (Reichelt et al., 1984), elle a des diamètres entre 14 et 17 mm pour les autres extraits d'algue utilisés,

Klebsiella pneumoniae est comme *P. aeruginosa*, sensible à l'extrait acétone, le diamètre d'inhibition est de 21 mm, les diamètres pour les autres extraits utilisés sont entre 10 et 18 mm.

Les résultats obtenus par Noemi et al., (2007), qui ont rapporté qu'une haute activité a été observée vis-à-vis *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213), *Escherichia coli* (ATCC 35218) et *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 9027) par un extrait méthanologique de l'algue rouge *A.armata*, s'accordent parfaitement avec ceux obtenus dans notre étude.

Les diamètres d'inhibitions importants de l'extrait acétonique sur les grams négatifs peuvent être dus à la capacité de l'acétone de faire extraire un composé bioactif depuis l'algue, qui agit sur la paroi de ces bactéries (LPS).

L'extrait dichlorométhanologique a montré un effet inhibiteur important vis-à-vis de toutes les souches bactériennes étudiées. Ces résultats montrent bien que le dichlorométhane lui aussi, comme le méthanol, a un pouvoir d'extraction très important. Cela peut être expliqué par le fait que ce solvant a une polarité importante et que l'*Asparagopsis armata* renferme probablement de nombreuses substances apolaires, ayant un effet antibiotique, tels que les composés terpéniques et les lipides (Moujahid et al., 2004).

L'extrait hexanique, lui aussi a montré son effet inhibiteur vis-à-vis des bactéries à gram positif, cela peut être dû à la capacité de l'hexane de faire extraire un composé bioactif depuis l'algue, qui agit sur la paroi de ces bactéries (peptidoglycanes et/ou acides téchoïques).

Sharma et Tripathi., (2006) ont montré que l'hexane agit sur la paroi cellulaire, provoquant la perte de rigidité et l'intégrité de la paroi.

McConnell et al., (1977), ont montré qu'une série de composés halogénés d'une faible taille moléculaire (halo-méthanes, halo-éthers, halo-acétats), sont responsables de l'activité

antimicrobienne de l'*Asparagopsis armata*. (Burreson et *al.*, 1976 ; Salvador et *al.*, 2007 ; Bansemir et *al.*, 2006 ; Maria et *al.*, 2005).

Tableau 3 : Évaluation de l'activité antibactérienne des différents extraits d'algue récoltée exprimée en diamètre d'inhibition (mm)

Souche bactérienne	Gram	Diamètre d'inhibition selon le solvant utilisé (mm)				Extrait algue fraîche
		Acétone	Hexane	Dichlorométhane	Méthanol	
<i>Staphylococcus aureus</i>	Positif	++	++	+++	+++	+++
<i>Micrococcus luteus</i>		++	++	+++	+++	+++
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Négatif	+++	++	+++	++	+++
<i>Escherichia coli</i>		+++	++	+++	++	+++
<i>Klebsiella pneumoniae</i>		+++	+++	+++	+	+++

Legandes : - pas d'inhibition, + : diamètre d'inhibition inférieur à 10mm, ++ diamètre d'inhibition compris entre 10 et 15mm, +++ diamètre d'inhibition supérieur à 15mm.

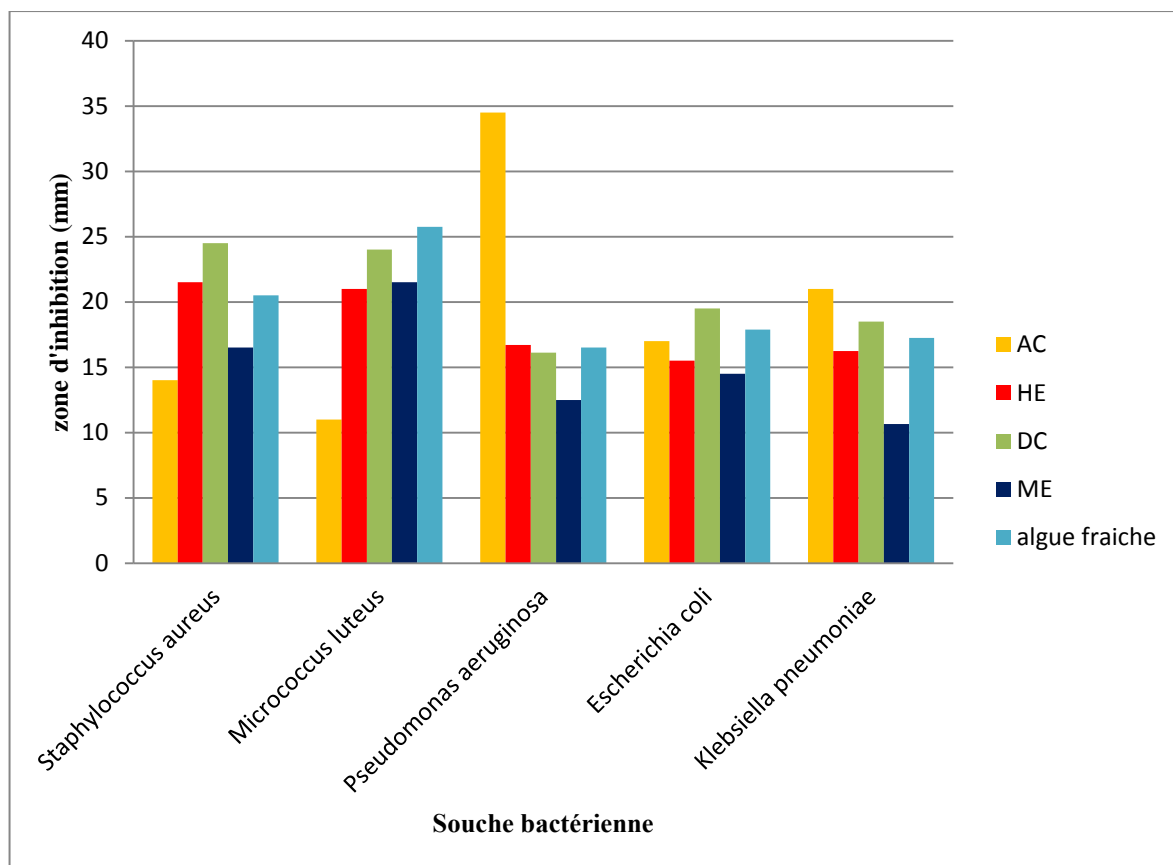


Figure 19 : Histogramme de l'effet de différents extraits d'algues sur les bactéries.

D'après ces résultats, on constate que l'algue rouge *Asparagopsis armata* est riche en agents inhibiteurs antibactériens. La méthode d'extraction utilisée dans notre travail a probablement permis d'obtenir des extraits qui contiennent plusieurs principes actifs responsables de l'inhibition des souches bactériennes.

Dans la littérature, la majorité des composés responsables de l'activité antibactérienne sont les dérivés terpéniques (König *et al.*, 1999 ; Etahiri *et al.*, 2001 ; Wang *et al.*, 2007 ; Smyrniotopoulos *et al.*, 2008 ; Vairappan *et al.*, 2008 ; Chakraborty *et al.*, 2010), phénoliques (Xu *et al.*, 2003 ; Oh *et al.*, 2008 ; Etahiri *et al.*, 2007), et lipidiques (Findlay *et al.*, 1986 ; Sidqiu *et al.*, 1993 ; Al-Fadhli *et al.*, 2006 ; Paul *et al.*, 2006).

Gao *et al.*, (2011), ont montré que les algues marines n'ont pas seulement une activité antibactérienne ou antifongique, mais ils sont aussi toxiques pour les cellules cancéreuses.

Farid *et al.*, (2012) ont montré que l'algue rouge *Asparagopsis armata* a un effet inhibiteur remarquable vis-à-vis *S. aureus*, en utilisant un extrait contenant un mélange de dichlorométhane et méthanol (V/V), ils ont trouvé que cette algue est plus inhibitrice pour *S. aureus* par rapport à d'autres espèces d'algues rouges.

Farid *et al.*, (2012), ont montré aussi que les algues rouges y compris *Asparagopsis armata* ont une forte activité antibactérienne par rapport aux algues vertes et brunes.

Susete *et al.*, (2015), ont également travaillé sur l'activité antibactérienne des algues, ils ont utilisé trois solvants : le méthanol, dichlorométhane et l'hexane, mais ils n'ont pas obtenu une inhibition pour l'*E.Coli* lorsqu'ils ont utilisé l'extrait d'*Asparagopsis armata*. Cela est peut être dû à la méthode d'extraction différente qu'ils ont utilisée dans leur travail.

Ömer et Beyhan., (2011), ont trouvé des diamètres d'inhibition proches des diamètres observés dans notre étude, lorsqu'ils ont utilisé un extrait méthanolique des algues rouges *Corallina officinalis* et *Ceramium ciliatum* vis-à-vis *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*.

Bansemir *et al.*, (2006) ont trouvé également que l'extrait dichlorométhanologique d'algue rouge *Asparagopsis armata* a une activité antibactérienne puissante sur des bactéries pathogènes des poissons.

Certains paramètres ont un effet sur l'activité antibactérienne, il y'a toujours une relation étroite entre l'activité antibactérienne des algues, la saison de récolte et certains paramètres physicochimiques, tels que la température, la lumière, les sels minéraux et les mouvements de l'eau (Amimi *et al.*, 2013 ; El Omari *et al.*, 2013), ils constituent les paramètres écologiques essentiels dans la détermination de la fertilité des algues et donc affectent de façon notable la présence de tel ou tel composé bioactif responsable de l'activité biologique (Younes *et al.*, 2009).

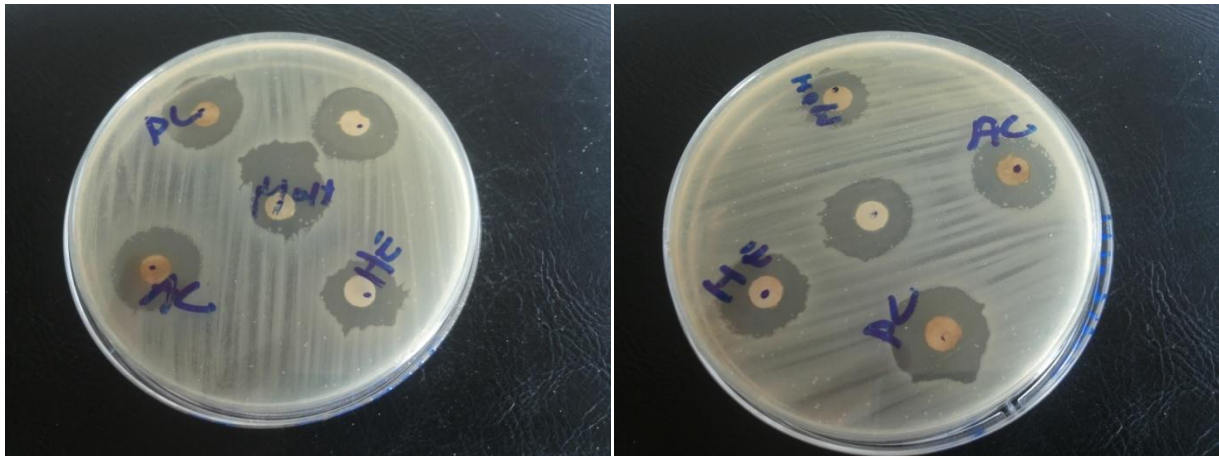


Photo 4 : L'effet des différents extraits d'algue vis-à-vis *E.coli*.



Photo 5 : L'effet des différents extraits d'algue vis-à-vis *Klebsiella pneumoniae*.



Photo 6 : L'effet des différents extraits d'algue vis-à-vis *Micrococcus luteus*.



Photo 7 : L'effet des différents extraits d'algue vis-à-vis *Pseudomonas aeruginosa*.



Photo 8 : L'effet des différents extraits d'algue vis-à-vis *Staphylococcus aureus*.

Conclusion

Depuis longtemps, les algues sont reconnues comme un aliment de haute valeur nutritive grâce à leur teneur en vitamines, en minéraux, acides gras et acides aminés essentiels au corps humain. Dernièrement, la découverte de nouveaux composés bioactifs d'origine algale permet leur utilisation à des fins thérapeutiques.

L'Algérie avec sa longue bande côtière de plus de 1200 km, constitue une source potentielle en algues marines hélas non encore exploitées.

Dans ce contexte nous nous sommes intéressés à évaluer l'activité antibactérienne de différents extraits d'algue rouge *Asparagopsis armata*.

Les résultats obtenus nous ont permis de conclure :

Le rendement le plus élevé est de l'ordre de 23,58% pour l'extrait méthanolique. En ce qui concerne le pouvoir antibactérien par la méthode de diffusion sur disques, l'extrait brut dichlorométhanolique, était plus actif vis-à-vis des souches bactériennes.

Les résultats obtenus *in vitro* ne sont qu'un premier pas dans la recherche des substances bioactives d'*Asparagopsis armata*. Pour cela, nous envisageons de nombreuses perspectives parmi elles :

- ✓ Développer les méthodes d'extraction par l'utilisation de plusieurs solvants d'extraction aux fins de l'obtention de maximum de composés bioactifs.
- ✓ L'évaluation de l'activité antibactérienne par l'utilisation de différentes méthodes d'étude et l'évaluation de la biomasse pour avoir une idée plus claire sur les potentialités exploitables de l'*Asparagopsis armata* des côtes algériennes.
- ✓ La réalisation d'autres études sur l'activité antioxydante de cette algue.
- ✓ L'identification des molécules bioactives responsables de cette activité antibactérienne.

Références bibliographiques

- Ahamet, S. (2003).** Etudes phytochimiques et des activités biologiques de *Balanites aegyptica* (Balanitaceae). *Thèse de doctorat en pharmacie*, Université de Bamako, Mali.
- Aharoni, A., Jongsma M.A., Kim T-Y., Ri M-B. Giri A. P., Verstappen F. W. A., Schwab W. & Bouwmeester H. J. (2006).** Metabolic engineering of terpenoid biosynthesis in plants. *Springer Phytochemistry Reviews*, 5: 49-58.
- Al-Fadhli, A., Wahidulla, S., D'Souza, L. (2006).** Glycolipids from the red Bouhlal et al. 6371 alga *Chondria armata* (Kütz) Okamura, *Glycobiology*. 16, 2006, 902-915.
- Allane, T. (2009).** Etude des pouvoirs antioxydant et antibactérien de quelques espèces végétales locales alimentaires et non alimentaires. *Thèse de magister en biochimie*, Université M'hamed Bougara Boumerdes, Algérie.
- Andrade, P.B., Barbosa, M., Pedro Matos, R., Lopes, G., Vinholes, J., Mouga, T., Valentao, P. (2013).** Valuable compounds in macroalgae extracts. *Food chemistry*. 138 : 1819-1828
- Asimi, S. (2009).** Influence des modes de gestion de la fertilité des sols sur l'activité microbienne dans un système de cultures de longue durée au Burkina Faso. *Thèse de doctorat en écologie*, Université polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.
- Atwal, R. (2003).** *In vitro* antimicrobial activity assessment of ZymoxOticsolution against abroad range of microbial organisms. *The International Journal of Applied Research in Veterinary Medicine*, 1 (3): 240-252.
- Balboa, E M., Conde, E., Moure, A., Falque, E., Dominguez, H. (2013).** *In vitro* antioxidant properties of crude extracts and compounds from brown algae. *Food Chemistry*, 138:1764-1785
- Bansemir, A., Blume, M., Schröder, S., Lindequist, U. (2006).** Screening of cultivated seaweeds for antibacterial activity against fish pathogenic bacteria. *Aquaculture* 2006, 252, 79–84.
- Bentireche, Malika., Achour, Fatima Zahra. (2014).** Memoire de fin d'études. Etude de l'activité antioxydante des extraits méthanoliques de quelques algues marines d'Algérie.
- Bhagavathy, S., sumathi, P., Bell, IJB. (2011).** Green algae *Chlorococ-cum humicola* – A new source of bioactive compound with anti-microbial activity. *Asian Pac. J Trop Biomed*. S1-S7.
- Bhakuni D. S. & Rawat D.S. (2005).** Bioactive marine natural products. Gulf Professional Publishing, 382 p.
- Blanc, V., Mesa, R., Saco, M., Lavilla, S., Prats, G., Miro, B., Navarro, F., Corté's, P., Llagostera, M. (2006).** ESBL - and plasmidic class C b-lactamase-producing *E. coli* strains isolated from poultry, pig and rabbit farms. *Veterinary Microbiology*, 118: 299–304.
- Blunt, J.W., Copp, B.R., Munro, M.H.G., Northcote, P.T., Prinsep, M.R. (2012).** Marine natural products. *Natural Product Reports*, 29: 144-222.
- Boulekbache-Makhlouf, L., Slimani, S., Madani, K. (2012).** Total phenolic content, antioxidant and antibacterial activities of fruits of *Eucalyptus globulus* cultivated in Algeria. *Industrial Crops and Products*, 41: 85-89.
- Bourgougnon, N & Pouvreau V S. (2011).** Chemodiversity and bioactivity within red and brown macroalgae along the french coasts, metropole and overseas departements and territories 58-90p. *In: Kim S-K, Handbook of Marine Macroalgae: Biotechnology and Applied Phycology*. John Wiley & Sons, 608p.
- Bravo, L. (1998).** Polyphenols: Chemistry, Dietary Sources, Metabolism, and Nutritional Significance. *Nutrition Reviews*, 56 (11): 317-333.
- Broadasky, T. F., Lewis, C., Eble, T.E. (1976).** Bioautographic thin-layer chromatographic analysis of antibiotics and their metabolites in the whole animal: 1. Clindamycin in the rat. *Journal of Chromatography*, 123: 33-44.
- Burrenson, B.J., Moore, R.E., Roller, P.P. (1976).** Volatile halogen compounds in the alga *Asparagopsis taxiformis* (Rhodophyta). *J. Agric. Food. Chem.* 1976, 24, 856–861.
- Cabioc'h, J., Floch, J.-Y., Le Toquin, A., Boudouresque, C.-F., Meinesz, A., Verlaque, M. (2006).** Guide des algues des mers d'Europe, manche, atlantique, méditerranée, Les guides du naturaliste. Edition Delachaux & Niestle. Ed 1, p 272.

- Chakraborty, K., Lipton, AP., Raj, RP., Vijayan., KK. (2010).** Antibacterial labdane diterpenoids of *Ulva fasciata* Delile from southwestern coast of the Indian Peninsula, *Food Chem.* 119, 2010, 1399-1408.
- Chandini, KS ., Ganesan, P ., Bhaskar, N. (2008).** Antioxydant properties of methanol extract and its solvent frations obtained from selected Indian red seaweeds. *Bioresouces Technology.* 99 : 2717-2723.
- Chew, Y . L ., Y. Y ., M.Omar, K. S. Khoo. (2008).** Antioxidant activity of three edible seaweeds from two areas in south East Asia. 41 : 1067-1072
- Chiheb, I ., Riadi H, Martinez-Lopez J, Dominguez S.J. F., Gomez V. J. A., Bouziane H. & Kadiri M. (2009).** Screening of antibacterial activity in marine green and brown macroalgae from the coast of Morocco. *African Journal of Biotechnology*, 8 (7): 1258-1262.
- Chojnacka, K ., Agnieszka, S ., Zuzanna, W ., Lukasz, T. (2012).** Biologically active Compounds in Seaweeds extracts –the Prospects for the Application. *The Open Conference Proceedings Journal.* 3 : p 20-28.
- Chouder, N. (2006).** Contribution à l'étude des flores intestinales des poulets conventionnels sains. *Thèse de magister en médecine vétérinaire*, Université Mentouri Constantine. Algérie.
- Cox, S., Abu-Ghannam N. & Gupta S. (2010).** An assessment of the antioxidant and antimicrobial activity of six species of edible Irish seaweeds. *International Food Research Journal*, 17: 205-220.
- Demirel, Z ., Yilmaz-Koz, F. F., Karabay-Yavasoglu N., Ozdemir G. & Suktar A. (2011).** Antimicrobial and antioxidant activities of solvent extracts and the essential oil composition of *Laurencia obtusa* and *Laurencia obtusa* var. *pyramidata*. *Romanian Biotechnological Letters*, 16 (1): 5926-5936.
- Ekoumou, C. (2003).** Étude phytochimique et pharmacologique de 5 recettes traditionnelles utilisées dans le traitement des infections urinaires et de la cystite. *Thèse de doctorat en pharmacie*, Université de Bamako, Mali.
- El-Omari, F., A. Mouradi, D. Lamri, D. lamrioui, M. Hadji and Th. (2013).** Givernaud. “Croissance et capacité reproductive de *Gymnogongrus patens* (Rhodophyceae, Gigartinales) de la côte atlantique marocaine”. *Afrique Science.* 09 (1) (2013) 102-119.
- Elsie, B. H., Dhanarajan M.S. & Sudha P.N. (2011).** Invitro screening of secondary metabolites and antimicrobial activities of ethanol and acetone extracts from red seaweed *Gelidium acerosa*. *International Journal of Chemistry Research*, 2 (2): 27-9.
- Etahiri, S., El kouri, A., Bultél-Poncé, V., Guyot, M., Assobhei, O. (2007).** Antibacterial bromophenol from the marine red alga *Pterosiphonia complanata*, *J. Nat. Prod. Com* #2 (7), 2007, 749-752.
- Etahiri, S., V. BULTEL-PONCE, A. Elkouri, O. Assobhei, D. Zaoui, M. Guyot. (2003).** Antibacterial Activities of Marine algae from the Atlantic Coast of Morocco, *Marine life*, 13(1-2) (2003) 3-9.
- Euzéby, J. P. (2010).** List of Bacterial Names with Standing in Nomenclature. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 47 : 13-17.
- Farid, Y., M. CHENNAOUI, O. ASSOBBEI, S. ETAHIRI. (2011).** Evaluation de l'effet u lieu de récolte des algues marines des cotes atlantiques marocaines sur l'activité antibactérienne et anti-inflammatoire Laboratoire de Biotechnologies Marine et de l'Environnement (BIOMARE), Université Chouaib Doukkali
- Favier, A. (2003).** Le stress oxydant intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *L'actualité chimique*, 1 : 108-115.
- Febles, C., I, A. Arias., A. S Hardisson Lopez., M. C. GIL-Rodriguez. (1995).** Antimicrobial activity of extracts from some canary species of phaeophyta and chlorophyta, *Phytotherapy, Research*, 9 (1995) 385-387.
- Fenical, W., & Paul V.J. (1984).** Antibacterial and cytotoxic terpenoids from green algae of family Udoteaceae *Algae in medicine and pharmacology. Hydrobiologia*, 116/117: 135-170.
- Findlay, J.A., Patil, D.A. (1986).** Antibacterial constituents of the red alga *Cystoclonium purpureum*, *Phytochemistry.* 25, 1986, 548-550.

-
- Fleurence, J., Guéant, J.L. (1999).** Les algues : une nouvelle source de protéines. *Bibliomer. Biofutur*, n°191, p.32-36.
- Freshwater, D. W. (2000).** Florideophyceae. *In* : The Tree of Life Web Project. Disponible sur : <http://tolweb.org/>
- Frestedt, J., Zenk, J., Kuskowski, M., Ward, L., Bastian, E. (2008).** A whey-protein supplement increases fat loss and spares lean muscle in obese subjects: a randomized human clinical study. *Nutrition and Metabolism*, 5 (8): 1-7.
- Gao, S.H., Li, X.M., Li, C.S., Proksch, P., Gui B. (2011).** Penicisteroides A and B, antifungal and cytotoxic polyoxygenated steroids from the marine alga-derived endophytic Fungus *penicillium chrysogenum* QUEN – 24S. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 21: 2894-2897.
- GaronLardiere, S. (2004).** Etude structurale des polysaccharides paritiaux de l'algue rouge *Asparagopsis armata* (Bonnemaisoniales). Thèse de doctorat. Université de Bretagne occidentale. 226 pages.
- Géraldine, Demoulain, Céline, Leymergie (2009).** Les algues, le trésor de la mer 3-5. Filière Nutrition et diététique.
- Glombitza, K, W., H, A, Hoppe, T., Leving, Y. Tanaka. (1979).** Antibiotics from algae Marine algae in pharmaceutical, *Science* (1979) 303-342.
- Guillard, P. (2003).** Modélisation de la thermorésistance, de la viabilité et du comportement à la recroissance de *Bacillus cereus*, en fonction de la température, du pH et de l'activité aqueuse. *Thèse de doctorat en microbiologie*, Université de Bretagne Occidentale. France.
- Guillaume, P. (2010).** Caractérisation biochimique d'exo polymères d'origine algale du bassin de Marennes-Oléron et étude des propriétés physico-chimiques de surface de microorganismes impliquées dans leur adhésion. *Thèse de doctorat en biochimie*, Université de La Rochelle, France.
- Guillaume, PIERRE. (2010).** Caractérisation biochimique d'exo polymères d'origine algale du bassin de Marennes-Oléron et étude des propriétés physico-chimiques de surface de micro-organismes impliquées dans leur adhésion.
- Guiry, M.D., Guiry, G.M. (2014).** AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org.>
- Hediat, M.H., Salama, Najat Marraiki. (2010).** Antimicrobial activity and phytochemical analyses of *Polygonum aviculare* L. (*Polygonaceae*), naturally growing in Egypt. *Saudi Journal Of Biological Sciences*: 17. 57- 63.
- Hellio, C., Marechal, J-P., Véron B., Bremer G., Clare A.S. & Le Gal Y. (2004).** Seasonal Variation of Antifouling Activities of Marine Algae from the Brittany Coast (France), *Marine Biotechnology*, 6: 67–82.
- Hornsey, I.S., Hide D. (1985).** The production of antimicrobial compounds by British marinealgae IV. Variation of antimicrobial activity withalgal generation. *British Phycology Journal* 20:21-25.
- Hornsey, I.S., Hide, D. (1974).** The production of antimicrobial compounds by British marine algae, I. Antibiotic-producing marine algae, *Br. Phycol. J.* 9, 1974, 353-361.
- Hortense, F. (2011).** Les applications et la toxicité des algues marines. *Thèse de doctorat en pharmacie*, Université de Limoges. France.
- John, W. (1994).** Concepts in Photobiology: Photosynthesis and Photo - morphogenesis". Edited by GS. Singhal, G. Renger, SK. Spory, K-D (1994). Irrgang and Govindjee, Narosa Publishers/New Delhi., and Kluwer Academic/Dordrecht, p. 11-51.
- Kannan, RRR., Manoj G. Kulkarni, Wendy A. S., Johannes Van Staden. (2014).** Bioactive Metabolites and Value-Added Products from Marine Macroalgae. University of Kwa Zulu-Natal Pitermaritzburg. p : 423-454.
- Ktari, L. (2000).** Recherche de composés actifs dans les algues marines : propriétés pharmacologiques et simulation du cycle biologique de l'algue et de la biosynthèse d'un métabolite. Thèse de Doctorat Université Paris VI, 148p.
- Lacolley, P. (2007).** Biologie et pathologie du cœur et des vaisseaux. John Libbey Eurotext. Ed 1. p 311.

- Lahaye, M. (1991).** Marine algae as sources of fibres: determination of soluble and insoluble dietary fibre contents in some sea vegetables. *Journal Of The Science Of Food And Agriculture*, 54 : 587-594.
- Leclerc, V. (2010).** Les secrets des algues. 1^{ère} Edition Quae, p13.
- Lee J, H., Lee, T-K., Kang R-S., Shin, H. J., Lee H-S. (2007).** The in vitro antioxidant activities of the bromophenols from the red alga *Tichocarpus crinitus* and phenolic derivatives. *Journal of the Korean Magnetic Resonance Society*, 11: 56-63.
- Lesueur, D., Serra, D.de Rocca., Bighelli, A., Hoi T.M., Ban, N.K., Thai, T.H., Casanova, J. (2007).** Chemical composition and antibacterial activity of essential oil of *Micheliafaveolata* Merryll ex Dandy from Vietnam. *Flavour and Fragrance Journal*, 22 : 317-321.
- Li, Y.X et Kim, SK. (2011).** Utilization of seaweeds derived ingredients as potential antioxidant and functional ingredients in the *Food industry : An Overview*. 20(6) ., 1461-1466.
- Liu, M., Hansen, P. E. & Lin, X. (2011).** Bromophenols in Marine Algae and Their bioactivities *Marine Drugs*, 9: 1273-1292.
- Maria, Kladi., Constantinos, Vagias., Vassilios, Roussis (2005).** Volatile halogenated metabolites from marine red algae. Department of Pharmacy, University of Athens, Division of Pharmacognosy and Chemistry of Natural Products, Panepistimiopolis Zografou, Athens 157 71, Greece.
- McConnell, O., Fenical, W.** Halogen chemistry of the red alga *Asparagopsis*. *Phytochemistry* 1977, 16, 367-374 REICHEL J. L., BOROWITZKA M. A. Antimicrobial activity from marine algae: Result of a large screening programme. *Hydrobiol.* 1984, 116/117 : 158-168.
- McHugh, Dennis J. (2003).** A guide to the seaweed industry. FAO fisheries technical paper. p : 441.
- Mohamed, S., Hashim, S.N., Rahman, A.H. (2012).** Seaweeds: A sustainable functional food for complementary and alternative therapy. *Trends in Food Science & Technology*, 23: 83-96.
- Moujahid, A., B, Bencharki, L., Hilali, A., Bagri, L., Najim. (2004).** Activités anti bactérienne et antifongique des extraits d'algues marines d'origine marocaine.
- Nabors, M. (2009).** Biologie végétale structure, fonctionnement et biotechnologies. nouveaux nabors. 614 pages.
- Nicklin, J., Graeme-Cook, K., Paget, T., Killington, R. (2000).** L'essentiel en microbiologie. Edition Berti. Ed1. 365 p.
- Noemi salvador., Amelia gomez garreta., Luca lavelli., Mariaantonia ribera. (2007).** Antimicrobial activity of Iberian macroalgae. Laboratori de Botanica, Facultat de Farmacia, Universitat de Barcelona.
- Oh, KB., Lee, JH., Chung, S.C., Shin, J., Shin, H.J., Kim, H.K., Lee, H.S. (2008).** Antimicrobial activities of the bromophenols from the red alga *Odonthalia corymbifera* and some synthetic derivatives, *Bioorgan. Med. Chem. Lett.* 18, 2008, 104-108.
- Ohta, K. (1979).** Chemical studies on biologically active substances in seaweeds, *Proc. Int. Seaweed Symp.* 9, 1979, 401-412.
- Ömer ERTÜRK., Beyhan TAŞ. (2011).** Antibacterial and Antifungal Effects of Some Marine Algae. Department of Biology, Faculty of Arts and Sciences, Ordu University, Cumhuriyet Campus, TR-52000 Ordu – TURKEY.
- Orari, M. (2013).** Polycopié de cours de botanique Tome I : Les organismes de thalles. Faculté des sciences de nature et de vie.
- Otero, M., Cebrian, E., Francour, P., Galil, B., Savini, D. (2013).** Surveillance des espèces envahissantes marines dans les aires marines protégées (AMP) méditerranéennes : guide pratique et stratégique à l'attention des gestionnaires. UICN. 136 pages.
- Ozenda, P. (1990).** Les organismes végétaux, 1. Végétaux inférieurs. Masson, 219 p.
- Parazols, M. (2007).** Caractérisation physico-chimique et réactivité de la phase aqueuse des nuages prélevée au sommet du puy de Dôme. *Thèse de doctorat en chimie*, Université Blaise Pascal, France.

- Paul, N.A., R, de Nys, P, D. Steinberg (2006).** Chemical defence against bacteria in the red alga *Asparagopsis armata*: linking structure with function. Marine Ecology Progress Series.
- Paul, N.A., De Nys, R., Steinberg, P.D. (2006).** Chemical defence against bacteria in the red alga *Asparagopsis armata*, Marine Ecol. 306, 2006, 87-101.
- Paul, V.J., Puglisi. (2004).** M.P. Chemical mediation of interactions among marine organisms, Nat Prod Rep. 2, 189-209.
- Pelmont, J. (1993).** Bactéries et environnement (adaptation physiologique). *Presses Universitaires de Grenoble*, 897 p.
- Person, J. (2011).** Algues, filières du futur. Edition AdebioTech. Ed 1, p 4, 59.
- Poortmans, J., Boisseau, N. (2003).** Biochimie des activités physiques. Edition De Boeck Supérieur. Ed 1. p 412-413.
- Prescott L. (1995).** Microbiologie, De Boeck Université, 1995, chap. 27 « Les Algues ». (1995).
- Rahal, K., Benslimani, A., Tali-Maamar, H., Missoum, M.F.K., Kechih-Boumar, S., Ammari, H. (2011).** Standardisation de l'antibiogramme à l'échelle nationale (médecine humaine et vétérinaire). 6ème édition. Document édité avec la collaboration de l'OMS. p192.
- Raud, P. (2003).** Etude de la diversité génétique des souches de *Klebsiella pneumoniae* productrice de la bêta-lactamase à spectre étendu (BLSE), isolé au C.H.U de Nantes, de 1990 à 2001. *Thèse de doctorat en microbiologie*. Université de Nantes, France.
- Raven, P.H., Evert, R.F., Eichhorn, S.E. (2003).** Biologie végétale, De Boeck Supérieur, 968p.
- Reviere, B. (2002).** BIOLOGIE ET PHYLOGENIE DES ALGUES, Tome 2 : EMBRANCHEMENTS, ed. Belin Sup., 255p, 352p.
- Ronald, J C ., El Maarouf-Bouteau., Bouteau-François. (2008).** ATLAS BIOLOGIE VÉGÉTALE 1. Organisation des plantes sans fleurs, algues et champignons. 7^e édition. dunodp : p :11,30.
- Saidani, Karima. (2010).** Contribution à l'étude de l'activité antimicrobienne et de l'activité antioxydante des extraits méthanoliques de quatre algues marines : *Cystoseira tamariscifolia*, *Padina pavonica*, *Rhodomela confervoides* et *Ulva lactuca* de la cote de Bejaia. Thèse magistère. Université Abderrahmane Mira. Bejaia. 86 pages.
- Salvador, N., Garreta, A.G., Lavelli, L., Ribera, M.A. (2007).** Antimicrobial activity of Iberian macroalgae. *Scientia Marina* 2007, 71, 101–113.
- Sathya, R., Kanaga, N., Sankar, P., Jeeva, S. (2013).** Antioxidant properties of phlorotannins from brown seaweed *Cystoseira trinodis* (Forsska) C. Agardh. *Arabian ournal of Chemistry*. In press. DOI: 10.1016/j.arabjc.2013.09.039
- Scheen, A.J. (2004).** Le médicament du mois Insuline glargine. *Revue médicale de Liège*, 59 (2) : 110-114.
- Schener, P.J. (1978).** Marine natural products chemical and biological perspectives. Aca-demic Press, New York. 81, 1978, 1-4.
- Sell, C. (2004).** A fragrant introduction to terpenoid chemistry. Royal Society of Chemistry (Great Britain), 410 p.
- Sharma, N., Tripathi, A. (2006).** Fungitoxicity of the essential oil of *Citrus sinensis* on post-harvest pathogens. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 22(6):587- 93.
- Siddiqui, S., Shyum, S.B.N., Usmanghani, K., Shameel, M. (1993).** Antibacterial activity and fatty acid composition of the extract from *Hypnea musciformis* (Gigartinales, Rhodophyta), Pak. J. Pharm. Sci. 6, 1993, 45-51.
- Smyrniotopoulos, V., Vagias, C., Rahman, MM., Gibbons, S., Roussis, V. (2008).** Brominated diterpenes with antibacterial activity from the red alga *Sphaerococcus coronopifolius*, J. Nat. Prod. 71(8), 2008, 1386-1392.
- Spigno, G., Tramelli, L., De Faveri, DM. (2007).** Effects of extraction time, temperature and solvent on concentration and antioxidant activity of grape marc phenolics. *Journal of Food Engineering*. 81: 200–208.

-
- Susete Pinteus ., Celso Alves ., Hugo Monteiro., Ernesto Arau, jo ., Andre, Horta ., Rui Pedrosa. (2015).** World J Microbiol Biotechnol (2015) . Asparagopsis armata and phaeococcus coronopifolius as a natural source of antimicrobial compounds.
- Tagg, J.R., Mc Given, A.R. (1971).** Assay system for bacteriocin. *Applied Microbiology*, 21: 943.
- Taskin, E., Ozturk, M. Kurt, O. (2007).** Antibacterial activities of some marine algae from the Aegean Sea (Turkey). *African Journal of Biotechnology*, 6 (24): 2746-2751.
- Tringali, C. (1997).** Bioactive metabolites from marine algae., recent results. *Current Organic Chemistry*, 1: 375-394.
- Tsao, R. (2010).** Chemistry and Biochemistry of Dietary Polyphenols. *Nutrients*, 2: 1231-1246.
- Vairappan, C.S., Suzuki, M., Ishii, T., Okino, T., Abe, T., Masuda, M. (2008).** Antibacterial activity of halogenated sesquiterpenes from Malaysian Laurencia spp, *Phytochemistry*. 69, 2008, 2490-2494.
- Valiela, I. (1995).** Marine ecological processes. Springer, 686p.
- Vermerris, W., Nicholson, R. (2006).** Phenolic compound biochemistry. Springer, 276p.
- Wafa, Chérif., M, El-Bour, O. Dali Yahia-Kefi, L. Ktari. (2011).** Screening de l'activité antimicrofouling d'algues vertes récoltées sur la côte nord tunisienne.
- Wang, G., Tang, W., Bidigare, RR. (2007).** Terpenoids as therapeutic drugs and pharmaceutical agents, Natural products: Drug discovery and therapeutic medicine. Pp, 2007, 197-277.
- Widjaja-Adhi, A.M.K ., Hosokawa, M., Miyashita, K. (2011).** Comparative antioxidant activity of edible Japanese brown seaweeds. *Journal of Food Science*, 76:104-111.
- Wijesinghe, W.A.J.P ., Jeon, You-jin. (2012).** Enzyme-assistant extraction (EAE) of bioactive components : A useful approach for recovery of industrially important metabolites from seaweeds : A review. *Fitoterapia* 83 : 6-12p.
- Xu, N., Fan, X., Yan, X., Li, X., Niu, R., Tseng, CK. (2003).** Antibacterial bromophenols from the marine red alga Rhodomela confervoides, *Phytochemistry*. 62, 2003, 1221-1224.
- Yong-Xin, L., Isuru, W., Yong, L., Se-Kwon, K. (2011).** Phlorotannins as bioactive agents from brown algae. *Process Biochemistry*, 46: 2219-2224.
- Younes F., Samira Etahiri et Omar Assobhei. (2009).** Activité antimicrobienne des algues marines de la lagune d'Oualidia (Maroc) : Criblage et optimisation de la période de la récolte. *Journal of Applied Biosciences* 24: 1543 – 1552.
- Younes, F., Etahiri S., et Assobhei O. (2009).** Activité antimicrobienne des algues marines de la lagune d'Oualidia (Maroc) : Criblage et optimisation de la période de la récolte. *J. Appl. Biosci.* 24 1543 – 1552.
- Younes. F., Samira Etahiri., Omar Assobhei. (2012).** Activité antimicrobienne des algues marines de la lagune d'Oualidia (Maroc) : Criblage et optimisation de la période de la récolte.
- Zeng, X ., Suwandi, J ., Fuller, J ., Doronila, A ., Ng, K. (2012).**Antioxidant capacity and mineral contents of edible wild Australian mushrooms. *Food Science and Technology International*. 18: 367–379.

Annexe

Annexes 1

Composition de différents milieux utilisés :

Bouillon cœur-cervele (BHIB) :

Composition :

Infusion de cervelle de veau.....	12.5g
Infusion de cœur de bœuf.....	5.0g
Peptone.....	10.0g
Glucose.....	2.0g
Chlorure de sodium.....	2.0g
Phosphatase di sodique.....	5g pH= 7.4

Préparation :

37 g par litre d'eau distillé. Stérilisation à l'autoclave à température 120C° pendant 20 min.

Mueller-Hinton :

Infusion de viande de bœuf.....	300 cm3
Peptone de caséine.....	17.5g
Amidon de maïs.....	1.5g
Agar	17g
Eau distillé.....	1000ml
PH.....	7.4

Préparation :

38 g par litre d'eau distillé. Stérilisation à l'autoclave à température 120C° pendant 20 min.

Eau physiologique :

Eau distillé1000ml

NaCl.....9g

Annexe 2

Évaluation de l'activité antibactérienne des différents extraits d'algue récoltée exprimée en diamètre d'inhibition (*mm*)

Souche bactérienne	Gram	Diamètre d'inhibition selon le solvant utilisé (mm)				Extrait d'algue fraîche
		Acétone	Hexane	Dichlorométhane	Méthanol	
<i>Staphylococcus aureus</i>	positif	14±1,41	21.5± 2,12	24.5± 1,53	16.5± 0,67	20.6±0,88
<i>Micrococcus luteus</i>		11±2,47	21±2,82	24±1,62	21.5± 1,53	25.75±1,88
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Négatif	34.5± 2,12	16.72± 0,38	16.12± 0,17	12.5± 0,70	16.5±2,12
<i>Escherichia coli</i>		17±1,42	15.5±0,71	19.5±2,46	14.5± 0,88	17.87±0,53
<i>Klebsiella pneumoniae</i>		21±1,52	16.25± 0,35	18.1± 0,14	10.65± 0,91	17.25±0,35