

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE 20 AOÛT 1955 SKIKDA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDÉS



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

Master

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie de l'environnement

*SCREENING CHIMIQUE DES MÉTABOLITES
SECONDAIRES DE QUELQUES
MACROPHYTES DU LITTORALE DE SKIKDA*

Soutenu le 20/06/2023

Réalisé par :

Younes Asma

Younsi Nour Sabah

Younsi Nour Houda

Encadré par :

Pr. CHAIB Nadjla

Année Universitaire 2022/2023

Remerciements

Avant tout, nous exprimons notre gratitude envers Dieu Tout-Puissant pour nous avoir accordé la santé, le courage, la volonté et la patience nécessaires pour réussir et progresser dans notre projet de fin de d'études. Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance envers notre superviseur, Pr. Chaïb Nadjla, qui est un véritable exemple de générosité et d'humilité. Nous souhaitons également la remercier sincèrement pour sa supervision attentive de ce travail, avec une rigueur scientifique exemplaire, sa disponibilité, ses conseils précieux, ses encouragements constants, ses corrections méticuleuses et la confiance qu'elle a placée en nous. C'est grâce à elle que nous avons pu mener à bien ce projet de fin d'études.

Nous tenons à adresser nos remerciements à tous les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de prendre part à notre défense, en prenant le temps de lire ce manuscrit et en évaluant humblement notre travail. Nous remercions tout particulièrement le président du jury et l'ensemble du comité, sans exception, pour leur rôle crucial dans ce processus.

Nous exprimons également notre sincère gratitude envers tous nos professeurs de la Faculté de technologie et méthodes d'ingénierie, en particulier nos enseignants spécialisés en génie de l'environnement, qui ont partagé leur savoir avec nous et nous ont encouragés à aller de l'avant.

Nous souhaitons également remercier chaleureusement tout le personnel du laboratoire ainsi que l'ensemble du personnel administratif pour leurs précieux conseils et leur accueil bienveillant.

Enfin, nous tenons à exprimer notre gratitude envers toutes les personnes qui nous ont apporté leur aide, de près ou de loin. Nous sommes conscients que ce travail reste à finaliser, mais nous sommes reconnaissants pour tout le soutien reçu jusqu'à présent

MERCI

Dédicace

Tout d'abord, nous exprimons notre profonde gratitude et notre reconnaissance envers Dieu Tout-Puissant pour sa force et sa patience qui nous ont permis d'accomplir cette tâche. Nous remercions sincèrement notre chère mère, Nadia, ainsi que notre père, Karim, pour avoir été la source de notre motivation et de notre persévérance à travers leur compassion, leur soutien et leurs sacrifices.

Nous prions Dieu de les protéger pour nous.

Nous ressentons également un profond amour et une grande gratitude envers nos jeunes frères, Iness et Ahmed, pour leur amour et leur présence dans nos vies. Nous tenons à remercier chaleureusement tous nos amis, Khawla, Rania, Nani, et Ikram, Manar, Maysa, pour leur soutien et leurs encouragements constants.

De plus, nous souhaitons exprimer notre gratitude envers toutes les personnes qui nous sont très chères, y compris notre famille entière. Nous n'oublions pas non plus nos camarades du Master 2 en Génie de l'Environnement 2022/2023, qui ont tous joué un rôle si important dans nos vies.

Nous dédions ce travail à tous ceux qui ont été importants dans nos vies

SABAH & HOUDA

Dédicace

*Je dédie mon travail à : La lune de mes nuits et le soleil de mes jours, ceux qui ont toujours été présents. En premier lieu, à ma chère maman **Samia** qui m'a soutenu tout au long de mes études avec ses sacrifices, son amour, sa tendresse, son soutien et ses prières. Je suis également reconnaissant pour l'âme de mon père **Ammar** qui me manque énormément.*

*À mes chers frères : **Soufiane, Marwan et Islam**, pour leur soutien constant et leurs applaudissements. Je vous souhaite un avenir rempli de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité.*

*À mes merveilleuses sœurs : **Houda, Sarah et Rayane** pour leurs encouragements continus et leur soutien moral.*

*Je souhaite également dédier ce travail à tous mes amies : **Khadidja, Hadjar, Kawther, Ikram** qui ont partagé de précieux moments avec moi et créé de beaux souvenirs.*

N'oubliez pas d'inclure mes collègues de promotion 2022/2023 du Master 2 en Génie de l'Environnement, qui ont tous joué un rôle important dans ma vie.

C'est à tous ceux qui ont un jour compté dans ma vie que je dédie ce travail.

ASMA

Résumé

Le thème de notre mémoire porte sur la caractérisation phytochimique de deux algues marines du littoral de Skikda à savoir *Fucus vesiculosus* et le *Chaetomorpha aera* dans l'objectif de leur valorisation dans différents secteurs tels que l'agriculture, la pharmacie, la cosmétique et l'environnement. Nous avons réalisé une étude de screening chimique sur ces algues afin de détecter leurs métabolites secondaires et d'extraire les composés phénoliques. Les résultats obtenus ont révélé une grande richesse en polyphénols et métabolites secondaires dans ces deux algues, bien que les proportions varient. Nous avons conclu notre étude en mettant en évidence le rôle et les avantages des différentes algues dans divers domaines.

Les mots clés : Les métabolites secondaires, Screening chimique, *Fucus vesiculosus*, *Chaetomorpha aera*, Les composés phénoliques.

ملخص

يتعلق موضوع رسالتنا بالتوصيف الكيميائي النباتي لاثنتين من الطحالب البحرية من ساحل سكيكدة، وهما *Fucus vesiculosus* و *Chaetomorpha aera*، بهدف الترويج لها في مختلف القطاعات مثل الزراعة والصيدلة ومستحضرات التجميل والبيئة الصحية. أجرينا دراسة فحص كيميائي على هذه الطحالب من أجل الكشف عن نواتجها الثانوية واستخراج المركبات الفينولية. كشفت النتائج التي تم الحصول عليها عن ثراء كبير في البوليفينول والمستقلبات الثانوية في هذين الطحالبين، على الرغم من اختلاف النسب. اختتمنا دراستنا بإبراز دور وفوائد الطحالب المختلفة في مختلف المجالات.

الكلمات المفتاحية: المستقلبات الثانوية، فحص كيميائي، *Fucus vesiculosus* ، *Chaetomorpha aera* ، المركبات الفينولية.

Abstract

The topic of our thesis relates to the phytochemical characterization of two marine algae from the Skikda coast, namely *Fucus vesiculosus* and *Chaetomorpha aera*, with the aim of promoting them in various sectors such as agriculture, pharmacy, cosmetics and healthy environment. We conducted a chemical screening study on these algae in order to detect their by-products and extract phenolic compounds. The results obtained revealed a significant richness in polyphenols and secondary metabolites in these two algae, although the proportions were different. We concluded our study by highlighting the role and benefits of different algae in various fields.

Keywords: secondary metabolites, chemical screening, *Fucus vesiculosus*, *Chaetomorpha aera*, phenolic compounds.

LISTE DES FIGURES

N°	Titres	Page
Figure I.1	<i>Ascophyllum nodosum</i>	4
Figure I.2	<i>Gracilaria spp</i>	4
Figure I.3	<i>Sargassum muticum</i>	5
Figure I.4	La structure des protéines	7
Figure I.5	La structure des lipides	8
Figure I.6	La structure des polysaccharides	8
Figure I.7	La structure des fibres	9
Figure I.8	La structure de vitamine E	9
Figure I.9	La structure de vitamine C	9
Figure I.10	La Structure des caroténoïdes	10
Figure I.11	Les métabolites secondaires	11
Figure I.12	<i>Dictyota dichotoma</i>	17
Figure I.13	Cartographie de la station de récolte (Plage de Wadi Bibi)	17
Figure I.14	Photographie de la station de récolte Plage de Wadi Bibi	17
Figure I.15	<i>Ulva lactuca</i>	19
Figure I.16	Cartographie de la station de récolte (plage de Wadi Tanji)	19
Figure I.17	Photographie de la station de récolte de plage Wadi Tanji	19
Figure I.18	<i>Porphyra umbilicalis</i>	21
Figure I.19	Cartographie de la station de récolte (plage de Wadi Tanji)	21
Figure I.20	Photographie de la station de récolte de plage Wadi Tanji	21
Figure II.1	Classification des composés phénoliques	27
Figure II.2	Structure de base des flavonoïdes	28

Figure II.3	Structure des tanins hydrolysables et les acides	30
Figure II.4	Structure chimique des tanins condensés	32
Figure II.5	Structure de base des coumarines	32
Figure II.6	Schéma montrant les différents rôles connus des composés phénoliques	34
Figure II.7	Isoprène(C ₅ H ₈) (2-méthyl-1,3-butadiène)	36
Figure III.1	Algue <i>Chaetomorpha aera</i>	38
Figure III.2	Cartographie de la station de récolte d'algue (V2W9+F67, Filfila)	39
Figure III.3	Photographie de la station de récolte (Plage Larbi Ben M'Hidi de Jan D'arc)	39
Figure III.4	Algue <i>Fucus vesiculosus</i>	39
Figure III.5	Cartographie de la station de récolte d'algue (WPWM+CP9Ain Zouit)	40
Figure III.6	Photographie de la station de récolte de plage Oued Bibi Ain Zouit	40
Figure III.7	Broyage de l'échantillon à l'aide d'un broyeur électrique	41
Figure III.8	Extraction par macération <i>Fucus vesiculosus</i>	45
Figure III.9	Extraction par macération <i>Chaetomorpha aera</i>	45
Figure III.10	Dosage des polyphénols totaux	47
Figure III.11	Extraction de polyphénols totaux	47
Figure IV.1	Détermination des polyphénols totaux sur la courbe d'étalonnage des composés phénoliques	54

LISTES DES TABLEAU

N°	Titre	Page
Tableau I.1	<i>Dictyota dichotoma</i>	16
Tableau I.2	<i>Ulva lactuca</i>	18
Tableau I.3	<i>Porphyra umbilicalis</i>	20
Tableau III.1	<i>Chaetomorpha aera</i>	42
Tableau III.2	<i>Fucus vesiculosus</i>	43
Tableau IV.1	Données pour le traçage des courbes d'étalonnages	50
Tableau IV.2	Rendement des polyphénols totaux	54
Tableau IV.3	Rendement d'extraction des composés phénoliques	55

SOMMAIRE

Introduction générale	1
Chapitre I : Valorisation des algues marines	
I.1. Introduction	3
I.2. Algues marines pharmacognosie	3
I.3. Chimie écologique des plantes aquatiques	5
I.3.1. Extraits à activité antimicrobienne	6
I.3.2. Extrait à activité antivirale	6
I.3.3. Extrait à activité anti-thrombotique	7
I.4. La composition chimique des macroalgues marines	7
I.4.1. Les protéines	7
I.4.2. Les lipides	7
I.4.3. Les polysaccharides	8
I.4.4. Les éléments minérale et oligo-éléments	9
I.4.5. Les fibres	9
I.4.6. Les vitamines	9
I.4.7. Les caroténoïdes	10
I.4.8. Les métabolites secondaires	11
I.5. Rôle des algues marines et leurs applications	11
I.5.1. Utilisations des macroalgues en agriculture	12
I.5.2. Utilisations des macroalgues en cosmétiques	13
I.5.3. Utilisations des macroalgues en domaine pharmaceutique	14
I.5.4. Utilisations des macroalgues dans le domaine Environnemental	15
I.6. Les espèces d'algues les plus fréquentes dans le littoral Skikda	16
I.7. Conclusion	22
Chapitre II : Généralités sur les métabolites secondaires	
II.1. Introduction	23
II.2. Métabolisme primaire et secondaire chez algues marines	24
II.3. Rôle biologique des métabolites secondaire	24
II.3.1. Défense contre les prédateurs	24
II.3.2. Protection contre les infections	24
II.3.3. Communication chimique	24
II.3.4. Adaptation environnementale	24
II.3.5. Interaction symbiotique	25
II.4. Accumulation des métabolites secondaires	25
II.4.1. Pressions environnementales	25
II.4.2. Interactions biotiques	25
II.4.3. Génétique et évolution	25
II.4.4. Sélection naturelle	26
II.4.5. Plasticité phénotypique	26
II.5. Les différentes classes de métabolites secondaires	26

II.5.1. Les polyphénols	26
II.5.2. Les composés phénoliques	27
II.5.3. Classification des polyphénols	28
a. Les flavonoïdes	28
b. Les tanins	29
c. Les coumarines	32
d. Les quinones	33
II.6.1. Rôles des composés phénoliques	33
II.7. Alcaloïdes	34
II.7.1. Rôles des alcaloïdes	35
II.8. Terpènes	35
A. Saponines	36
II.9. L'activité biologique des métabolites secondaires	37
II.10. Conclusion	37
Chapitre III : Matériels et Méthodes	
III.1. Objectif	38
III.2. Description des sites d'échantillonnage	38
III.3. Traitement des échantillons	40
III.3.1. Séchage	40
III.3.2. Broyage	41
III.4. Identification macroscopique à l'aide de clés d'identification	42
III.4.1. <i>Chaetomorpha aera</i>	42
III.4.2. <i>Fucus vesiculosus</i>	43
III.5. Préparation des extraits bruts	44
III.5.1. Extraction assistée par macération (EAM)	44
III.6. Dosage des polyphénols totaux	46
III.6.1. Principe	46
III.6.2. Méthodologie de mesure	46
III.7. Extraction des polyphénols totaux	47
III.8. Évaluation de rendement d'extraction	48
III.9. Screening chimique	48
III.9.1. Les flavonoïdes	48
III.9.2. Les tanins	49
III.9.3. Les coumarines	49
III.9.4. Les alcaloïdes	49
III.9.5. Les terpénoides	49
III.9.6. Saponines	49
III.9.7. Les composés réducteurs	49

Chapitre IV : Résultats et discussion	
IV.1. Introduction	50
IV.2. Présentation des résultats des différents tests phytochimiques	50
IV.3. Discussion	51
IV.4. Dosage des polyphénols totaux	53
IV.5. Rendement d'extraction des composés phénoliques	54
Conclusion générale	56
Références bibliographiques	58

The page features several parallel blue lines of varying thicknesses that run diagonally from the bottom-left corner towards the top-right corner, creating a sense of movement and depth.

Introduction générale

Introduction générale

Lorsque l'on se promène le long des plages, il est impossible d'ignorer les magnifiques couleurs de la mer. L'océan regorge de trésors, parmi lesquels les algues. Ces plantes marines sont à l'origine de la vie dans les océans et ont même contribué à la formation de la couche d'ozone grâce à la production d'oxygène. Bien que les algues présentent des similitudes morphologiques, elles sont en réalité très diverses et génétiquement différentes les unes des autres.

Depuis des siècles, les habitants des côtes et les populations asiatiques ont utilisé les algues à diverses fins. Aujourd'hui, de nouvelles espèces et de nouvelles propriétés des algues sont constamment découvertes, et elles possèdent des molécules d'un grand intérêt, notamment sur le plan industriel.

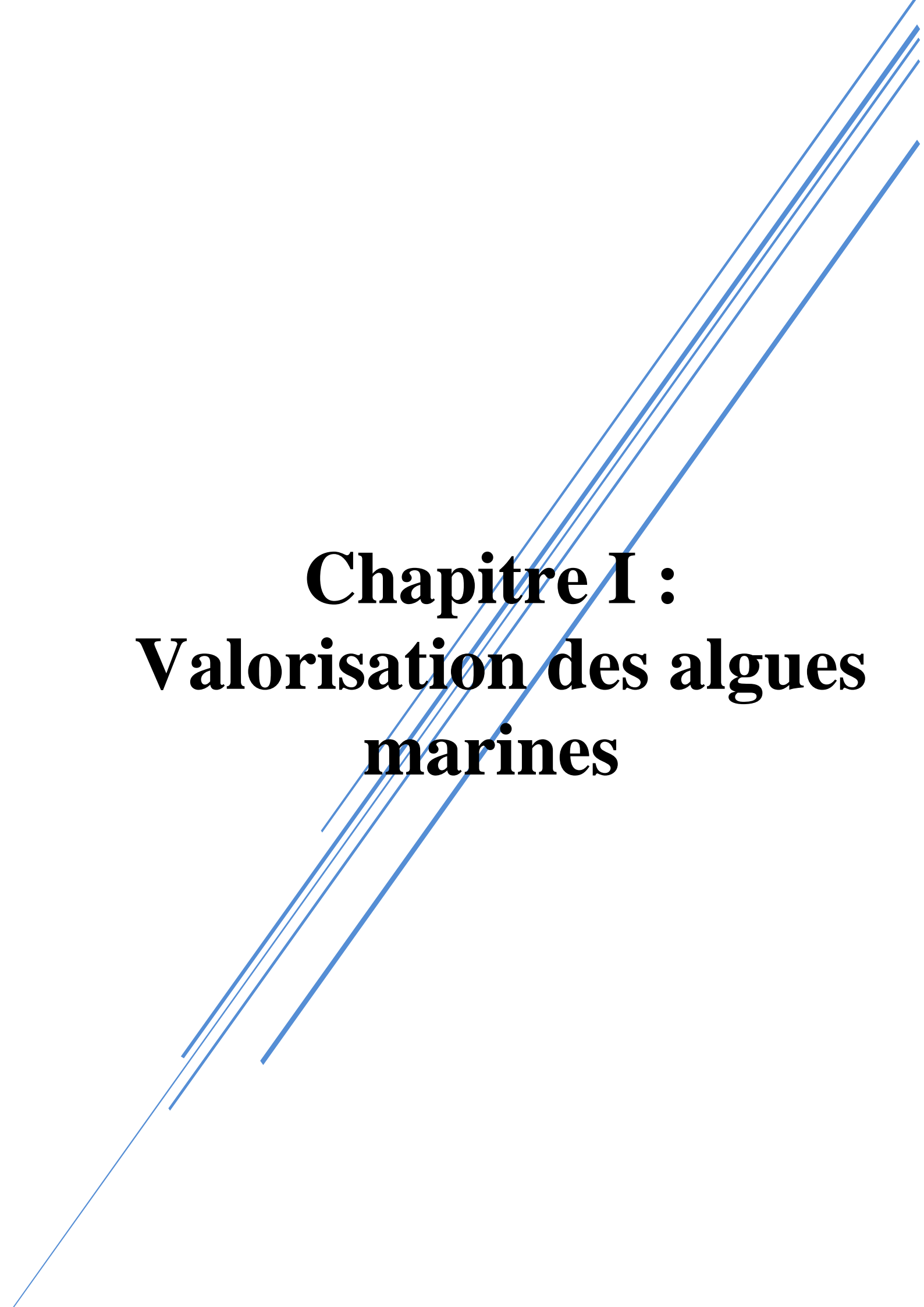
Les bienfaits de la mer sur la santé sont connus depuis longtemps, ce qui explique pourquoi les premiers touristes se baignaient en mer. Les algues, en tant que plantes marines, sont présentes dans l'eau de mer depuis l'Antiquité.

Aujourd'hui, elles suscitent un intérêt particulier dans le domaine de la cosmétique. Des macroalgues aux microalgues, de nombreuses recherches sont menées, et les résultats sont étonnants ! Les algues sont apparues sur Terre avant les bactéries et ont prouvé au fil du temps leur capacité à survivre dans des conditions extrêmes. Aucune autre plante sur Terre ne possède une telle capacité d'adaptation et de résistance. L'un des secrets de leur protection réside dans la production de molécules appelées métabolites secondaires.

Les algues sont également remarquables en termes d'hydratation. En raison des conditions de leur habitat, elles doivent conserver l'humidité pour éviter de se dessécher lors des marées hautes et basses. Parmi les organismes marins, les macroalgues jouent un rôle important en tant que source de composés biomédicaux. Leur valeur en tant que source de nouvelles substances bioactives a rapidement augmenté ces dernières années, et les chercheurs ont découvert que les algues marines sont riches en divers composés bioactifs. L'Algérie, un pays doté de riches ressources marines le long de ses 1200 kilomètres de littoral, possède un potentiel élevé pour l'utilisation des algues. Nous avons choisi deux espèces d'algues, l'algue brune *Fucus* et l'algue verte *Chaetomorpha aera*, qui ont sur le littoral de Skikda.

L'objectif de cette étude est de mettre en évidence les composés chimiques présents dans ces espèces marines, d'identifier les différents types de métabolites secondaires et d'extraire les polyphénols afin d'extraire ces composés extraits des algues. Cette étude est divisée en deux parties distinctes.

- La première partie de l'étude consiste en une synthèse bibliographique composée de deux chapitres. Le premier chapitre abordera la valorisation des algues marines, c'est-à-dire comment utiliser ces algues de manière bénéfique. Le deuxième chapitre présentera de manière générale les métabolites secondaires, qui sont des composés chimiques produits par les algues et qui ont diverses fonctions biologiques.
- La deuxième partie de l'étude est consacrée à la partie expérimentale et est également divisée en deux chapitres. Le premier chapitre fournira une synthèse des différentes méthodes et équipements utilisés dans les études antérieures, ainsi que des méthodologies adoptées. Il expliquera comment les chercheurs ont extrait les composés des algues et les ont analysés. Le deuxième chapitre présentera une synthèse de certains résultats provenant d'études préalables dans ce domaine, accompagnée de leur interprétation. Ces résultats aideront à mieux comprendre la composition chimique des algues et à caractériser les composés extraits, en mettant notamment l'accent sur les polyphénols.

The page features several parallel blue lines of varying thicknesses that run diagonally from the bottom-left corner towards the top-right corner, creating a dynamic background for the text.

Chapitre I : **Valorisation des algues** **marines**

I.1. Introduction

La valorisation des algues marines fait référence à l'exploitation et à l'utilisation des algues marines de manière bénéfique pour l'industrie, l'agriculture, l'alimentation humaine, la santé, l'environnement et d'autres domaines. Les algues marines sont des organismes photosynthétiques qui se trouvent principalement dans les océans et les mers du monde entier. Elles sont riches en nutriments, en composés bioactifs et en polysaccharides, ce qui en fait des ressources naturelles précieuses [1].

I.2. Les algues marines et pharmacognosie

Les algues marines sont des organismes photosynthétiques qui se développent dans les environnements marins. Elles sont connues pour leur diversité et leur capacité à produire une grande variété de composés chimiques. La pharmacognosie, quant à elle, est la science qui étudie les produits naturels d'origine végétale ou animale et leurs utilisations en médecine [2].

Les algues marines ont été utilisées traditionnellement dans plusieurs cultures à des fins médicinales. Leur utilisation remonte à des milliers d'années, notamment dans les médecines traditionnelles asiatiques. Au fil du temps, les chercheurs ont découvert que les algues marines contiennent une grande quantité de composés bioactifs, tels que des polysaccharides, des peptides, des polyphénols, des terpènes et des pigments, qui peuvent avoir des effets bénéfiques sur la santé [1].

De nombreuses études scientifiques ont été menées pour explorer les propriétés pharmacologiques des algues marines. Ces recherches ont révélé que certains composés extraits des algues marines présentent des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes, antivirales, anticancéreuses et immunomodulatrices. Ces propriétés font des algues marines des sources potentielles de nouveaux médicaments et de produits de santé naturels [1].

Cependant, il est important de noter que malgré les nombreux avantages potentiels des algues marines en pharmacognosie, leur utilisation clinique n'est pas encore généralisée. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre les mécanismes d'action des composés des algues marines, évaluer leur efficacité et leur innocuité, ainsi que pour développer des méthodes d'extraction et de production à grande échelle.

Voici quelques exemples d'algues marines et de leurs utilisations potentielles en pharmacologie :

- **Ascophyllum nodosum** : Également appelée varech noueux, cette algue brune est abondante sur les côtes de l'Atlantique Nord. Elle contient divers composés bioactifs, tels que les polysaccharides, les polyphénols et les acides aminés. Certains extraits d'*Ascophyllum nodosum* ont montré des activités antioxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes et anticancéreuses potentielles. Ils sont étudiés pour leur utilisation dans le développement de médicaments et de compléments alimentaires [2].



Figure I.1 : *Ascophyllum nodosum*

- **Gracilaria spp** : Ces algues rouges sont largement distribuées dans les eaux marines tempérées. Elles contiennent des polysaccharides sulfatés, qui leur confèrent des propriétés biologiques intéressantes. Les extraits de *Gracilaria* spp. ont montré des activités antivirales, anticoagulantes, antitumorales et anti-inflammatoires potentielles. Certains de ces extraits sont étudiés pour leur utilisation dans le traitement des maladies cardiovasculaires et des affections cutanées.[2]

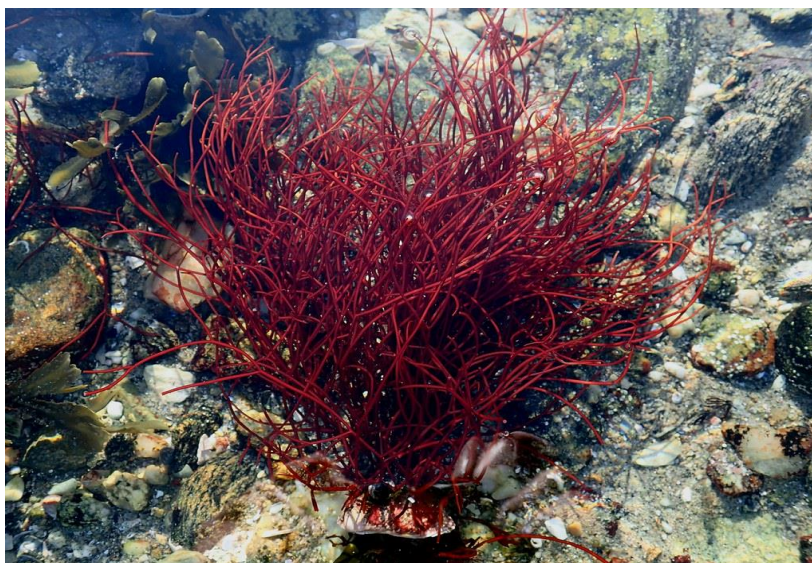


Figure I.2: *Gracilaria spp*

- **Sargassum muticum** : Cette algue brune envahissante est originaire du Japon et s'est propagée dans de nombreuses régions côtières du monde. Elle contient des composés bioactifs tels que les phlorotannins, les pigments et les polysaccharides. Certains extraits de *Sargassum muticum* ont montré

des propriétés antimicrobiennes, antioxydantes et anti-inflammatoires potentielles. Ils sont étudiés pour leur utilisation dans le développement de médicaments et de produits cosmétiques. [2]



Figure I.3: *Sargassum muticum*

Ces exemples illustrent la diversité des algues marines et leur potentiel en tant que sources de composés bioactifs pour la pharmacognosie. Cependant, il convient de noter que la recherche sur l'utilisation médicinale des algues marines est encore en cours, et de nombreux aspects doivent être approfondis avant de pouvoir les utiliser de manière clinique.

1.3.Chimie écologique des plantes aquatiques

Les études écochimiques constituent une source importante de données sur la structure et l'activité biologique des métabolites secondaires. La production de molécules qui agissent comme des messagers chimiques entre les organismes est reconnue depuis de nombreuses années. Il s'agit d'une fonction essentielle du métabolisme secondaire chez les plantes, qui explique certainement sa diversité. Ces composés sont largement utilisés par les plantes pour la défense et la pollinisation et jouent un rôle important dans le fonctionnement des écosystèmes [20].

Les messagers chimiques peuvent être divisés en phéromones, qui servent de médiateurs à des interactions spécifiques, et en substances allélochimiques, qui sont utilisées pour des interactions spécifiques. Ces derniers sont classés en trois catégories :

Il s'agit des allomones, des chylomones et des synomones. Les arômes provoquent des réponses comportementales et physiologiques défavorables à l'organisme récepteur et bénéfiques à l'organisme émetteur, les chylomones provoquent des réponses favorables à l'organisme récepteur mais défavorables à

l'organisme émetteur, et les synomones sont des médiateurs chimiques qui provoquent des interactions favorables à la fois à l'organisme émetteur et à l'organisme récepteur [21].

Bien que l'étude de l'écochimie dans les écosystèmes aquatiques d'eau douce soit moins développée que dans les environnements terrestres et marins, les composés de défense suivants ont été caractérisés ces dernières années les composés de défense produits par les macrophytes. Ces plantes utilisent des allomones pour empêcher les herbivores de les manger ou pour augmenter leur compétitivité avec le phytoplancton. Par exemple, la production de lignanes par *Saururus cernuus* L. (Saururaceae) et d'habenariol (bis-p-hydroxybenzyl-2-isobutylmalate), empêchent l'écrevisse *Procambarus clarkii* de se nourrir de ces plantes [21]. Le système glucosinolate-myrosinase est un exemple classique de défense chimique des crucifères, et pharmacologie des algues.

Les produits dérivés des produits naturels jouent un rôle important dans la recherche de nouveaux médicaments, et les algues en sont l'une des principales sources. En effet, elles constituent et produisent des métabolites secondaires, qui sont des molécules structurellement originales et biologiquement actives. Leurs propriétés antivirales, antibactériennes, antitumorales, anti-inflammatoires, antithrombotiques et antidiabétiques, ainsi que leur rôle dans la régulation du taux de cholestérol sanguin et du système immunitaire, ont également été étudiés.

I.3.1. Extraits à activité antimicrobienne

Les algues sont riches en molécules ayant une activité antimicrobienne macroscopique et microscopique. Un certain nombre d'études ont été réalisées sur l'activité antimicrobienne d'extraits riches en différents polymères matriciels. Cependant, toutes ces approches ne caractérisent que l'activité du mélange, et non des molécules pures [3]. Dans ce sens, quatre espèces, *Pterosiphonia complanta*, *Chondriada syphylla* (algues rouges), *Spatoglossum schroederi* (algues brunes) et *Enteromorpha compressa* (algues vertes) ont été étudiées. Les algues ont été étudiées. Des études ont été menées et différents extraits ont montré une activité significative contre des souches de *Staphylococcus* spp [4].

I.3.2. Extraits à activité antivirale

Les algues sont également une source naturelle d'agents antiviraux [5], et des études sur des extraits de *Laminaria abyssale* ont confirmé les propriétés antivirales des échantillons contre le virus de l'herpès simplex (HSV) ont démontré l'activité anti-HSV du xylomannane sulfaté extrait de *Scinaia hate*. Par ailleurs, certaines algues ont montré une activité antivirale intéressante, notamment contre le virus de l'immunodéficience humaine de type 1 (VIH-1) [6].

I.3.3. Extraits à activité anti-thrombotique

Les algues sont une source de polysaccharides sulfatés aux propriétés antihémostatiques intéressantes [7, 10] ont montré que huit polysaccharides sulfatés isolés de Chlorophyceae étaient plus efficaces que le sulfate de dermatane, un composé connu pour son activité antihémostatique que le sulfate de dermatane, un composé connu pour son activité anti-thrombotique. En général, le fucoidan a attiré l'attention des médecins pour ses propriétés antithrombotiques et anticoagulantes [8].

I.4. La composition chimique des macroalgues marines

Les macroalgues diffèrent significativement des plantes terrestres par leur composition chimique et physiologique et leurs caractéristiques morphologiques, et leur composition varie fortement en fonction de l'espèce, de la saison, des conditions de croissance et du stress [9].

I.4.1. Les protéines

La teneur en protéines des algues est variable [11]. La teneur en protéines varie selon les espèces. Les algues brunes ont une teneur limitée en protéines (5-11% de la matière sèche), ce qui n'est pas le cas des algues rouges, dont certaines sont riches en protéines (30-40%).

Les algues rouges sont riches en protéines (30-40 % de la matière sèche). Les algues vertes, peu utilisées de nos jours, ont également une teneur élevée en protéines et peuvent atteindre 20 % de la matière sèche [9].

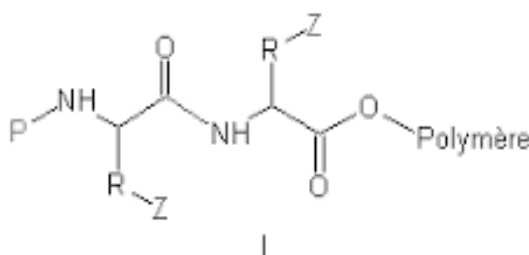


Figure I.4: La structure des protéines

I.4.2. Les lipides

. La teneur en lipides est très faible, représentant 1 à 5 % de la matière sèche de l'algue. Elle est riche en acides gras polyinsaturés, notamment en oméga-3 et oméga-6, qui jouent un rôle important dans la prévention des maladies cardiovasculaires, de l'arthrose et du diabète.

Les lipides chez des algues peuvent être divisés en trois classes :

- Les lipides neutres ;
- les glycolipides ;
- Les phospholipides [12] .

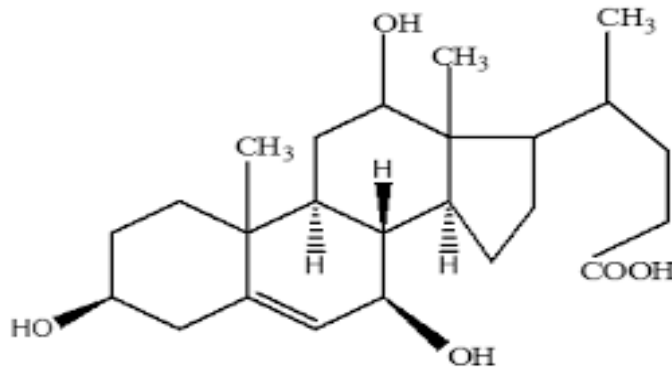


Figure I.5 : La structure des lipides

I.4.3. Les polysaccharides

Polysaccharides (polysaccharides) Le grand intérêt des macroalgues est non seulement l'abondance des polysaccharides classiques (amidon, cellulose) tels qu'on les trouve chez les plantes supérieures, mais aussi l'abondance des phycocolloïdes (18-45% de la masse sèche chez les algues brunes), qui sont des polysaccharides très spécifiques en particulier [9].

Ces polysaccharides se retrouvent dans les alginates, l'agar, le carraghénane, l'urbane et le fucoidan et sont largement utilisés dans les industries alimentaires, pharmaceutiques et autres [11]. Les polysaccharides sont aujourd'hui une source importante de composés bioactifs naturels ayant plusieurs activités biologiques. Ils présentent des activités antitumorales, anticoagulantes, antioxydantes, anti-inflammatoires, antibactériennes et antivirales [12].

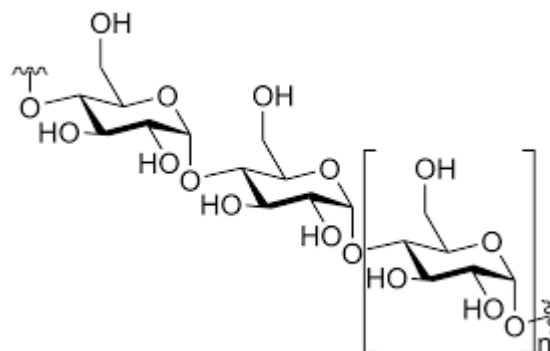


Figure I.6: La structure des polysaccharides

I.4.4. Les éléments minéraux et oligo-éléments

Les algues consomment une grande variété d'éléments minéraux provenant de la mer. La teneur en minéraux varie entre 8 et 40% de la masse sèche. La diversité comprend des macroéléments comme le sodium, le calcium, le magnésium, le potassium, le chlore, le soufre et le phosphore, et de nombreux oligo-éléments comme l'iode, le fer, le zinc, le cuivre, le sélénium, le molybdène, le fluor, le brome, le manganèse, le bore, le nickel et le cobalt [9].

I.4.5. Les fibres

Les algues contiennent des niveaux de fibres totales similaires ou légèrement plus élevés que les aliments terrestres, et ces fibres sont diverses et principalement représentées par l'agar, le carraghénane, le xylane, l'alginate, le fucane, le laminaran et l'urbane [11].

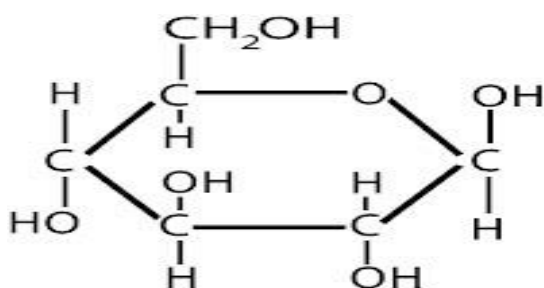


Figure I.7: La structure des fibres

I.4.6. Les vitamines

Malgré les fortes variations saisonnières et les disparités liées à la transformation des algues, la composition vitaminique des macroalgues est intéressante. Les algues rouges sont riches en vitamine A, tandis que les algues vertes sont riches en vitamine C. La vitamine E se trouve dans les algues brunes. L'intérêt principal réside dans la vitamine B12, qui est assez abondante dans les algues, contrairement à son absence totale dans les plantes terrestres [12].

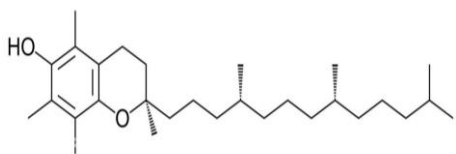


Figure I.8 : La structure de vitamine E.

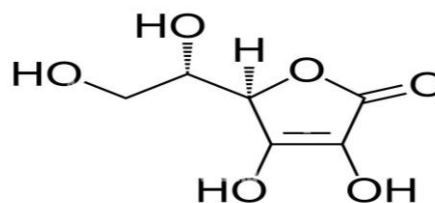


Figure I.9 : La structure de vitamine C

I.4.7. Les caroténoïdes

Les caroténoïdes sont effectivement présents dans les macroalgues, ce qui contribue à leur couleur caractéristique. Les macroalgues marines, telles que les algues brunes, rouges et vertes, contiennent une variété de caroténoïdes qui leur confèrent une palette de couleurs allant du vert au brun, au rouge et même au violet [12].

Les macroalgues contiennent différents types de caroténoïdes, tels que le bêta-carotène, la lutéine, la zéaxanthine, la fucoxanthine et d'autres. Ces caroténoïdes jouent un rôle important dans les macroalgues en tant que pigments photosynthétiques, captant la lumière pour la photosynthèse et protégeant les algues contre les dommages causés par les rayons ultraviolets [10].

La fucoxanthine est un caroténoïde spécifique des algues brunes, telles que le kombu, le wakame et le varech. Elle est responsable de leur couleur brun foncé. La fucoxanthine présente un intérêt particulier en raison de ses propriétés potentielles pour la santé, notamment dans la gestion du poids et la santé métabolique [11].

Les caroténoïdes présents dans les macroalgues marines offrent également des avantages pour la santé humaine. Ils sont connus pour leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et anticancéreuses. Ils peuvent aider à réduire les dommages causés par les radicaux libres, à soutenir la santé cardiovasculaire, à renforcer le système immunitaire et à protéger la santé des yeux [10].

Il convient de noter que la composition exacte des caroténoïdes peut varier d'une espèce d'algue à l'autre et peut également être influencée par des facteurs environnementaux tels que la lumière, la température et la disponibilité des nutriments. La préparation culinaire des macroalgues peut également avoir un impact sur la biodisponibilité des caroténoïdes et d'autres composés bénéfiques [12].

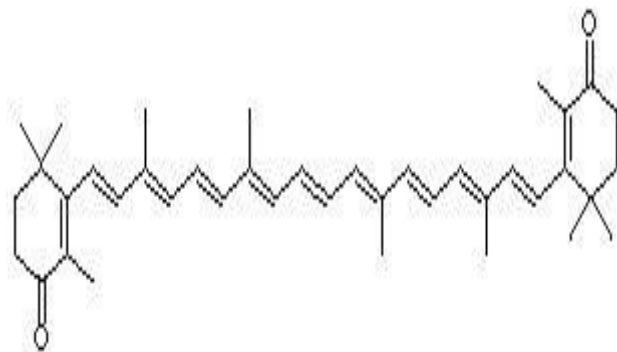


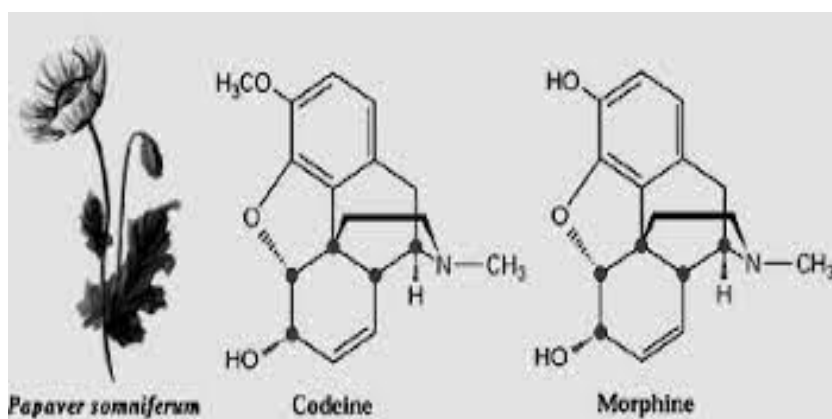
Figure I.10 : La Structure des caroténoïdes

I.4.8. Les métabolites secondaires

Les métabolites secondaires sont des composés chimiques produits par les organismes vivants, tels que les plantes, les animaux et les microorganismes, qui ne sont pas directement impliqués dans leur croissance ou leur développement, mais qui jouent un rôle dans leur adaptation et leur survie. Ces composés sont souvent utilisés par les organismes pour se défendre contre les prédateurs, lutter contre les maladies, attirer les pollinisateurs ou interagir avec leur environnement [34].

Elles produits par les macroalgues marines peuvent avoir diverses fonctions biologiques. Par exemple, ils peuvent agir comme des agents antimicrobiens pour protéger les algues contre les infections bactériennes ou fongiques. Certains métabolites secondaires ont également des propriétés antioxydantes, ce qui signifie qu'ils peuvent protéger les algues contre les dommages causés par les espèces réactives de l'oxygène, qui sont produites lors de la photosynthèse [34].

En plus de leurs fonctions de défense et de protection, les métabolites secondaires des macroalgues marines peuvent également présenter un intérêt potentiel pour les applications industrielles et pharmaceutiques.



FigureI. 11 : Les métabolites secondaires

I.5. Rôle des algues et leurs applications

L'importance des algues dans l'environnement aquatique découle de leur position à la base du cycle biologique de l'eau. Les algues sont le point de départ de la chaîne alimentaire qui mène aux stocks de poissons destinés à la consommation humaine. Les algues sont les seuls organismes qui utilisent l'énergie lumineuse et, à l'exception de certaines bactéries, synthétisent des hydrates de carbone et des matières organiques à partir de composants minéraux dissous dans l'environnement. Les algues ont la capacité de libérer l'oxygène des molécules d'eau au cours du processus de photosynthèse. L'oxygène ainsi libéré est utilisé pour la respiration

par les organismes aquatiques [13]. Comme l'ont montré de nombreuses études, les algues sont une source de substances macromoléculaires actives, [14] ont découvert que l'acide diméthylsulfonylpropionique, un composé extrait d'algues vertes marines, avait des propriétés anticancéreuses. Ils ont découvert que le propionate de diméthylsulfonyl, un composé extrait d'algues vertes marines, avait des propriétés anticancéreuses. Les polysaccharides sulfatés hétéromatrix, tels que le fucoïdan, sont également adaptés pour contrer la formation et le processus de croissance des tumeurs malignes [15].

Ainsi, les algues ont trouvé de nombreuses utilisations en raison de leur richesse et de leur diversité. De nouvelles espèces et propriétés ont été découvertes dans les algues, ce qui leur confère un grand potentiel pour la biotechnologie. Les algues suscitent un intérêt croissant car elles sont faciles à cultiver (elles peuvent pousser dans les eaux usées) et peuvent être récoltées rapidement. En outre, les algues poussent 100 fois plus vite que les plantes supérieures.

I.5.1 Utilisation des macroalgues en agriculture

Les macroalgues, également connues sous le nom d'algues marines, sont des plantes aquatiques qui jouent un rôle important dans les écosystèmes marins. Elles sont riches en nutriments, en minéraux et en composés bioactifs bénéfiques pour la santé humaine et animale. Ces propriétés bénéfiques des macroalgues ont conduit à leur utilisation croissante dans l'agriculture. Voici quelques utilisations des macroalgues en agriculture [16] :

- **Engrais organique** : Les macroalgues sont utilisées comme engrais organique dans l'agriculture. Elles sont riches en azote, en phosphore, en potassium et en oligo-éléments essentiels pour la croissance des plantes. Lorsqu'elles sont utilisées comme engrais, les macroalgues améliorent la fertilité du sol, favorisent la croissance des plantes, augmentent le rendement des cultures et renforcent la résistance aux maladies et aux parasites [12].
- **Amendement du sol** : Les macroalgues peuvent également être utilisées comme amendement du sol pour améliorer ses propriétés physiques et chimiques. Elles favorisent la rétention d'eau dans le sol, améliorent la structure du sol, augmentent la capacité de rétention des nutriments et stimulent l'activité microbienne bénéfique [12].
- **Biostimulants** : Les extraits de macroalgues sont utilisés comme biostimulants pour les plantes. Les biostimulants sont des substances qui stimulent la croissance et le développement des plantes, améliorent leur résistance au stress environnemental et favorisent l'absorption des nutriments. Les extraits de macroalgues sont appliqués sur les cultures pour améliorer leur vigueur, leur enracinement, leur floraison et leur fructification [12].
- **Alimentation animale** : Les macroalgues sont utilisées comme compléments alimentaires pour les animaux d'élevage tels que les bovins, les porcs, les volailles et les poissons. Elles sont riches en

protéines, en acides aminés essentiels, en vitamines et en minéraux nécessaires à la croissance et à la santé des animaux. L'ajout de macroalgues dans l'alimentation animale peut améliorer la digestion, renforcer le système immunitaire et réduire l'utilisation d'antibiotiques [12].

- **Régulateurs de croissance des plantes** : Certains composés extraits des macroalgues sont utilisés comme régulateurs de croissance des plantes. Ces régulateurs peuvent influencer la germination des graines, la croissance des racines, la floraison et la maturation des fruits. Ils sont utilisés pour améliorer le rendement des cultures, la qualité des fruits et la conservation après récolte [12].

Il est important de noter que l'utilisation des macroalgues en agriculture nécessite une gestion durable pour préserver les écosystèmes marins. Des pratiques responsables doivent être mises en place pour éviter la surrécolte et minimiser les impacts environnementaux.

I.5.2. Utilisation des macroalgues en cosmétique

Les macroalgues, également connues sous le nom d'algues marines, sont de plus en plus utilisées dans l'industrie cosmétique en raison de leurs nombreux avantages pour la peau et les cheveux. Voici quelques utilisations courantes des macroalgues en cosmétique [17] :

- **Hydratation de la peau** : Les macroalgues sont riches en polysaccharides et en acides aminés qui ont des propriétés hydratantes et nourrissantes pour la peau. Elles aident à retenir l'humidité, ce qui peut améliorer l'élasticité de la peau et réduire les signes de sécheresse.
- **Anti-âge** : Les macroalgues contiennent des antioxydants tels que les vitamines A, C et E, ainsi que des polyphénols, qui aident à protéger la peau contre les radicaux libres responsables du vieillissement prématuré. Elles peuvent également stimuler la production de collagène, ce qui peut réduire l'apparence des rides et des ridules.
- **Effets apaisants et anti-inflammatoires** : Les macroalgues ont des propriétés apaisantes qui peuvent aider à calmer les irritations de la peau, les rougeurs et les inflammations. Elles sont souvent utilisées dans les produits destinés aux peaux sensibles ou sujettes aux rougeurs.
- **Purification et détoxification de la peau** : Les macroalgues ont des propriétés détoxifiantes qui peuvent aider à éliminer les toxines de la peau, favorisant ainsi une peau plus saine et éclatante. Elles peuvent également aider à réduire l'apparence des pores dilatés.
- **Soins capillaires** : Les macroalgues sont également bénéfiques pour les cheveux. Elles peuvent nourrir et renforcer les cheveux, améliorer leur brillance et leur élasticité. De plus, elles peuvent aider à apaiser le cuir chevelu et à réduire les problèmes tels que les démangeaisons et les pellicules.

Les macroalgues sont souvent utilisées dans les cosmétiques sous forme d'extraits, d'huiles ou de poudres. Elles peuvent être présentes dans divers produits, tels que les crèmes hydratantes, les sérums, les masques, les shampooings et les revitalisants capillaires [18].

Il est important de noter que la recherche sur les bienfaits des macroalgues en cosmétique est encore en cours, et les résultats peuvent varier en fonction du type d'algue utilisée, de sa concentration et de la formulation du produit cosmétique. Il est recommandé de choisir des produits de qualité provenant de marques réputées et de consulter un professionnel de la santé ou un dermatologue avant d'intégrer de nouveaux produits dans votre routine de soins de la peau [12].

I.5.3. Utilisation des macroalgues en domaine pharmaceutique

Les macroalgues, ou algues marines, présentent également un potentiel d'utilisation dans le domaine pharmaceutique en raison de leurs nombreuses propriétés bénéfiques pour la santé. Voici quelques exemples d'utilisation des macroalgues dans ce domaine [19] :

- **Antiviral et antifongique** : Certaines macroalgues contiennent des composés bioactifs tels que les polysaccharides sulfatés, qui ont démontré des activités antivirales et antifongiques. Ces composés peuvent être utilisés dans le développement de médicaments pour lutter contre les infections virales et fongiques.
- **Anti-inflammatoire** : Les macroalgues sont connues pour leur capacité à réduire l'inflammation. Les extraits d'algues marines peuvent être utilisés dans des traitements pharmaceutiques pour atténuer les symptômes de maladies inflammatoires telles que l'arthrite, la colite ou la dermatite.
- **Anticoagulant** : Certains types d'algues marines, tels que les algues rouges, contiennent des polysaccharides qui présentent des propriétés anticoagulantes. Ces composés peuvent être utilisés dans la prévention et le traitement des troubles liés à la coagulation sanguine.
- **Anticancéreux** : Des études préliminaires ont suggéré que certains extraits de macroalgues pourraient avoir des propriétés anticancéreuses. Les composés présents dans les algues marines, tels que les polysaccharides et les phénols, pourraient avoir des effets inhibiteurs sur la croissance des cellules cancéreuses. Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour évaluer leur efficacité et leur sécurité.
- **Régulation du métabolisme** : Certains types d'algues marines, tels que les algues brunes, contiennent des composés qui peuvent influencer le métabolisme et aider à réguler le poids corporel. Ces propriétés pourraient être exploitées dans le développement de traitements contre l'obésité et les troubles métaboliques.

Il convient de noter que la recherche sur les applications pharmaceutiques des macroalgues est en cours et que de nombreuses études sont encore nécessaires pour évaluer pleinement leur potentiel et déterminer les doses optimales et les mécanismes d'action. Le développement de médicaments à base de macroalgues nécessite des procédures rigoureuses de recherche, de développement et de réglementation pour garantir leur efficacité et leur sécurité [18].

I.5.4. Utilisation des macroalgues dans le domaine Environnement

Les macroalgues, également connues sous le nom d'algues marines, jouent un rôle important dans la préservation et la protection de l'environnement. Leur utilisation dans le domaine de l'environnement comprend plusieurs aspects [19] :

- **Épuration de l'eau** : Les macroalgues peuvent être utilisées pour la bioremédiation de l'eau, en particulier dans les zones côtières et les écosystèmes aquatiques. Elles absorbent les nutriments excédentaires tels que les nitrates et les phosphates, réduisant ainsi la pollution et l'eutrophisation de l'eau. Leur culture en tant que biofiltres permet de restaurer la qualité de l'eau et de favoriser la biodiversité marine.
- **Dépollution des métaux lourds** : Les macroalgues ont la capacité d'absorber et de concentrer les métaux lourds présents dans l'eau, tels que le cuivre, le plomb et le cadmium. Leur utilisation dans la dépollution des eaux contaminées par ces substances toxiques peut aider à restaurer les écosystèmes aquatiques et à protéger la vie marine.
- **Capture du carbone** : Les macroalgues sont de puissants puits de carbone. En absorbant le dioxyde de carbone (CO₂) de l'atmosphère, elles contribuent à réduire les concentrations de ce gaz à effet de serre, jouant ainsi un rôle dans la lutte contre le changement climatique. De plus, les macroalgues peuvent être utilisées pour la production de biocarburants à faible teneur en carbone, offrant une alternative renouvelable et respectueuse de l'environnement aux combustibles fossiles.
- **Restauration des habitats marins** : Les macroalgues peuvent être utilisées dans la restauration et la préservation des habitats marins, tels que les récifs coralliens et les herbiers marins. Leur présence favorise la biodiversité et fournit un abri et une source de nourriture pour de nombreux organismes marins, contribuant ainsi à la régénération des écosystèmes côtiers.
- **Utilisation durable des ressources marines** : L'exploitation des macroalgues peut fournir des alternatives durables aux ressources marines traditionnelles, telles que le bois ou les combustibles fossiles. Leur culture peut être réalisée de manière durable, en évitant les effets négatifs sur les écosystèmes marins et en assurant la préservation des populations d'algues.

Il est important de souligner que l'utilisation des macroalgues dans le domaine de l'environnement doit être réalisée de manière responsable, en prenant en compte les impacts potentiels sur les écosystèmes marins et en veillant à la durabilité de leur exploitation [17].

I.6. Les espèces d'algues les plus fréquentes dans le littoral Skikda

Le littoral est une zone riche en biodiversité, et de nombreuses espèces d'algues peuvent être trouvées dans cette région. Voici quelques-unes des espèces d'algues les plus fréquentes dans le littoral Skikda :

- **Dictyota dichotoma**

Tableau.I.1 : Tableau d'identification de l'Algue *Dictyota dichotoma* [58]

Nom latin	<i>Dictyota dichotoma</i>
Règne	Chromista
Division	Ochrophyta
Classe	Phaeophyceae
Ordre	Dictyotales
Famille	Dictyotaceae
Etymologie latine	Dichotome : les divisions se font par deux.
Lieu de récolte	Plage de Wadi Bibi
Date de récolte	15/ 05 / 2023
Description	Thalle fin rubané, d'une taille ne dépassant généralement pas 10 cm de longueur, de couleur brun jaunâtre, découpé en lanières régulièrement dichotomes et dans un même plan mais qui peuvent s'enrouler autour de l'axe principal. Le thalle est fixé par un ensemble de rhizoïdes pluricellulaires, à l'extrémité desquels se trouvent de petits disques de fixation. La croissance du thalle est apicale et est réalisée par une cellule lenticulaire, qui va se diviser parallèlement à l'axe de la fronde pour former la dichotomie. Les sporocystes sont visibles à la surface du thalle et généralement groupés en sore, mais laissant toujours une petite marge stérile.
Milieu de vie	Epilithe dans la zone médiolittorale inférieure et infralittorale.
Cycle de vie	L'espèce est particulièrement présente en été. Gamétophyte dioïque. Cycle digénétique haplodiplontique isomorphe.



Figure I.12: *Dictyota dichotoma*

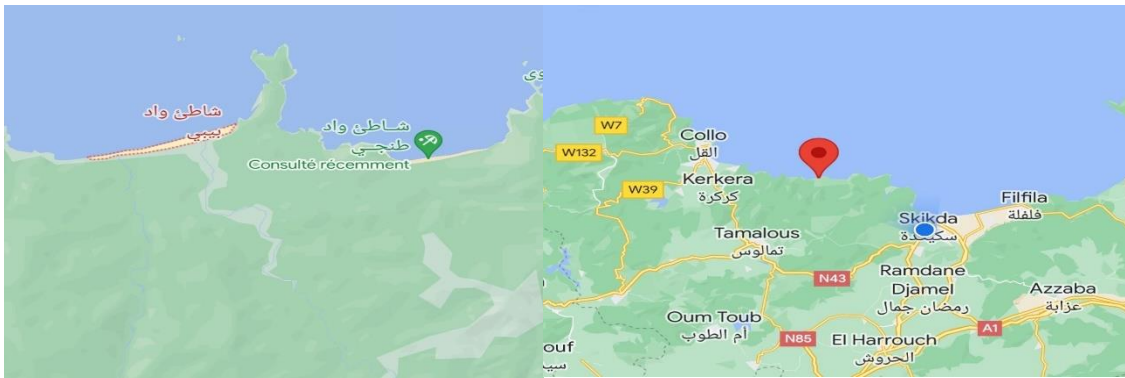


Figure I.13: Cartographie de la station de récolte(Plage de Wadi Bibi)



Figure I.14: Photographie de la station de récolte Plage de Wadi Bibi.

- *Ulva lactuca*

Tableau.I.2 : Tableau d'identification de l'Algue *Ulva lactuca* [58]

Nom latin	<i>Ulva lactuca</i>
Noms vernaculaires	Laitue de mer
Règne	Plantae
Division	Chlorophyta
Classe	Ulvophyceae
Ordre	Ulvales
Famille	Ulvaceae
Etymologie latine	Du nom ancien des algues, laitue
Lieu de récolte	Plages de Wadi Tanji
Date de récolte	15 / 05 / 2023
Description	Thalle formé d'une lame foliacée, composée de deux couches de cellules entièrement accolées, fixée par un disque et pouvant atteindre 30 cm de long. Le thalle peut présenter des formes très variées en fonction des conditions écologiques. La lame peut ainsi être plate ou ondulée. Les cellules sont disposées en groupe de 4, de forme carrée. Elles sont polygonales et renferment un unique plaste, porteur d'un seul pyrénioïde (sauf dans quelques cellules).
Milieu de vie	Epilithe, mais aussi épiphyte, de la zone supralittorale à la zone infralittorale.
Cycle de vie	Espèce annuelle. Cycle digénétique haplodiplontique isomorphe.



Figure I.15: *Ulva lactuca*

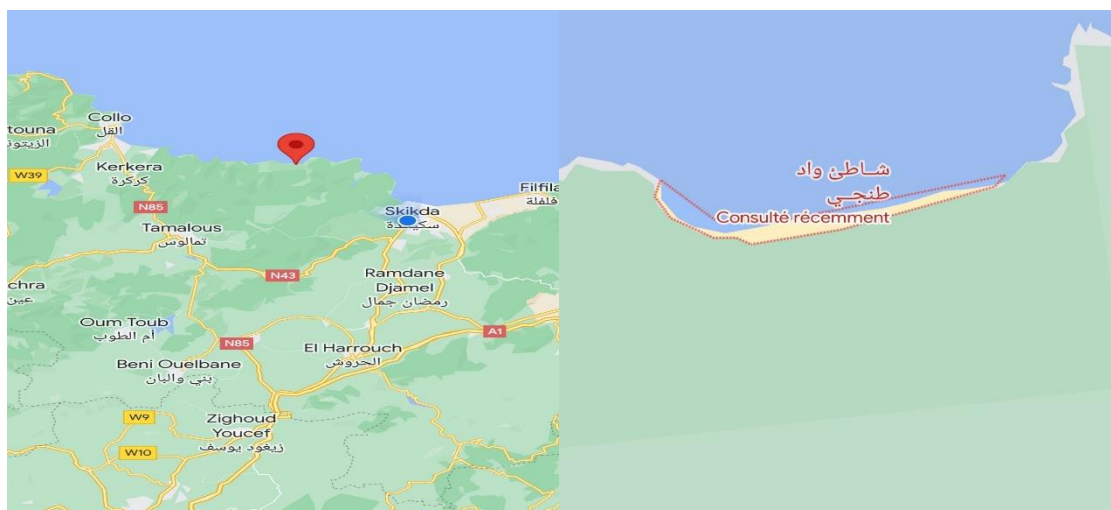


Figure I.16 : Cartographie de la station de récolte (plage de Wadi Tanji)

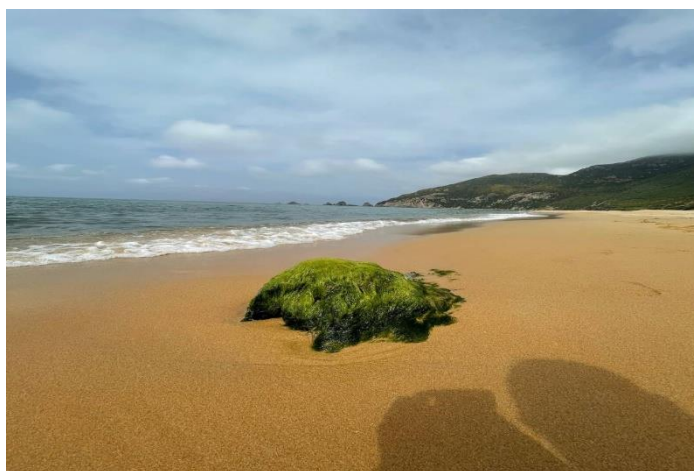


Figure I.17 : Photographie de la station de récolte de plage Wadi Tanji.

- *Porphyra umbilicalis*

Tableau.I.3: Tableau d'identification de l'Algue *Porphyra umbilicalis* [58]

Nom latin	<i>Porphyra umbilicalis</i>
Règne	Plantae
Division	Rhodophyta
Classe	Bangiophyceae
Ordre	Bangiales
Famille	Bangiaceae
Etymologie grecque	Du nom du pourpre (teinture).
Etymologie latine	Pourvu d'un ombilic.
Lieu de récolte	Plages de Wadi Tanji
Date de récolte	15 / 05 / 2023
Description	Thalle de couleur rouge-brun sombre formé d'une lame monostromatique dont les cellules sont disposées en carré et fixé par un disque à partir duquel peuvent se former des frondes filles aux marges fortement plissées, donnant ainsi l'aspect d'un « pompons ». Le pompon est la forme caractéristique de cette espèce. La morphologie est néanmoins très variée ce qui peut entraîner une confusion avec les autres espèces de <i>Porphyra spp.</i> Thalles fertiles unisexués avec des sores marginaux (mâles à marges claires et femelle à marges sombres).
Milieu de vie	Epilithe (voir épiphyte) en supralittoral et médiolittoral.
Cycle de vie	Espèce dioïque (sexes séparés). Cycle digénétique parfois considéré comme trigénétique en raison de la division du zygote. Ces divisions sont réduites à l'extrême mais formerait un petit carposporophyte.



Figure I.18: *Porphyra umbilicalis*

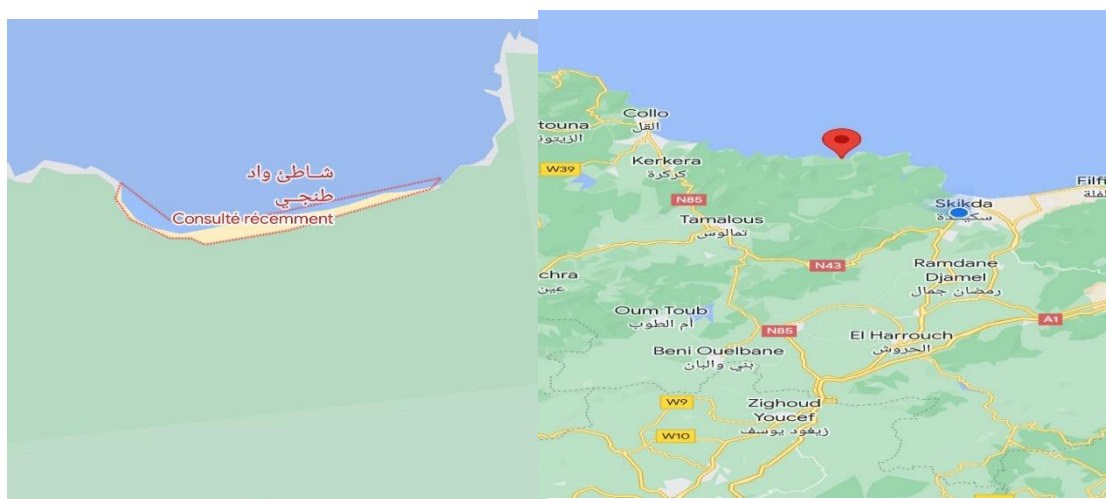


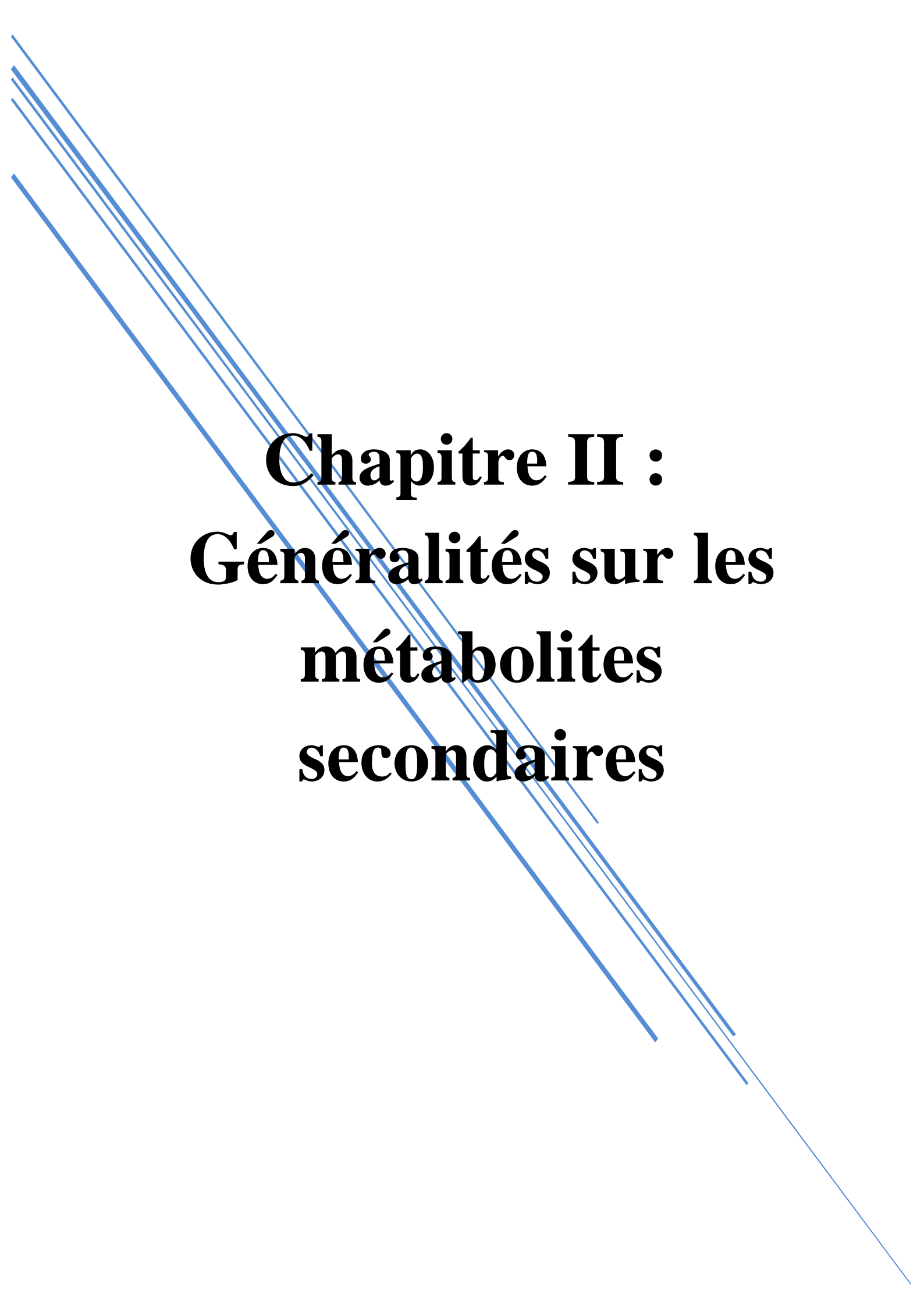
Figure I.19: Cartographie de la station de récolte (plage de Wadi Tanji)



Figure I.20: Photographie de la station de récolte de plage Wadi Tanji

I.7. Conclusion

la valorisation des algues marines présente de nombreux avantages dans différents secteurs. C'est une ressource naturelle abondante et renouvelable qui peut contribuer à une production alimentaire durable, à des produits cosmétiques naturels, à une agriculture plus productive, à des sources d'énergie alternatives et à la préservation de l'environnement. Il existe encore un grand potentiel à explorer dans ce domaine, et il est important de continuer à développer des technologies et des pratiques durables pour maximiser les bénéfices des algues marines

A decorative graphic consisting of several parallel blue lines of varying thicknesses, slanted diagonally from the top-left to the bottom-right of the page.

Chapitre II : **Généralités sur les** **métabolites** **secondaires**

II.1. Introduction

Les métabolites secondaires sont des composés chimiques produits par les organismes vivants, tels que les plantes, les animaux et les micro-organismes, qui ne sont pas directement impliqués dans leur croissance, leur développement ou leur reproduction. Les algues, en tant qu'organismes photosynthétiques, produisent également une large gamme de métabolites secondaires. Certains métabolites secondaires peuvent agir comme des agents de défense contre les prédateurs, les compétiteurs ou les pathogènes.

II.2. Métabolisme primaire et secondaire chez les algues marines

Chez les algues marines, on distingue généralement deux types de métabolisme : le métabolisme primaire et le métabolisme secondaire. Le métabolisme primaire est le processus essentiel à la survie des algues et comprend les réactions métaboliques de base nécessaires à la croissance, à la reproduction et à l'entretien cellulaire. Ces processus comprennent la photosynthèse, la respiration, la synthèse des acides aminés, la production de glucides et la fixation de l'azote [34].

La photosynthèse est la principale voie métabolique des algues marines. Elle leur permet de convertir l'énergie lumineuse en énergie chimique sous forme de glucose. Les algues utilisent le dioxyde de carbone, l'eau et la lumière solaire pour produire du glucose et de l'oxygène. Le glucose est ensuite utilisé comme source d'énergie pour les processus cellulaires et la croissance [24].

La respiration est un processus métabolique par lequel les algues utilisent le glucose et l'oxygène pour produire de l'énergie, de l'eau et du dioxyde de carbone. Cela leur permet de maintenir leur métabolisme actif et de fournir de l'énergie pour les processus cellulaires.

La synthèse des acides aminés est également un aspect important du métabolisme primaire des algues marines. Les acides aminés sont les éléments constitutifs des protéines, qui sont essentielles à la croissance et au développement des algues [24].

La fixation de l'azote est un processus clé dans le métabolisme primaire des algues marines. Certaines espèces d'algues marines sont capables de fixer l'azote atmosphérique et de le convertir en composés organiques utilisables. Cela leur permet de prospérer dans des environnements où l'azote est limité [34].

En plus du métabolisme primaire, les algues marines peuvent également avoir un métabolisme secondaire. Le métabolisme secondaire comprend les réactions métaboliques qui produisent des composés chimiques spécifiques qui ne sont pas directement impliqués dans les processus de base de la croissance et de la reproduction. Ces composés peuvent jouer un rôle dans la défense contre les prédateurs, l'adaptation à des conditions environnementales changeantes et la communication chimique entre les organismes.

Certains exemples de métabolisme secondaire chez les algues marines incluent la production de pigments, tels que les chlorophylles et les caroténoïdes, qui sont responsables de la coloration des algues. Les algues marines produisent également des composés chimiques tels que les terpènes, les phénols et les polyphénols, qui peuvent avoir des propriétés antioxydantes, antimicrobiennes ou antifongiques [34].

II.3. Rôle biologique des métabolites secondaires

Les métabolites secondaires jouent un rôle biologique important chez les algues marines et d'autres organismes. Ces composés chimiques, produits par les algues, ne sont pas directement impliqués dans les processus de base de la croissance et de la reproduction, mais ils ont diverses fonctions adaptatives. Voici quelques rôles biologiques des métabolites secondaires chez les algues marines [26].

II.3.1. Défense contre les prédateurs

Les métabolites secondaires peuvent servir de mécanismes de défense chimique contre les prédateurs. Certains composés chimiques produits par les algues marines ont des propriétés toxiques ou répulsives, ce qui dissuade les herbivores et les prédateurs de les consommer. Ces métabolites peuvent également avoir des effets antiparasitaires, empêchant l'attachement ou la croissance de parasites [26].

II.3.2. Protection contre les infections

Certains métabolites secondaires ont des propriétés antimicrobiennes, antifongiques ou antivirales. Ils permettent aux algues marines de se protéger contre les infections bactériennes, fongiques ou virales, qui pourraient endommager leurs tissus ou entraver leur croissance [34].

II.3.3. Communication chimique

Les métabolites secondaires peuvent servir de signaux chimiques pour la communication inter- et intra-espèces. Ils peuvent jouer un rôle dans la reconnaissance des partenaires sexuels, l'attraction des pollinisateurs ou la communication entre les individus d'une même espèce [26].

II.3.4. Adaptation environnementale

Certains métabolites secondaires permettent aux algues marines de s'adapter à des conditions environnementales changeantes. Par exemple, certains composés peuvent protéger les algues contre les dommages causés par les rayons UV du soleil, les températures élevées, la salinité ou les variations de la pression osmotique [26].

II.3.5. Interaction symbiotique

Les métabolites secondaires peuvent également jouer un rôle dans les interactions symbiotiques entre les algues marines et d'autres organismes, tels que les coraux ou les éponges. Les composés chimiques produits par les algues peuvent favoriser la formation de ces associations symbiotiques et contribuer à la santé et à la survie des organismes impliqués [34].

II.4. Accumulation des métabolites secondaires et leur évolution

L'accumulation de métabolites secondaires chez les algues marines peut être influencée par plusieurs facteurs, tels que l'environnement, les interactions biotiques, la génétique et l'évolution. Voici quelques aspects importants liés à l'accumulation des métabolites secondaires et à leur évolution chez les algues marines [37].

II.4.1. Pressions environnementales

Les conditions environnementales, telles que la disponibilité des nutriments, la température, l'intensité lumineuse, la salinité et les perturbations physiques, peuvent influencer l'accumulation de métabolites secondaires chez les algues marines. Les variations environnementales peuvent déclencher la synthèse de certains métabolites secondaires en réponse au stress, à la compétition ou à d'autres facteurs environnementaux [24].

II.4.2. Interactions biotiques

Les interactions avec d'autres organismes, tels que les herbivores, les prédateurs, les parasites ou les symbiotes, peuvent également influencer l'accumulation de métabolites secondaires chez les algues marines. Par exemple, la présence d'herbivores peut stimuler la production de métabolites toxiques ou répulsifs pour se protéger contre la consommation. De plus, les interactions toxiques ou répulsifs pour se protéger contre la consommation. De plus, les interactions symbiotiques avec des organismes tels que les bactéries, les champignons ou les animaux peuvent influencer la production de métabolites secondaires [37].

II.4.3. Génétique et évolution

L'accumulation de métabolites secondaires chez les algues marines est également influencée par la génétique et l'évolution. Les métabolites secondaires sont souvent le produit de voies métaboliques spécifiques, contrôlées par des gènes spécifiques. Des variations génétiques peuvent influencer la production, la diversité et la quantité de métabolites secondaires chez les algues marines. Au fil du temps, ces variations génétiques peuvent conduire à l'évolution des métabolites secondaires et à leur adaptation à des conditions environnementales ou à des interactions spécifiques [26].

II.4.4. Sélection naturelle

L'accumulation de métabolites secondaires chez les algues marines peut être façonnée par la sélection naturelle. Certains métabolites secondaires confèrent des avantages sélectifs aux algues marines, tels que la protection contre les prédateurs, les compétiteurs ou les infections. Les algues marines produisant des métabolites secondaires bénéfiques ont plus de chances de survie, de reproduction et de transmettre leurs caractéristiques à la génération suivante, favorisant ainsi l'évolution de ces métabolites [26].

II.4.5. Plasticité phénotypique

Les algues marines peuvent également présenter une plasticité phénotypique, ce qui signifie qu'elles peuvent ajuster leur accumulation de métabolites secondaires en réponse à des signaux environnementaux. Cette plasticité leur permet de s'adapter rapidement aux changements environnementaux et d'optimiser leur survie et leur reproduction. convient de noter que l'accumulation des métabolites secondaires chez les algues marines est un processus complexe et dépendant de plusieurs facteurs interagissant les uns avec les autres [34].

II.5. Les différentes classes de métabolites secondaires

II.5.1. Les polyphénols

Les polyphénols d'algues sont également appelés phlorotannins. Ils diffèrent des plantes terrestres parce que les polyphénols algaux sont dérivés d'unités de phloroglucinol (1,3,5-trihydroxybenzène), alors que les polyphénols des plantes terrestres sont dérivés de l'acide gallique et de l'acide ellagique. L'activité biologique étendue des phlorotannins est attribuée à leur diversité structurelle et à la diversité de leur degré de polymérisation [25]. Les algues brunes ont la teneur en polyphénols la plus élevée, allant de 5 à 15 % du poids sec [33].

- **Biosynthèse des polyphénols :**

Les composés phénoliques sont obtenus par deux voies principales. La voie du shikimate (acide shikimique) : dans cette voie, les précurseurs phénoliques sont produits par désamination de la phénylalanine. La voie de biosynthèse suivante est appelée voie des phénylpropanoïdes, qui permet la formation des principaux acides hydroxycinnamiques et donne accès aux principales classes de composés phénoliques par le biais de plusieurs transformations [29].

• **Voie de l'acide acétique :**

Produit des poly-2-cétoesters de différentes longueurs, appelés polyacétates, et une cyclisation pour produire des composés polycycliques tels que les isocoumarines et les quinones [22].

II.5.2. Les composés phénoliques

sont des métabolites présents dans de nombreux organismes, y compris les algues. Les algues sont connues pour contenir une variété de composés phénoliques qui jouent un rôle important dans leur adaptation à l'environnement marin.

Les composés phénoliques dans les algues sont généralement classés en deux grandes catégories: les phénols simples et les phénols polyphénoliques [29].

- **Les phénols simples :** comprennent des composés tels que l'acide phénolique, le phénol, la tyrosine et la tyramine. Ces composés sont souvent impliqués dans des processus de défense contre les prédateurs et les pathogènes. Ils peuvent également agir comme antioxydants, protégeant les algues contre les dommages oxydatifs causés par les conditions environnementales défavorables [33].
- **Les phénols polyphénoliques :** sont une classe plus diversifiée de composés phénoliques présents dans les algues. Ils comprennent des substances telles que les flavonoïdes, les tanins et les acides phénoliques dérivés. Ces composés jouent un rôle essentiel dans la protection contre les rayonnements UV, la régulation du stress oxydatif et la défense contre les herbivores et les pathogènes. Certains

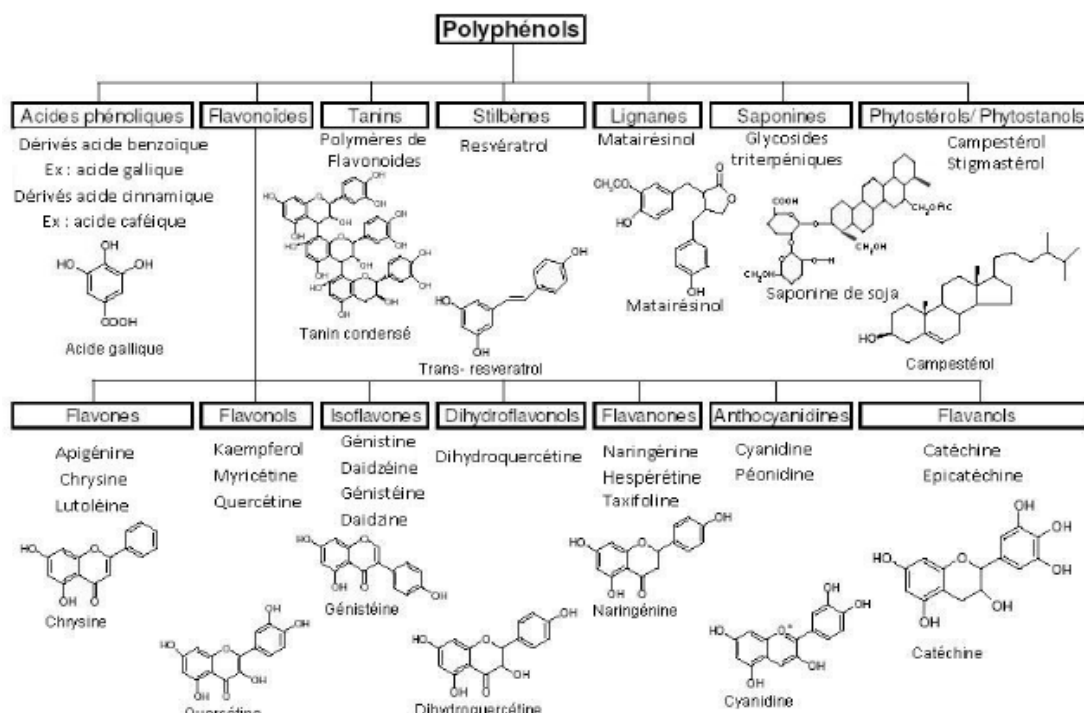


Figure II.1: Classification des composés phénoliques

phénols polyphénoliques peuvent également présenter des activités antivirales, antimicrobiennes et anti-inflammatoires [33].

II.5.3. Classification des polyphénols

a. Les flavonoïdes

Le nom de flavonoïde est dérivé du mot latin Flavus, qui signifie jaune. Les flavonoïdes appartiennent à la famille des polyphénols et sont considérés comme des pigments presque universellement présents dans les plantes [27].

Les flavonoïdes sont responsables des couleurs vives des fleurs, des fruits et des feuilles, et de la protection des tissus contre les rayons UV [27].

Les flavonoïdes sont solubles dans l'eau et le méthanol, mais pas dans les solvants organiques. Ils sont très solubles en milieu alcalin, généralement de couleur jaune et disparaissent en présence d'acides [36].

La structure de base des flavonoïdes est un diphenylpropane à 15 carbones avec deux cycles aromatiques [38], lettre A dans la voie de l'acide acétique et lettre B dans la voie de l'acide shikimique, reliés par un cycle hétérocyclique oxygéné lettre C [28].

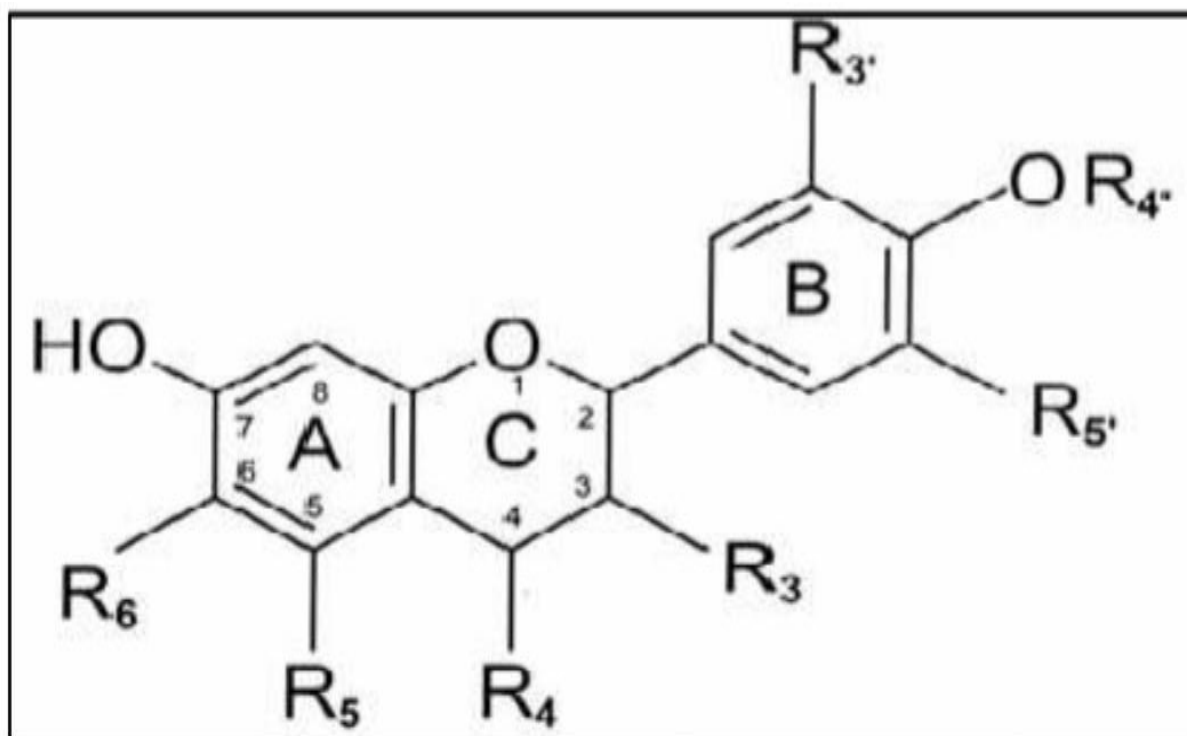


Figure II.2: Structure de base des flavonoïdes **R** : Radical.

Les flavonoïdes sont constitués d'un groupe ose-réducteur attaché à une substance non glucidique appelée aglycone ou génine, qui peut exister sous forme libre ou sous forme d'hétéroside. La liaison génine-ose existe

entre le groupe hydroxyle phénolique ou le groupe hydroxyle du cycle hétérocyclique contenant de l'oxygène et le -OH ou -CH de la fonction hémiacétale osseuse. On obtient alors des O- ou C-hétérosides .

Les flavonoïdes sont divisés en une famille de 15 composés dont les plus importants sont les flavones, les flavonols, les flavanonols, les flavanones, les dihydroflavanols, les isoflavones, les chalcones, les aurones et les anthocyanes [27]. Chaque sous-classe de composés se distingue par le nombre, la position et la nature des deux anneaux aromatiques A et B et des substituants sur l'anneau intermédiaire [27]. Très communément, ces composés sont présents dans toutes les plantes vasculaires et peuvent être trouvés dans différents organes tels que les racines, les tiges, le bois, les feuilles, les fleurs et les fruits.

b. Les tanins

Les tanins sont des composés chimiques d'origine végétale, appartenant à la classe des polyphénols. Ce sont des substances solubles dans l'eau ou dans des solvants organiques tels que l'éthanol. Les tanins se caractérisent par leur capacité à se lier aux protéines, aux glucides et à d'autres macromolécules, ce qui leur confère des propriétés astringentes [32] 39 38 40

Les tanins sont largement répandus dans le règne végétal et se trouvent dans diverses parties des plantes, telles que les fruits, les feuilles, les écorces, les racines et les graines. Leur présence est souvent associée à des fonctions de défense des plantes contre les herbivores, les pathogènes et d'autres agressions extérieures.

Les tanins peuvent être classés en différentes catégories en fonction de leur structure chimique et de leur origine. Les principales classifications incluent les tanins hydrolysables et les tanins condensés [40].

Les tanins hydrolysables sont des composés complexes qui peuvent être décomposés par hydrolyse en présence d'acides ou d'enzymes. Ils sont composés d'une partie phénolique et d'une partie glucidique. Les tanins hydrolysables comprennent des sous-groupes tels que les gallotanins et les ellagitanins.

Les tanins ont diverses applications et utilisations. Ils sont utilisés dans l'industrie alimentaire pour leur capacité à influencer la saveur, la texture et la stabilité des aliments. Les tanins sont également présents dans les boissons telles que le thé, le vin et le café. En médecine, ils ont été utilisés traditionnellement pour leurs propriétés médicinales, notamment en tant qu'antioxydants, anti-inflammatoires et agents antimicrobiens.

Il convient de noter que la présence et la concentration de tanins peuvent varier considérablement selon les espèces végétales et les conditions de croissance, ce qui contribue à la diversité des caractéristiques et des effets des tanins [39].

• Tanins hydrolysables

Les tanins hydrolysables, également appelés tanins galliques, sont une classe de tanins présents dans de nombreux végétaux tels que les fruits, les légumes, les grains et les plantes médicinales. Ils tirent leur nom de

leur structure chimique, qui peut être hydrolysée ou décomposée en réagissant avec des agents hydrolytiques tels que les acides ou les enzymes [38].

elles sont des polymères complexes composés principalement d'unités de gallate (acide gallique estérifié) liées entre elles par des liaisons ester. Ces unités de gallate peuvent être liées les unes aux autres pour former de longues chaînes linéaires ou ramifiées [38].

Ces tanins sont solubles dans l'eau et ont une saveur astringente, ce qui signifie qu'ils peuvent provoquer une sensation de sécheresse et de constriction dans la bouche. Ils ont également des propriétés antioxydantes et antimicrobiennes, ce qui leur confère une certaine valeur nutritionnelle et médicinale [40].

Dans l'alimentation, les tanins hydrolysables se trouvent souvent dans les fruits tels que les grenades, les raisins, les pommes et les baies. Ils peuvent contribuer à la saveur, à la couleur et à la texture des aliments. Certains extraits de tanins hydrolysables sont également utilisés comme additifs alimentaires pour leurs propriétés antioxydantes et leur capacité à prolonger la durée de conservation des aliments.

Cependant, il convient de noter que les tanins hydrolysables peuvent avoir des effets négatifs s'ils sont consommés en excès. Leur capacité à former des complexes avec certaines protéines peut interférer avec l'absorption des nutriments et entraîner des carences. De plus, leur teneur élevée dans certains aliments peut limiter l'assimilation des minéraux tels que le fer [32].

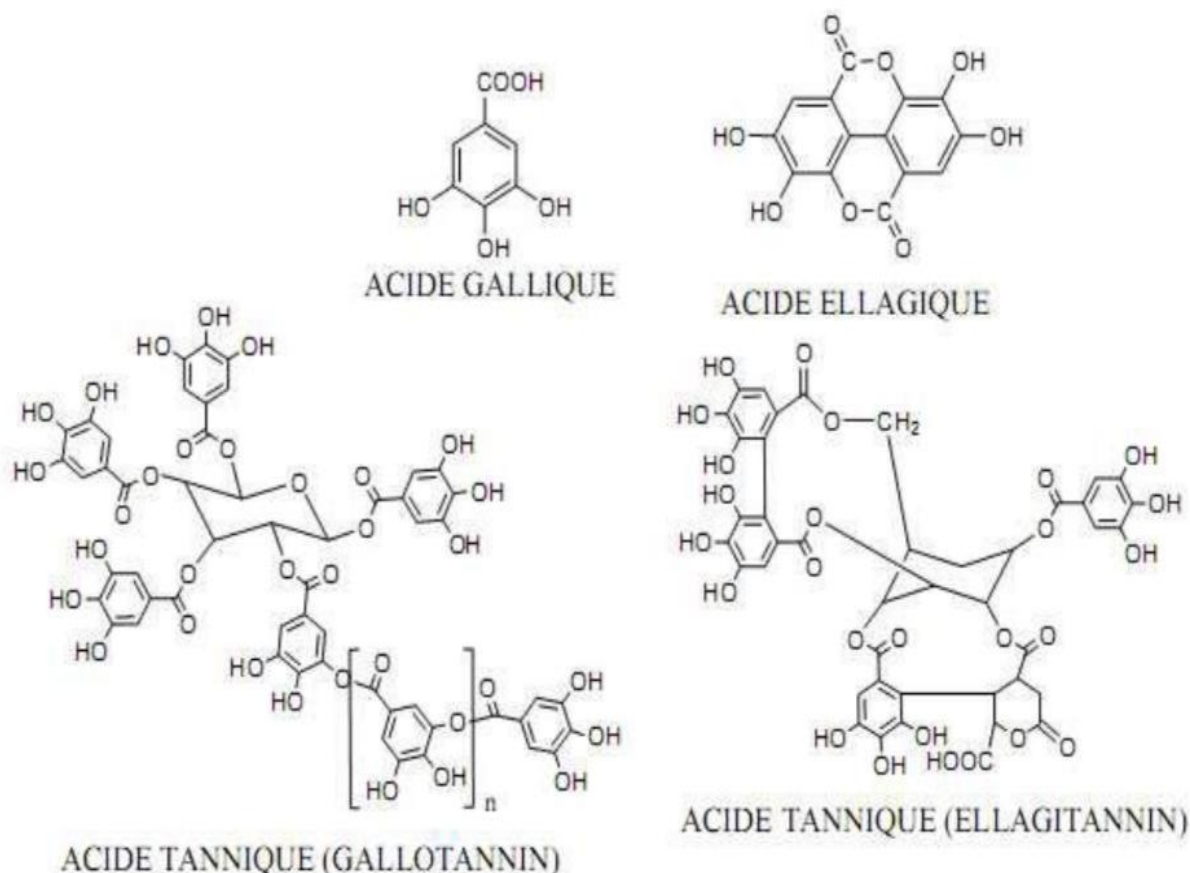


Figure II.3: Structure des tanins hydrolysables et les acides associés

- **Tanins condensés**

Les tanins condensés, également appelés tanins non hydrolysables ou tanins proanthocyanidiques, sont une classe de tanins présents dans de nombreux végétaux, tels que les fruits, les légumes, les céréales et les plantes médicinales. Contrairement aux tanins hydrolysables, les tanins condensés ne sont pas facilement décomposés par l'hydrolyse chimique.[48]

Elles sont composées de flavonoïdes appelés proanthocyanidines, qui sont des polymères de catéchines et/ou d'épicatéchines. Ces polymères peuvent varier en taille et en structure, allant des dimères aux polymères de poids moléculaire élevé [39]

Les tanins condensés sont solubles dans l'eau et ont une couleur généralement brunâtre. Ils sont responsables de la couleur et de l'astringence de nombreux aliments et boissons, tels que le vin rouge, le thé, les baies et les fruits à coque. Ils jouent également un rôle dans la stabilisation des pigments naturels et dans la protection contre les dommages causés par les rayons UV [38].

Les tanins condensés peuvent également avoir des effets sur l'absorption des nutriments. Leur capacité à former des complexes avec les protéines peut limiter l'assimilation des protéines et des minéraux, tels que le fer. Cependant, certaines études ont suggéré que les tanins condensés peuvent également avoir des effets positifs sur la santé digestive en réduisant l'activité des enzymes digestives et en favorisant la croissance des bactéries bénéfiques dans l'intestin [40].

Il est important de noter que la consommation de tanins condensés à partir d'aliments naturels est généralement sans danger et présente des avantages potentiels pour la santé. Cependant, les compléments alimentaires concentrés en tanins condensés doivent être utilisés avec prudence et sous la supervision d'un professionnel de la santé, car des doses élevées peuvent entraîner des effets indésirables, tels que des problèmes digestifs [32].

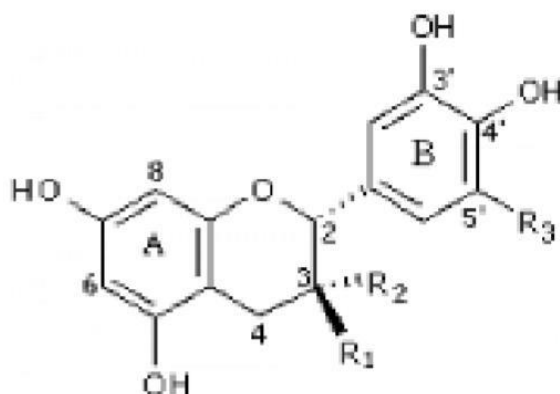


Figure II.4: Structure chimique des tanins condensés

c. Les coumarines

sont un type de métabolite secondaire, nommé ainsi d'après le nom local "coumaroo" de la fève tonka *Coumarouna Odorata* [35].

La coumarine est présente dans toutes les parties de la plante, en particulier dans les huiles essentielles des fruits et des graines. Les coumarines sont aussi souvent à l'origine d'hétérosides [23].

Les coumarines sont des substances phénoliques dont la structure de base est la benzo-2-pyrone (**Fig. II.5**) et sont largement répandues dans le règne végétal.

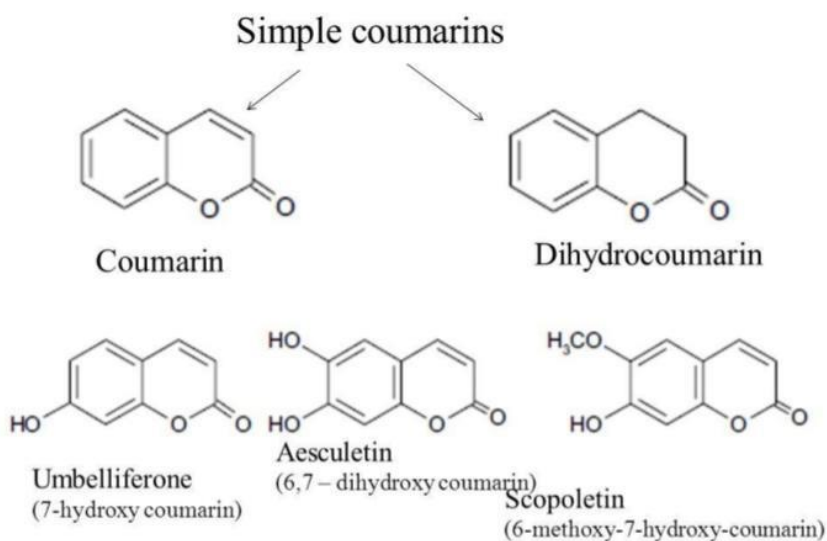


Figure II.5 : Structure de base des coumarines .

d. Les quinones

Les quinones sont un groupe de composés que l'on trouve dans divers organismes, y compris les algues. Ce sont des molécules organiques qui jouent un rôle important dans divers processus biologiques. Les quinones sont des dérivés de la structure chimique appelée quinone, qui contient généralement un ou plusieurs groupes cétone dans l'anneau benzoquinone [44].

Dans les algues, les quinones peuvent jouer différents rôles. Elles sont impliquées dans la photosynthèse, la respiration cellulaire et d'autres processus métaboliques. Les quinones sont également impliquées dans les pigments photosynthétiques et les chaînes de transfert [35].

I1.6. Rôles des composés phénoliques

- Protection contre le stress oxydatif : Les composés phénoliques agissent comme des antioxydants, protégeant les algues contre les dommages causés par les espèces réactives de l'oxygène. Les algues, en particulier celles qui vivent dans des environnements stressants tels que les zones intertidales ou les estuaires, produisent des composés phénoliques pour se protéger contre les effets néfastes des radiations UV, de l'oxydation et d'autres stress environnementaux [33].
- Défense contre les herbivores et les pathogènes : Certains composés phénoliques produits par les algues ont des propriétés antibactériennes, antifongiques et antivirales. Ces composés jouent un rôle dans la défense des algues contre les attaques des herbivores et des pathogènes. Ils peuvent inhiber la croissance des organismes nuisibles ou activer les mécanismes de défense de l'algue, tels que la production de composés toxiques ou la formation de barrières physiques [30].
- Régulation de la croissance et du développement : Les composés phénoliques peuvent également réguler la croissance et le développement des algues. Certains composés phénoliques agissent comme des régulateurs de croissance, influençant la division cellulaire, la différenciation des tissus et la formation des organes chez les algues [30].
- Interaction avec l'environnement : Les composés phénoliques jouent un rôle dans les interactions entre les algues et leur environnement. Par exemple, ils peuvent influencer l'adhérence des algues aux surfaces rocheuses ou aux substrats, facilitant ainsi leur colonisation. De plus, les composés phénoliques peuvent être libérés dans l'eau environnante par les algues, influençant la chimie de l'environnement et les interactions avec d'autres organismes [33].

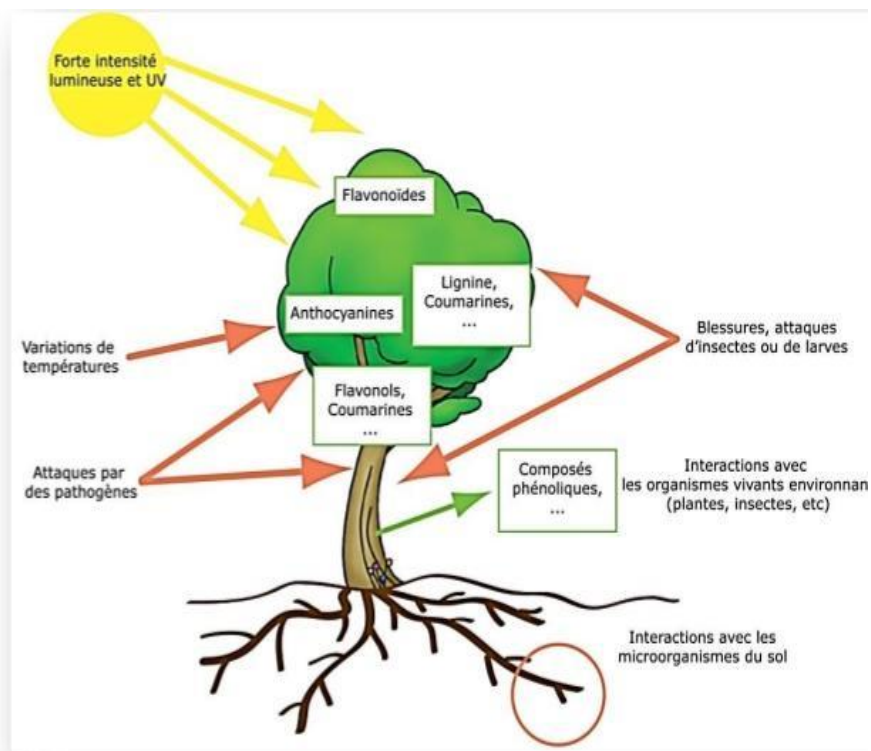


Figure II.6: Schéma montrant les différents rôles connus des composés phénoliques.

II.7. Les Alcaloïdes

Les alcaloïdes sont des molécules organiques hétérocycliques azotées d'origine végétale caractérisées par un goût amer. Leurs principaux précurseurs sont des acides aminés simples tels que la tyrosine (Tyr), le tryptophane (Trp), l'arginine (Arg.) et la lysine (Lys), qui sont stockés dans des vacuoles à l'intérieur des cellules végétales. Ils ont de nombreuses propriétés qui jouent un rôle protecteur dans les plantes et sont utilisés en médecine et en pharmacie [24].

La teneur en alcaloïdes varie d'un site à l'autre et dépend du moment de la récolte, des conditions de culture et de la région (sol, climat et autres influences). Les alcaloïdes ont été découverts pour la première fois dans la morphine en 1805. Les alcaloïdes les plus connus sont la colchicine, l'atropine et la caféine [42]

Les alcaloïdes complexes dépendent de la présence ou de l'absence d'azote dans le cycle :

- **Alcaloïdes cycliques non complexes** : rares, les plus importants étant ceux dérivés de l'aminoéthylbenzène.
- **Les alcaloïdes hétérocycliques**: sont les plus courants et peuvent être monocycliques ou polycycliques [42]

II.7.1. Rôles des alcaloïdes

Les alcaloïdes jouent plusieurs rôles importants

- Protection contre les prédateurs : les alcaloïdes peuvent agir comme des agents de défense chimique qui empêchent les prédateurs de manger les algues. Certains alcaloïdes sont toxiques pour les organismes qui tentent de manger des algues et peuvent les en empêcher [42].
- Protection contre les infections : certains alcaloïdes produits par les algues ont des propriétés antimicrobiennes. Cela signifie qu'ils peuvent inhiber la croissance des bactéries, des champignons et d'autres micro-organismes potentiellement dangereux. Les algues peuvent donc protéger contre les infections et les maladies [45].
- Communication intercellulaire : les alcaloïdes sont également impliqués dans la communication entre les cellules des algues marines. Les alcaloïdes peuvent agir comme des signaux chimiques qui régulent divers processus physiologiques, tels que la croissance, la reproduction et les réactions au stress [42]
- Activité pharmacologique potentielle : certains alcaloïdes présents dans les algues marines ont montré une activité pharmacologique prometteuse. Ils peuvent avoir des propriétés anticancéreuses, antivirales, anti-inflammatoires ou antioxydantes et leur utilisation potentielle dans le développement de médicaments suscite un intérêt croissant [25].

II.8. Les Terpènes

Les terpènes sont des métabolites secondaires des plantes, en particulier des plantes supérieures. Ils sont également présents dans d'autres types d'organismes (par exemple les algues, les mousses, les champignons et les insectes) [44]. Nombre d'entre elles ont été isolées à partir de fleurs, de tiges, de racines et de diverses parties de plantes.-Ce sont des hydrocarbures naturels de structure cyclique ou de chaîne ouverte, Leurs principales caractéristiques structurelles sont les suivantes [43].

- **Les terpénoides:** sont des hydrocarbures naturels de structure cyclique ou de chaîne ouverte. Leur principale caractéristique structurelle est la présence d'une unité isoprène à 5 carbones (C_5H_8) dans le squelette (**Fig. II.7**). En fonction du nombre d'unités Les sesquiterpènes sont formés de trois unités d'isoprène ($C_{15}H_{24}$), les di-terpènes de quatre unités d'isoprène ($C_{20}H_{32}$) et les tétraterpènes de huit unités d'isoprène, donnant des caroténoïdes. Les polyterpènes (C_5H_8)_n ou n vont de 9 à 30 [44].

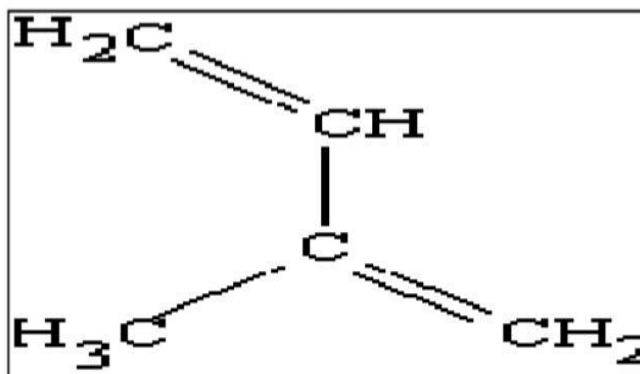


Figure II.7 : Isoprène(C₅H₈) (2-méthyl-1,3-butadiène).

- **Terpénoïdes** : terpènes ayant une ou plusieurs fonctions chimiques (par exemple alcool, aldéhyde, cétone, acide) [44].
- **Monoterpènes** : comprennent les acycliques (mylènes, oxymylènes), les monocycliques (terpinène, p-cymène) et les bicycliques (pinène, sabin). Ces terpènes ont les fonctions chimiques d'alcools (géraniol, menthol), d'aldéhydes (géraniol, citronellal, cinnaminal), de cétones (carvone, menthol, bétabétinone) et d'esters (acétate de géranyle, acétate de linalyle, acétate de sédryle, acétate d'alpha-terpinyle) [44].
- **Sesquiterpènes** : classe de terpènes la plus diversifiée, contenant plus de 3 000 molécules. Les exemples incluent la β-caryophylle, le β-bisabolène, l'α-humulène, l'α-bisabolol et le farnésol [43].
- **Caroténoïdes** : molécules à chaîne terpénique quaternaire composée de huit isoprènes, à chromophore caractéristique (au moins 10 doubles liaisons conjuguées), de couleur jaune à orange et facilement oxydables. Les caroténoïdes sont utilisés dans l'industrie alimentaire principalement pour leur pouvoir colorant, mais il faut également noter qu'ils sont recommandés en cas de photodermatose car ils interfèrent avec le processus de photo-oxydation [43].
- **Les triterpénoïdes et les stéroïdes** : sont des substances chimiques que l'on trouve dans divers organismes marins, notamment les algues, les éponges, les coraux et les étoiles de mer. Ils sont connus pour leurs propriétés biologiques et pharmacologiques intéressantes. Les triterpénoïdes marins sont des dérivés d'une unité de base appelée squalène. Ils se caractérisent par une structure en échelle de carbone composée de plusieurs anneaux. Les triterpénoïdes marins ont des structures diverses et sont connus pour leurs activités biologiques anticancéreuses, anti-inflammatoires, antivirales, antifongiques et antipaludiques [44].

A. Saponines

Les saponines sont chimiquement caractérisées par des hydrates de carbone (glucose, galactose, etc.) liés à un aglycone. La partie glucidique est généralement inerte et l'effet thérapeutique est déterminé par la deuxième

partie [31]. La fraction glucidique et la fraction aglycone sont généralement liées par une fonction éther ou ester [32].

Les saponosides font l'objet d'études approfondies depuis de nombreuses années. Ils ont plus ou moins les mêmes propriétés antivirales [35], antifongiques, antibactériennes, [32] antiprolifératives, et ont des activités biologiques telles que.

II.9. L'activité biologique des métabolites secondaires

De nombreux métabolites secondaires ont des activités antimicrobiennes, ce qui signifie qu'ils peuvent inhiber la croissance des bactéries, des champignons et d'autres microorganismes. Ces composés peuvent aider les organismes à se protéger contre les infections et les maladies. Certains métabolites secondaires ont également des propriétés antiparasitaires, antivirales, antitumorales ou anti-inflammatoires [24].

Cependant, tous les métabolites secondaires ne sont pas bénéfiques pour les organismes. Certains peuvent être toxiques pour les prédateurs ou les herbivores, agissant comme des agents de défense chimique.

Par exemple, de nombreuses plantes produisent des alcaloïdes toxiques pour dissuader les herbivores de les manger [24].

L'étude de l'activité biologique des métabolites secondaires est importante pour comprendre les interactions écologiques entre les organismes, ainsi que pour la découverte de nouveaux médicaments et produits naturels. Les chercheurs effectuent des tests *in vitro* et *in vivo* pour évaluer les effets des métabolites secondaires sur différentes cibles biologiques, tels que les enzymes, les récepteurs et les cellules. Ces études aident à déterminer le potentiel thérapeutique ou toxique des métabolites et à guider leur utilisation dans divers domaines, tels que la médecine, l'agriculture et l'industrie [21].

II.10. Conclusion

les métabolites secondaires sont des composés chimiques produits par les organismes vivants qui jouent un rôle crucial dans leur adaptation, leur défense et leurs interactions avec l'environnement. Leur diversité et leurs propriétés biologiques uniques en font des composés d'intérêt pour la médecine, l'industrie et la recherche scientifique.

The page features a decorative graphic of several parallel blue lines of varying thicknesses that run diagonally from the bottom-left corner towards the top-right corner, crossing behind the text.

Chapitre III: Matériels et méthodes

III.1. Objectif :

Les algues marines sont des plantes aquatiques qui possèdent une grande diversité de métabolites secondaires (composés phénoliques) produits pour des fonctions variées, telles que la défense contre les prédateurs. Ces métabolites secondaires ont également suscité un grand intérêt en raison de leurs propriétés pharmacologiques potentielles. Cependant, la recherche et l'identification de ces métabolites dans les algues nécessitent l'utilisation de techniques de screening chimique est une méthode utilisée pour identifier et caractériser les composés présents dans un échantillon donné dans cette partie l'extrait des plantes *Chaetomorpha aera* et *Fucus vesiculosus* utilisées comme modèles expérimentaux afin d'étudier :

- le screening des principaux métabolites secondaires qui permet de mettre en évidence la présence des principaux groupes chimiques
- l'extraction des polyphénols totaux afin d'évaluer l'activité antioxydante de nos deux espèces d'algues.

III.2. Description des sites d'échantillonnage

Les espèces sélectionnées ont été récoltées dans deux régions différentes de la wilaya de Skikda. Elles sont locales ou adventices et appartiennent à différentes familles.

- **L'algue 1 : *Chaetomorpha aera*** (Dillwyn) Kützing : a été collectée en moins de mars 2023 au niveau de Plage Larbi Ben M'Hidi de Jean D'arc, le site est localisé à la route wilaya N°21 le code de ce lieu est (V2W9+F67, Filfila).

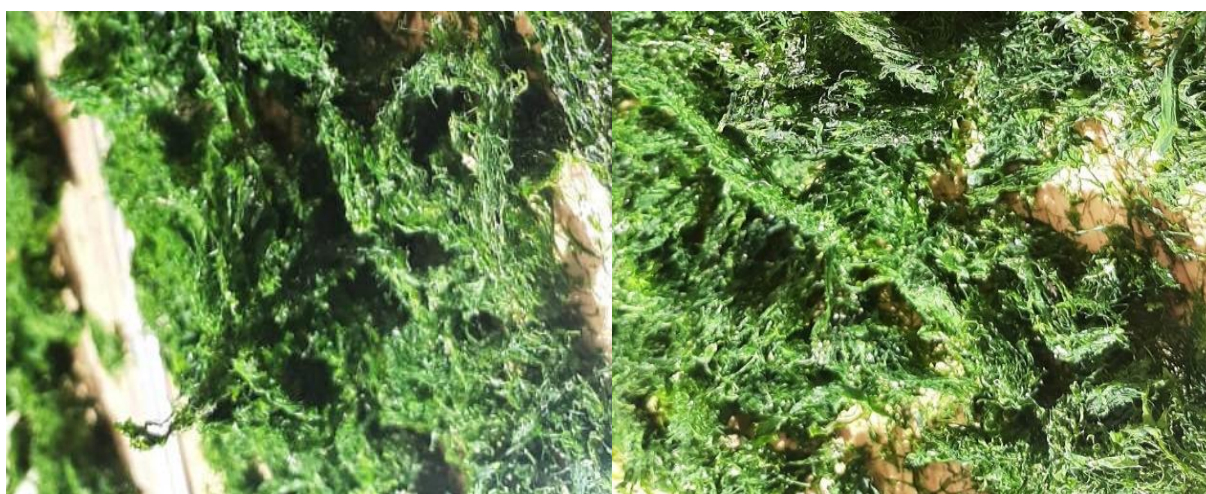


Figure III.1 : Algue *Chaetomorpha aera* (Dillwyn) Kützing.



Figure III.2 : Cartographie de la station de récolte d'algue (V2W9+F67, Filfila)



Figure III.3 : Photographie de la station de récolte (Plage Larbi Ben M'Hidi de Jan D'arc)

-**L'algue 2** : *Fucus vesiculosus* L., 1753 : a été collectée au mois de avril 2023 au niveau de plage Oued Bibi Ain Zouit à une profondeur entre 30 à 50 m environ, le code de ce lieu est (WPWM+CP9 Ain Zouit)



Figure III.4 : Algue *Fucus vesiculosus* L., 1753



FigurIII.5 : Cartographie de la station de récolte d’algue (WPWM+CP9Ain zouit)



Figure III.6 : Photographie de la station de récolte de plage Oued Bibi Ain Fouit

III.3. Traitement des échantillons

Après la récolte, l’algue a été rincée directement à l’eau de mer et déposée dans un seaux rempli d’eau de mer, puis à la main afin d’éliminer les plantes épiphytes, les parasites, les petits coquillages et les autres espèces d’algues. A ce niveau, l’espèce èce était lavée plusieurs fois à l’eau de robinet afin d’éliminer l’excès de sel, les grains de sable et autre particules étrangères puis subisse un dernier rinçage à l’eau distillées

III.3.1. Séchage

Après avoir été bien nettoyé, l’échantillon d’algue est étalé dans un endroit ensoleillé et aéré à température ambiante pour être séché pendant 15 jours, afin d’assuré une déshydratation complète

III.3.2. Broyage

Les échantillons séchés ont été broyés à l'aide d'un broyeur électrique permettant d'obtenir des poudres très fines. Plus la surface d'échange entre celles-ci et le solvant d'extraction est grande plus le rendement d'extraction est le meilleur [46].

Les poudres ainsi obtenues ont été conservées dans les flacons en verre à l'abri de la lumière jusqu'au jour de la préparation des extraits.



Figure III.7: Broyage de l'échantillon à l'aide d'un broyeur électrique.

III.4. Identification macroscopique à l'aide de clés d'identification**III.4.1. *Chaetomorpha aera*** (Dillwyn) Kützing 1849

Le tableau suivant décrit l'espèce d'algue verte marine *Chaetomorpha aera*.

Tableau III.1 : Tableau d'identification de l'Algue *Chaetomorpha aera*[58]

Nom latin	<i>Chaetomorpha aera</i>
Règne	Plantae
Division	Chlorophyta
Classe	Siphonocladophyceae
Ordre	Cladophorales
Famille	Cladophoraceae
Etymologie grecque	En forme de poil raide
Etymologie latine	Couleur de bronze
Lieu de récolte	Plage Larbi Ben M'hidi de Jan D'arc
Date de récolte	15/03/2023
Description	Thalle vert filamenteux, unisériel, rigide et non ramifié, d' <i>aaera</i> ect perlé, pouvant atteindre 15 cm de long et épais de 100 à 350 µm. Le thalle forme le plus souvent des touffes denses avec d'autres individus. Le thalle est fixé par une expansion en forme de disque de la cellule basale. Cette cellule mesure entre 300 et 900 µm. Les cellules distales ont une forme cylindrique (et non en tonnelet comme c'est le cas chez <i>Chaetomorpha melagonium</i>). Chaque cellule est une structure coenocytique (contient de nombreux noyaux) qui contient un plaste pariétal réticulé à nombreux

	pyrénoïdes. Les cellules sont souvent évidées aux extrémités du thalle.
Milieu de vie	Epilithe des cuvettes rocheuses de l'étage supralittoral et du médiolittoral supérieur
Cycle de vie	Cycle digénétique haplodiplontique isomorphe

III.4.2. *Fucus vesiculosus*

Le tableau suivant décrit l'espèce d'algue brune marine *Fucus vesiculosus* Linnaeus 1753.

Tableau III.2 : Tableau d'identification de l'Algue *Fucus vesiculosus*[58]

Nom latin	<i>Fucus vesiculosus</i>
Noms vernaculaires	Fucus vésiculeux
Règne	Chromista
Division	Ochrophyta
Classe	Phaeophyceae
Ordre	Fucales
Famille	Fucaceae
Étymologie grecque	Algue
Étymologie latine	Couverte de petites cloques.
Lieu de récolte	Plage Oued Bibi Ain Zouit
Date de récolte	24/ 03/ 2023

Description	Thalle parenchymateux, de couleur brun à noir, atteignant 30 cm de longueur (jusqu'à 50 cm). Le thalle est fixé par un disque, surmonté d'un court stipe et la fronde est coriace, aplatie et présente une nervure centrale. La fronde est ramifiée de façon dichotome dans un même plan et présente (pour la variété <i>vesiculosus</i>) des vésicules aérifères de part et d'autre de la nervure médiane. Ces vésicules <i>diaera</i> araisent en mode battu pour donner la variété <i>evesiculosus</i> . La fronde est caractérisée par la présence de cryptes pilifères, laissant apparaître des petits poils blanchâtres mais celles-ci sont peu nombreuses. Les réceptacles fertiles apparaissent en des renflements ramifiés aux extrémités du thalle, sans aile membraneuse stérile en périphérie. La variété <i>evesiculosus</i> peut être confondue avec <i>Fucus aera iralis</i> , mais elle s'en distingue par l'absence de marge stérile autour des réceptacles, l'absence d'enroulement de la fronde et la moindre densité de cryptes pilifères.
Milieu de vie	Epilithe dans le médiolittoral supérieur. En ceinture caractéristique en dessous de <i>Fucus aera iralis</i> et au-dessus de <i>Fucus serratus</i> .

III.5. Préparation des extraits bruts)

III.5.1. Extraction assistée par macération (EAM)

- Principe

La macération est la méthode d'extraction solide-liquide la plus simple. Elle consiste en la mise en contact du matériel végétal avec le solvant sans ou avec agitation, L'opération bien que généralement longue et a rendement souvent médiocre, est utilisée dans le cas d'extraction de molécules thermosensibles.

- Mode d'opération

La macération consiste à émerger 20g de poudre de dans 200 ml de méthanol pendant 24 heure à température ambiante [46].

Ensuite la filtration est réalisée sur papier filtre et le solvant a été récupéré du filtrat par évaporation dans un rotavapor type Buchi R200, à une température de 55°C. L'extrait obtenu a été conservé au 4°C jusqu'à l'utilisation [47].



Figure III.8 : Extrait par macération de *Fucus vesiculosus*



Figure III.9 : Extrait par macération de *Chaetomorpha aera*

III.6. Dosage des polyphénols totaux

III.6.1. Principe

La teneur en polyphénols totaux des extraits aqueux est estimée par le réactif du Folin- Ciocalteu selon la méthode colorimétrique de **Singleton et Rossi (1965)**. La technique spectrophotométrique est facile à effectuer, à faible coût, rapide et réalisable dans l'utilisation routine de laboratoire. Cette méthode permet alors de mesurer la concentration totale de groupes hydroxyle des composés phénoliques contenus dans les extraits de plante où ils réagissent avec des réactifs rédox spécifiques comme le réactif de Folin-Ciocalteu pour former un complexe bleu détectable et quantifiable par le spectrophotomètre à 765 nm. Cette technique est donc basée sur la réaction d'oxydoréduction entre les phénols présents dans les extraits et le réactif de Folin-Ciocalteu, qui est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique $H_5O_{41}PW_{12}$ et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMO_{12}O_{40}$), dans un milieu alcalin en formant un chromophore bleu constitué par un complexe phosphotungstique-phosphomolybdique [50]. L'absorption maximale des chromophores dépend sur la concentration en composés phénoliques où elle est proportionnelle à la quantité des composés phénoliques présente [51]. Cependant, il est important de noter que ce test colorimétrique doit utiliser une substance de référence, en générale, l'acide gallique [51].

III.6.2. Méthodologie de mesure

Une prise de 125 μ l d'extrait convenablement dilué est mise dans un tube en présence de 500 μ l d'eau distillée et de 125 μ l du réactif de Folin-Ciocalteu. Après agitation vigoureuse et repos du mélange pendant 6 mn, 1250 μ l d'une solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à 7% sont ajoutés et le mélange est ajusté à 3 ml avec de l'eau distillée. Le tube est placé au repos pendant 60 mn à température ambiante et à l'obscurité, ensuite l'absorbance est mesurée à 760 nm.

Une courbe d'étalonnage est réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant l'acide gallique à des concentrations de 0 ; 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 et 1 mg /ml. Les teneurs en polyphénols totaux sont exprimées en milligramme équivalent acide gallique par gramme de matière végétale sèche (mg EAG/g MS) [51].

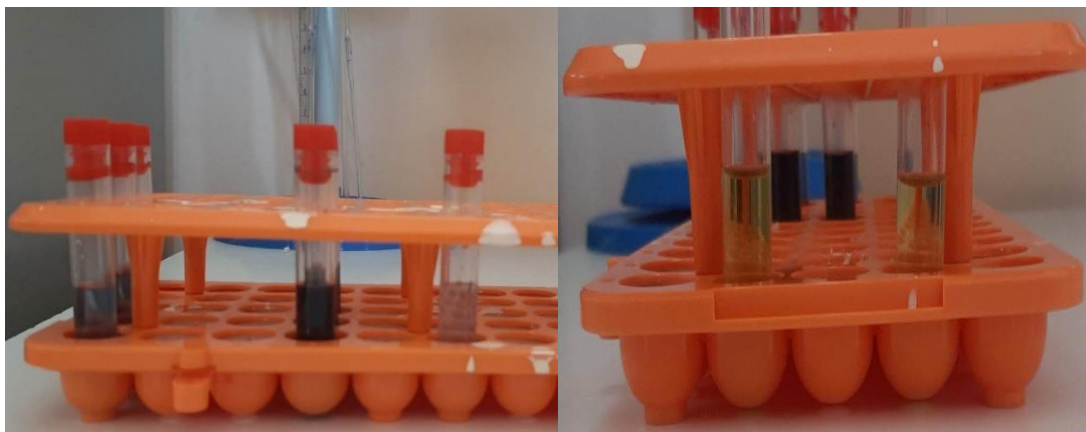


Figure III.10 : Dosage des polyphénols totaux

III.7. Extraction des polyphénols totaux

Il existe différentes méthodes d'extraction qui sont particulièrement adaptées à l'extraction des polyphénols parmi lesquels on a choisi la méthode qui été réalisé par [52]. 25 g de la partie aérienne de plante est soumis à des macérations, respective, par de l'hexane et de dichlorométhane afin d'éliminer toutes pigments et les lipides. Le marc ainsi obtenu, est soumis à une macération durant 24h en présence d'un mélange (Méthanol/Eau/Acétone (60/10/30)). L'extrait brut des polyphénols totaux est obtenu après une évaporation à sec du filtrat dans un rotavapor à une température de 60°.

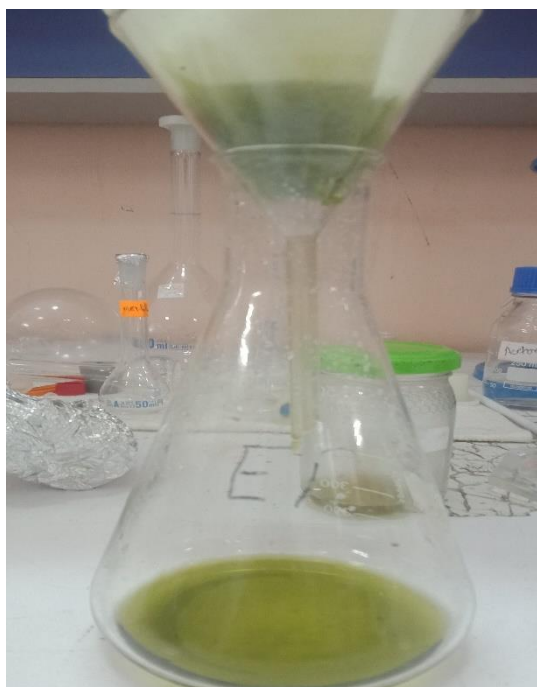


Figure III.11 : Extraction de polyphénols totaux

III.8. Évaluation de rendement d'extraction

Le rendement est défini comme étant le rapport entre la masse des extrait aqueux obtenue et la masse sèche du matériel végétal à traiter. Le pourcentage de rendement pour chaque extrait a été calculé par la formule suivante :

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

(%) : Rendement exprimé en %.

M : Masse en gramme de l'extrait sec résultant après mécration (g).

M₀ : Masse sèche initiale en gramme du matériel végétal à traiter (g).

Cinq paramètres majeurs peuvent être influencés sur le rendement d'extraction et la qualité de l'extrait : la nature et le volume du solvant, le temps et la température d'extraction, et la nature de la matrice [46]

III.9. Screening chimique

Afin de mettre en évidence les différentes classes chimiques de métabolites secondaires présentes dans les extraits aqueux de deux espèces testées, plusieurs réactions de caractérisation ont été établies. Ce criblage phytochimique qualitatif réalisé est basé sur des réactions de précipitation ou de coloration à l'aide des réactifs spécifiques qui nous permettent d'une identification préliminaire des substances chimiques. L'un des buts essentiels d'un test phytochimique consiste dans la détection des différentes familles de métabolites secondaires existant dans la partie étudiée de la plante par des réactions qualitatives de caractérisation.[48] Ces réactions sont basées sur des phénomènes de précipitation ou de coloration par des réactifs spécifiques à chaque famille de composés ainsi que des examens en lumière ultraviolette. Les résultats ont été évalués comme suit : positif ou Négatif.

III.9.1. Les flavonoïdes

Dans un tube à essai, introduire 1 ml d'extrait à tester, ajouter 1ml d'acide chlorhydrique (HCl) et 3 copeaux de magnésium. L'apparition d'une coloration rouge ou jaune révèle la présence des flavonoïdes.

III.9.2. Les tanins

On ajoute à 1 ml d'extrait à analyser, ajouter 0,5 ml d'une solution aqueuse de FeCl_3 à 1%. La présence des tanins est indiquée par une coloration verdâtre ou bleu-noirâtre.

III.9.3. Les coumarines

Introduire 5ml d'extrait dans un tube, ajouter 0,5ml de NH_4OH à 10%, mélanger et observer sous UV à 366 nm. Une fluorescence intense indique la présence des coumarines.

III.9.4. Alcaloïdes

Les tests sont réalisés par des réactions de précipitation avec les réactifs de Mayer et Wagner. 1ml de chaque extrait est divisé en deux volumes égaux. Un volume est traité par 0,5ml de réactif de Mayer, l'autre par 0,5ml de réactif de Wagner. L'apparition d'un précipité blanc ou brun, *reaera* activement révèle la présence des alcaloïdes.

III.9.5. Terpénoïdes

Introduire 5ml d'extrait est ajouté à 2ml de chloroforme et 3ml d'acide sulfurique concentré. La formation de deux phases et une couleur marron à l'interphase indique la présence des terpénoïdes.

III.9.6. Les saponines

Test de mousse : Dans un tube à essai, introduire 10ml d'extrait à tester et agité pendant quelques secondes puis laissé au repos pendant 15min. Une hauteur de mousse persistante indique la présence des saponines.

III.9.7. Les composés réducteurs

Introduire 1ml d'extrait dans un tube à essai, ajouter 2ml de liqueur de Fehling (1ml de réactif A et 1ml du réactif B), incubé l'ensemble pendant 8 min dans un bain marie bouillants.

L'apparition d'un précipité rouge brique indique la présence des composés réducteurs.

A decorative graphic consisting of several parallel blue lines of varying thicknesses, running diagonally from the bottom-left corner towards the top-right corner of the page.

Chapitre IV :

Résultat et discussion


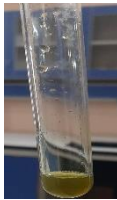


IV.1. Introduction

Les tests phytochimiques ont été réalisés tout en utilisant les réactifs de révélation spécifiques. Le screening chimique a permis de mettre en évidence la présence de métabolites secondaires au niveau des extraits végétaux de *Chaetomorpha aera* et *Fucus vesiculosus*. La macération de ces composés chimiques est basée sur des essais de solubilités des constituants, des réactions de précipitation, de turbidité et d'observation visuelle d'un changement de couleur spécifique. Selon leur intensité, les réactions qui peuvent se produire sont classées de : négative (-) positive (+).





IV.2. Présentation des résultats des différents tests phytochimiques

Le tableau suivant présente d'une manière comparative les principaux résultats obtenus des tests phytochimiques des métabolites secondaires effectués sur les extraits des algues *Chaetomorpha aera* et *Fucus vesiculosus*.

Tableau IV.1 : Tests phytochimiques des métabolites secondaires chez *Chaetomorpha aera* *Fucus vesiculosus*

	<i>Chaetomorpha aera</i>	<i>Fucus vesiculosus</i>
Tannins (1ml extrait +0,5 FeCl ₃)	+ couleur vert 	+ couleur vert 
Flovoïdes (1ml extrait +1ml HCl+ 3 copeaux de magnésium)	+ couleur jaune 	+ couleur jaune 

Le tableau (IV.1) révèle que les espèces *Chaetomorpha aera* et *Fucus vesiculosus* produisent différents groupes chimiques lors de leur fermentation.

Les caumarines (5ml extrait+0,5 NH ₄ OH)	+	+
Alcaloïdes (1ml extrait+1ml Mayer) (1ml extait+wagner)	- Négatif	- Négatif
Terpenoïdes (5ml extrait +3ml Acide Sulfurique +2ml chloroforme)	+ surface marron 	Négatif 
Les saponines Test de mousse	- Négatif	- Négatif
Les composés réducteurs (1ml d'extrait+2ml de liqueur de Fehling)	+ couleur rouge 	+ couleur rouge 

IV.3.Discussion

- Les composés les plus abondants dans les deux algues sont les flavonoïdes et les coumarines. En revanche, les saponines et les alcaloïdes n'ont pas pu être détectés. De plus, on observe la présence de terpénoïdes chez *Chaetomorpha aera*, tandis qu'ils sont absents chez *Fucus vesiculosus*.
- Les tanins, qui confèrent un goût amer aux plantes, notamment à l'écorce et aux feuilles, les rendent impropres à la consommation pour les insectes et le bétail. Ils sont également produits en réponse à des facteurs de stress environnemental tels que la carence en éléments nutritifs, la sécheresse, les températures élevées et l'intensité lumineuse [48].

- La présence de terpénoïdes est essentielle au fonctionnement et à l'adaptation des algues. Ces composés jouent un rôle crucial dans la couleur, la défense, la communication et les interactions des algues avec leur environnement [44]
- La présence de composés réducteurs est essentielle pour leur9 métabolisme énergétique, la communication et l'interaction avec d'autres organismes. Ces composés jouent un rôle clé dans l'adaptation et la survie des algues dans leur environnement aquatique [34].
- La présence de flavonoïdes contribue à leurs propriétés protectrices et thérapeutiques, ce qui en fait des ingrédients potentiellement précieux dans divers produits alimentaires, pharmaceutiques et cosmétiques [33]
- Ces résultats sont en pas accord avec ceux rapporté dans la littérature par les travaux de Izerouel (2022) (algue rouge) *S.coronopifolius* qui confirme la présence des alcaloïdes saponines, Ces résultats confirme aussi ceux rapporté dans les travaux de Tefiani (algue vert)(*Ulva linza*)qui en plus de ces composés a révélé la présence des composés réducteurs,alcaloïdes.
- Les variations des métabolites secondaires observées dans les deux algues pourraient être liées à leur origine, à la période de récolte, aux facteurs climatiques ou à la nature du sol.
- En paralele en peut aussi dites que la variation des métabolites secondaire pourraient être liées de la méthode d'extraction ;
 - **Infusion :** C'est la forme de préparation la plus simple qui se prépare en versant de l'eau bouillante sur les parties de plantes fraîches ou séchées et bien les tremper afin d'extraire leurs principes médicinaux. Elle convient pour l'extraction de parties délicates ou finement hachées des plantes: feuilles, fleurs, graines, écorces et racines, ayant des constituants volatiles ou thermolabiles comme les huiles essentielles [54].
 - **Décoction :** Elle convient pour l'extraction de matières végétales dures ou très dures : bois, écorce,racines, ou des plantes avec des constituants peu solubles comme l'aci silicique. Elle consisteà faire à bouillir les plantes fraîches ou séchées dans de l'eau pendant 10 à 30 minutes, pour bienextraire les principes médicinaux [55].
 - **Distillation :** C'est une pratique très ancienne utilisant la vapeur d'eau pour récupérer les principes volatiles. Développée par Jabir Ibn Hayyan qui a rajouté l'alambic à l'ancien appareil de distillation pour la réfrigération, mais utilisée par Al Kindi et Ibn Sina pour la préparation des parfums. Les eaux distillées ou hydrolats, sont obtenues par distillation de la plante (feuilles, tiges...), alors que les eaux florales sont obtenues de la même manière mais partir des fleurs De nos jours cette technique traditionnelle est encore utilisée à Constantine pour l'extraction de certaines plantes aromatiques [56].

- Les espèces *Chaetomorpha aera* et *Fucus vesiculosus* sont toutes deux utilisées dans divers domaines, y compris l'agriculture, les cosmétiques et la pharmacie. Voici quelques informations sur leurs applications dans ces domaines :

➤ ***Chaetomorpha aera* :**

- Cette espèce d'algue verte est souvent utilisée dans l'agriculture en tant que nourriture pour les poissons et les crevettes d'élevage. Elle est riche en nutriments essentiels tels que les protéines, les vitamines et les minéraux, ce qui en fait une source de nourriture nutritive pour les animaux aquatiques. [57]

- Cette algue verte est utilisée dans certains produits cosmétiques tels que les masques faciaux et les produits de soin de la peau. Elle est réputée pour ses propriétés hydratantes et apaisantes, ce qui en fait un ingrédient bénéfique pour la peau. [57].

- Cette espèce d'algue n'est pas couramment utilisée dans l'industrie pharmaceutique à ma connaissance. Cependant, certaines algues vertes ont montré un potentiel dans la recherche pharmaceutique en raison de leurs propriétés antivirales, antibactériennes et antioxydantes. Il est possible que des études futures explorent les propriétés de *Chaetomorpha aera* à des fins pharmaceutiques [57].

➤ ***Fucus vesiculosus* :**

- Également connue sous le nom de varech vésiculeux, cette espèce d'algue brune est utilisée dans l'agriculture pour la fertilisation des sols. Elle est riche en matières organiques et en oligo-éléments, ce qui en fait un amendement naturel pour améliorer la structure et la fertilité des sols [57].

- Le varech vésiculeux est souvent utilisé dans les produits de soins de la peau et les produits capillaires en raison de ses propriétés antioxydantes, apaisantes et hydratantes. Il peut aider à améliorer l'apparence de la peau en réduisant l'inflammation et en favorisant une hydratation saine [57].

- Le varech vésiculeux est utilisé dans certains produits pharmaceutiques et compléments alimentaires. Il contient des composés bioactifs tels que les polysaccharides et les phlorotannins, qui présentent des propriétés anti-inflammatoires, anticoagulantes et antioxydantes. Ces propriétés peuvent être bénéfiques pour la santé humaine, et des recherches sont en cours pour étudier davantage les applications potentielles de *Fucus vesiculosus* dans le domaine pharmaceutique [57].

IV.4. Dosage des polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux a été réalisé en utilisant la méthode colorimétrique de Folin-Ciocalteu. Cette méthode, l'une des plus anciennes, permet de déterminer la concentration en polyphénols totaux des plantes médicinales et des aliments [50].

- La courbe d'étalonnage présentée dans Tableau IV.2 montre une relation linéaire entre

L'absorbance de l'acide gallique et les concentrations. Les quantités de polyphénols totaux ont été exprimées en microgrammes d'équivalent d'acide gallique par gramme de matière sèche ($\mu\text{g EAG/g MS}$) et sont déterminées par l'équation suivante : $y = 0,0019x + 0,0263$, avec un coefficient de détermination R^2 de 0,9983 [51].

Tableau IV.2 : les concentrations des polyphénols totaux

	Après décoloration		Avant décoloration	
	Absorbance	Concentration	Absorbance	concentration
<i>Chaetomorpha aera</i>	0,401	207	0,031	14
<i>Fucus vesiculosus</i>	1,252	620	0,174	88

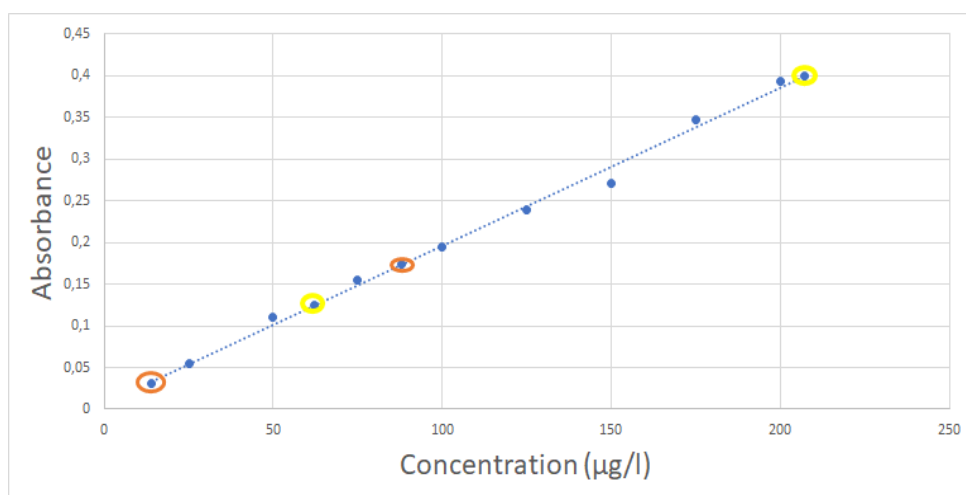


Figure IV.1 : Détermination des polyphénols totaux sur la courbe d'étalonnage des composés phénoliques

- Nos résultats indiquent une présence significative des polyphénols totaux dans *Fucus vesiculosus*, contrairement à l'espèce *Chaetomorpha aera* où ils sont très faibles. Ces différences significatives sont confirmées par les valeurs de concentration.
- D'après les résultats des travaux de recherche que nous avons mentionnés précédemment, la concentration de polyphénols dans les algues dépend du genre de l'espèce d'algue.
- En remarquant que la concentration des polyphénols totaux après décoloration supérieurs qu'avant décoloration en raison de l'élimination de l'interférence de la couleur avec les faisceaux lumineux du spectrophotomètre UV-visibles.

IV.5. Rendement d'extraction des composés phénoliques

Le rendement d'extraction des composés phénoliques varie considérablement. Les algues étudiées dans ce travail ont été macérées avec de l'hexane, du dichlorométhane et un mélange de méthanol, d'eau et d'acétone. L'extrait brut obtenu après évaporation à sec et filtration dans une étuve à une température de 60 degrés.

Tableau IV.3 : le rendement d'extraction des composés phénoliques

Algue	Rendement
<i>Chaetomorpha aera</i>	3,28%
<i>Fucus vesiculosus</i>	67,4%

- Nous constatons que les rendements d'extraction varient considérablement. Les pourcentages enregistrés se situent entre 3,28 % et 67,4 %. L'espèce *Fucus vesiculosus* présente clairement le meilleur rendement (67,4 %) par rapport à celui de l'espèce *Chaetomorpha aera* qui est de l'ordre de 3,28 %.
- D'après les résultats, nous constatons que l'algue *Fucus vesiculosus* est plus riche en composés phénoliques par rapport à l'algue *Chaetomorpha aera*.

The page features a decorative background of several parallel blue lines that run diagonally from the bottom-left corner towards the top-right corner. The lines vary in thickness and are spaced out across the page.

Conclusion générale

Conclusion

Dans nos travaux, nous nous intéressons à l'étude de screening chimique des métabolites secondaires des macrophytes *Chaetomorpha aera* et *Fucus vesiculosus*, présents sur le littoral de Skikda. L'objectif principal de cette étude était d'identifier les métabolites secondaires présents dans ces algues marines, ainsi que d'effectuer l'extraction des polyphénols totaux afin de calculer leur rendement. Ceci permettrait ensuite de comparer les deux algues et déterminer laquelle est la plus abondante en termes de métabolites secondaires et de phénols.

Les résultats de notre recherche ont montré que les composés les plus abondants dans les deux algues sont les flavonoïdes et les coumarines. En revanche, nous n'avons pas pu détecter la présence de saponines et d'alcaloïdes. De plus, nous avons observé la présence de terpénoïdes chez *Chaetomorpha aera*, tandis qu'ils sont absents chez *Fucus vesiculosus*. Ces différences dans les métabolites secondaires observées entre les algues peuvent être attribuées à leur origine, à la période de récolte, aux facteurs climatiques ou à la nature du sol.

Nos résultats ont également indiqué une concentration élevée de polyphénols totaux chez *Fucus vesiculosus*, contrairement à *Chaetomorpha aera*, où elle est très faible. Ces différences significatives sont confirmées par les valeurs de concentration, où nous avons constaté que la concentration en polyphénols totaux après décoloration est supérieure à celle avant décoloration : chez *Fucus vesiculosus*, la concentration avant décoloration était de 620 µg/L et après décoloration de 88 µg/L, tandis que chez *Chaetomorpha aera*, la concentration après décoloration était de 207 µg/L et avant décoloration de 14 µg/L. Cela peut être dû au désentrelacement des rayons lumineux du spectrophotomètre UV-visible.

Enfin, nous avons constaté que ces espèces d'algues contiennent une grande quantité de polyphénols, avec des taux allant de 3,28% à 67,4%. Il est évident que *Fucus vesiculosus* produit davantage de polyphénols que *Chaetomorpha aera*.

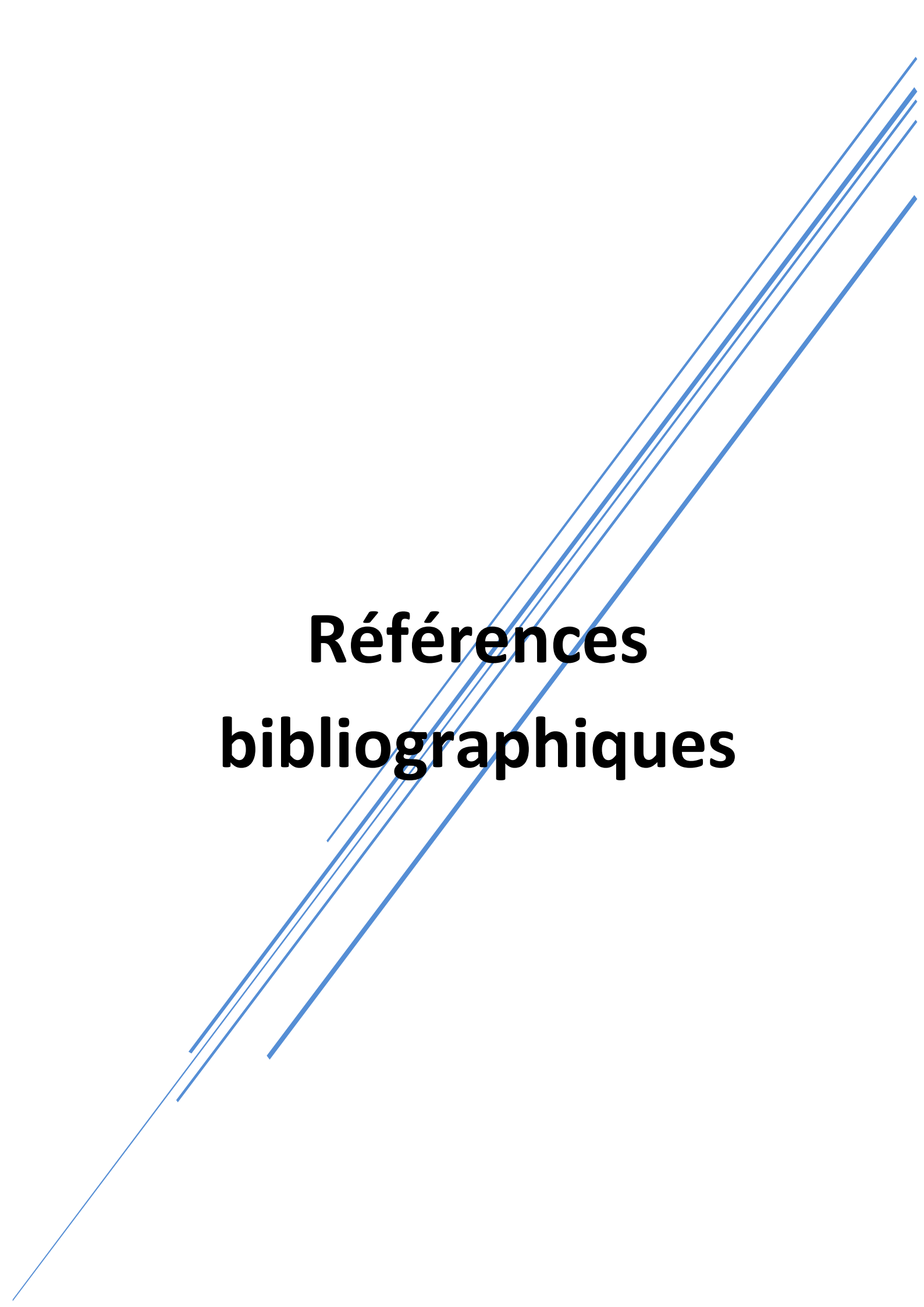
Ces deux espèces d'algues révèlent une importance cruciale pour la santé et l'équilibre des écosystèmes aquatiques. En effet, *Chaetomorpha aera* joue un rôle essentiel dans la régulation de la qualité de l'eau en absorbant les nutriments, tandis que *Fucus vesiculosus* contribue à la création d'habitats complexes, à la protection des côtes et à l'amélioration de la productivité primaire des écosystèmes marins.

Étant donné que notre pays possède une biodiversité immense, chaque type d'algue se distingue par une vaste gamme de métabolites secondaires, possédant des caractéristiques thérapeutiques et pharmacologiques spécifiques. Ces métabolites doivent être explorés par la recherche.

Par conséquent, nous formulons les recommandations suivantes :

- Mener des études biochimiques approfondies sur les deux espèces étudiées, *Chaetomorpha aera* et *Fucus vesiculosus*.
- Identifier de nouvelles substances bioactives naturelles qui pourraient être utilisées pour traiter différents problèmes de santé et servir d'alternatives aux médicaments synthétiques.
- Développer des médicaments à base de plantes dotés d'une activité antioxydante, qui pourraient être utilisés comme agents antiradicaux.
- Entreprendre des recherches sur d'autres types des algues marines

Il est essentiel de mener ces travaux de recherche afin d'exploiter pleinement le potentiel des ressources naturelles de notre pays et de découvrir de nouvelles solutions thérapeutiques.

The page features a decorative background of several parallel blue lines that run diagonally from the bottom-left corner towards the top-right corner. The lines vary in thickness and are spaced out, creating a dynamic, modern aesthetic.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1]: **CHOLA, K. J., INDALO, A. A. & MUNENGE, R. W. (1997).** Pharmacologic Activities of *Pistia stratiotes*. *Int. J. Pharmacog.* 35, 329-333.
- [2]: **BRUNETON, J. (1999).** Pharmacognosie. Phytochimie. Plantes médicinales, 3e édition. Editions Tec & Doc; Editions médicales internationales.
- [3]: **KTARIL, ISMAIL-BEN ALI A., BEN REDJEM Y., LANGAR H. et EL BOUR M.(2010).**Antifouling activity and chemical investigation of the brown alga *Dictyota fasciola* (Dictyotales) from Tunisian coast. *Cahiers de Biologie Marine*, 51, 109-115.
- [4]: **El Kou, A. Bazel-Ponce, V, Assobber, O, Etahin, S. (2004).** Etude de la variation saisonnière de l'activité antimicrobienne et anti-inflammatoire chez quelques espèces d'algues marines de la cote atlantique marocaine. *Review of Biology and Biotechnology*, 3, 29-36.
- [5]: **Pance NMA. Pajol, CA. Gamonte, Ell, Flores ML. Stortz, CA (2003).** Fucoïdan from the brown seaweed *Enteromorpha flexilis*: extraction methods antiviral activity and structural studies, *Carbohydrate Research* 138, 153-165.
- [6]: **Baha, M. Schols, D., Pauwels, R. Nakashima, H, de Clercq, E 1990.** Sulfato polysaccharides as potent inhibitors of HIV-induced syncytium formation a new strategy towards AIDS chemotherapy *Journal of Acquired Immune Deficiency Syndromes* 3, 493-499.
- [7]: **Mao, W. Zang X. Li, Y. Zhang, H. (2005)** .Sulfated polysaccharides from marine green algae *Ulyaconglobata* and their anticoagulant activity *Journal of Applied Phycology* 18, 9-14.
- [8]: **Mauray, S., Steenberg, C. Thevenaux, I. Millet, I, Sanquin, C. Tapon-Brethaudiere, J.Fisher, A. 1995** Venous antithrombotic and anticoagulant activities of a fucoïdan fraction. *Thrombosis and Haemostasis* 74, 1280-1285.
- [9]: **PERSON J. (2010).** Livre turquoise : algues, filière du futur. Adebitech.Romainville, France, 163p.
- [10]: **Santos, MGM. Lagrota, M.HC. Miranda, M.M.FS. Voneshigue-Valen Y.. Wiggdoi, MD (1999)** Ascreening for the antiviral effect of extracts from Brazilian marine algae against acyclovir resistant Herpes Simplex Virus *Typel Botanica marina* 44, 227-230.
- [11]: **CHOUIKHI A. (2013).** Potential applications of marine seaweeds and pharmacological activities of their metabolites. Institute of Marine Sciences & Technology, Dokuz Eylul University. Inter-Islamic Science & Technology Network on Oceanography, Izmir, Turkey. 40p.
- [12]: **LAKHDAR F. (2018).** Contribution à l'étude des potentialités antiprolifératives et antibactériennes des algues brunes et rouges de côté d'El-Jadida pour une valorisation médicale et environnementales. Doctorat en Biologie des Organismes, Université de Nantes, Nantes, France.
- [13]: **Ehrhardt J.P, 1973.** Contribution des algues à la médecine et à la biologie. *Res intem.Océanog mid* tomes XXX-XXXII 192-219.
- [14]: **Nakajima, K. Yokoyama. A. Nakajima, Y. 2009.** Anticancer effects of tertiary sulfonium compound, dimethylsulfoniopropionate, in green sea algae on Thrllich ascites carcinoma-bearing mice *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 55, 434-438.

- [15]: **ALEM, M. (2015)**. Les compléments alimentaires à base d'algues. Thèse de Doctorat. Université Mohamed V-Rabat.
- [17]: **PIERRE, G. (2010)**. Caractérisation biochimique d'exopolymères d'origine algale du bassin de marennes-oléron et étude des propriétés physico-chimiques de surface de micro-organismes impliquées dans leur adhésion. Thèse de Doctorat. Université de La Rochelle.
- [18]: **PILLARD, S. (2016)**. Mise au point sur les algues vertes : risque environnementaux et valorisation. Thèse de Doctorat. Université de Picardie Jules Verne.
- [19]: **FALLER, H. (2011)**. Les Applications et la Toxicité des Algues Marines. Thèse de Doctorat. Université de Limoges.
- [20]: **DICKE, M. & SABELIS, W. (1988)**. Infochemical terminology: based on cost-benefit analysis rather than origin of compounds ? *Funct. Ecol.* 2, 131-139.
- [21]: **WILSON, D., FENICAL, W., HAY, M., LINDQUIST, N. & BOLSER, R. (1999)**. Habenariol, a freshwater feeding deterrent from the aquatic orchid *Habenaria repens* (Orchidaceae). *Phytochemistry* 50, 1333-1336
- [22]: **Lutge et al., 2002**. Modular Design of a Novel Chimeric Protein with Combined Thrombin Inhibitory Activity and Plasminogen-Activating Potential, <https://doi.org/10.1006/mgme.2001.3292>
- [23]: **Cuendet, M. (1999)**. Recherche de nouveaux composés capteurs de radicaux libres et antioxydants à partir d'une plante d'Indonésie : «*Fagraea blumei*» (Loganiaceae) et de trois plantes d'altitude : «*Bartsia alpina*» (Scrophulariaceae), «*Loiseleuria procumbens*» (Ericaceae) et Camp, Thèse de doctorat, p 24.
- [24]: **Abderrazak M et Joël R. (2007)**. La botanique de A à Z. Ed. Dunod. Paris. 177p.
- [25]: **Halliwell B, (1994)**. Free radicals and antioxidants: A personal view. *Nutrition Reviews*. 52: 253-265.
- [26]: **BRATHEN, Y, (2003)**. Les phytonutriments bioactifs. Ed Yves Dacosta. Paris. 317p. (cited in Djemai Zoueglache S, 2008).
- [27]: **Elicio-middleton J., Chithan K. & Theoharis C. (2000)**. Effect of plant flavonoids on mammalian cells: implications for inflammation, heart diseases and cancer. *Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 4(52): 673-751.
- [28]: **Brathen KA, Fodstad CH, Gallet C, (2010)**. Ecosystem disturbance reduces the allelopathic effects of *Empetrum hermaphroditum* humus on tundra plants. *J. Veg Sci* 21(4): 786-795.
- [29]: **Knaggs., CA.R, (2003)**. The biosynthesis of shikimate metabolites. *Natural product reports*, 20, 119-36.
- [30]: **Halliwell B, (1994)**. Free radicals and antioxidants: A personal view. *Nutrition Reviews*. 52: 253-265.
- [31]: **SPARG S.G., LIGHT M.E., VAN STADEN J. (2004)**. Biological activities and distribution of plant saponins, *J. Ethnopharmacol*, 94, 219-243.
- [32]: **RAO A.V., GURFMKEI D.M. (2000)**. The bioactivity of saponins: Triterpenoid and steroidal glycosides. *Drug Metab. Drug Interne.*, 17, 211-235.
- [33]: **MANSOURI A., EMBAREK G., KOKKALOU E., KEFALAS P. (2005)**. Phenolic profile and antioxidant activity of the Algerian ripe date palm fruit (*Phoenix dactylifera*). *Food chem*, 89, 411- 426.

- [34]:DONATIEN, K. (2009). Enquête ethnobotanique de six plantes médicinales maliennes - extraction, identification d'alcaloïdes - caractérisation, quantification de polyphénols : étude de leur activité antioxydante. Thèse, université paul verlaine de metz –upv- m (France).
- [35]:RBONE, J.B. et HERBERT, B. (1995). Phytochemical dictionary: A handbook of bioactive compounds from plants. Bristol, Taylor & Francis, London.
- [36]:DOLATOWSKI, Z. J., STADNIK, J. et STASIAK, D. (2007). Applications of Ultrasound in food technology. ACTA Scientiarum Polonorum. 63(6) : 89–99.
- [37]:EPIFANO, F., GENOVESE, S., MENGHINI, L et CURINI, M. (2007). Chemistry and pharmacology of oxy prenylated secondary plant metabolites. Rev. Phytochem 68: 939 - 953.
- [38]:SILANIKOVE, N., PEREVOLOTSKY, A et PROVENZA, F.D. (2001). Use of tannin-binding chemicals to assay for tannins and their negative postingestive effects in ruminants. Animal feed Science and Technology. 91(1): 69-81.
- [39]:GHESTEM, A., SEGUIN, E., PARIS, M et ORECCHIONI, A.M. (2001). LE préparateur en pharmacie dossier 2 éme Ed Techniques et documentation. Paris, p. 275
- [40]:CASLEY-SMITH, J.R., R.G., et PILLER, N.B. (1993). New Engel. J. Med. Vol329, 1158-1163.
- [41]:KIMBARIS, A.C., SIATIS, N.G., PAPPAS, C.S., TARANTILIS, P.A., DAFERERA, D.J et POLISSIOU, M.G. (2006). Quantitative analysis of garlic (*Allium sativum*) oil unsaturated acyclic components using FT-Raman spectroscopy. Food Chem 94(2):287–295.
- [42]:STEFANOVA, N., KOLLENSPERGER, M., HAINZER, M., CENCI, A., POEWE, Wet WENNING, G.K. (2007). High dose levodopa therapy is not toxic in multiple system atrophy: experimental evidence. Mov Disord 22: 969–973.
- [43]:SOLDERMANN, N. (2002), « Étude et développement du processus Tandem réaction de Diels Alder/réarrangement de Ireland-Claisen : Application à la synthèse de la Juvabione», Thèse de Doctorat. Université de Neuchâtel, juin 2002.
- KHENAKA, K. (2011). Effet de diverses plantes médicinales et de leurs huiles essentielles sur la méthanogènes ruminale chez l'ovine, Diplôme de Magister En Microbiologie Appliquée, Université Mentouri Constantine.
- [44]:KHENAKA, K. (2011). Effet de diverses plantes médicinales et de leurs huiles essentielles sur la méthanogènes ruminale chez l'ovine, Diplôme de Magister En Microbiologie Appliquée, Université Mentouri Constantine.
- [45]:SOLDERMANN, N. (2002), « Étude et développement du processus Tandem réaction de Diels Alder/réarrangement de Ireland-Claisen : Application à la synthèse de la Juvabione », Thèse de Doctorat. Université de Neuchâtel, juin 2002.
- MODE D'OPERATION
- [46]:LEYBROS et FREMEAUX, 1990, Extraction solide-liquide. I. Aspects théoriques, Corpus ID: 123633641
- [47]: REBAYA et al . 2015, Total Phenolic, Total Flavonoid, Tannin Content, and Antioxidant Capacity of *Halimium halimifolium* (Cistaceae), Journal of Applied Pharmaceutical Science, DOI: 10.7324/JAPS.2015.50110.

[48]:Hagerman AE,Muller-Harvey I,Makkar HPS (2000), Quantification of tanins in tree foliage.FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in food and Agriculture.Vienna, 26pTron I.,Piquet O.&Baert A., (2002) : Toxon :manuel de toxicologie,Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie :32-34 ;26-27.

[49]:Trease G.E. & Evans W.C., (1989),A text book of pharmacognosy (13 th Edition)

Bacilluere Tinal Ltd,London. Bruneton J, (2009) : Pharmacognosie, Phytochimie, Plante médicinales. Lavoisier Technique & Documentation, 4ème Edition. Paris.

[50]:Dewanto V, Wu X, Adom KK, Liu RH, (2002): Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 50(10): 3010-3014.

[51]:Chaouche T.M ;(2014) ;Contribution à l'étude des activités antioxydantes et antimicrobiennes des extraits de quelques plantes médicinales.présenté pour obtenir le grade de Doctorat en biologie,Option :Biochimie ; université Abou Bah Belkaïd Tlemcen

[52]:Chaouche T.M ;(2014) ;Contribution à l'étude des activités antioxydantes et antimicrobiennes des extraits de quelques plantes médicinales.présenté pour obtenir le grade de Doctorat en biologie,Option :Biochimie ; université Abou Bah Belkaïd Tlemcen

[53]:GAUTHIER C. (2008).Amélioration du comportement biopharmaceutique de triterpènes naturels anticancéreux par synthèse de saponines mono- et bidesmosidiques. Thèse de Doctorat en Sciences de l'Environnement, Université du Québec à Chicoutimi, Canada.

[54] :Kraft K.Hobbs C., 2004. Pocket Guide to Herbal Medicine. Thieme, Stuttgart, New York. p419

[55] :Benzeggouta N., 2005 . Etude de l'Activité Antibactérienne des Huiles Infusées de Quatre Plantes Médicinales Connues Comme Aliments. Mémoire de Magister. Université Mentouri Constantine. 156p.

[56] :Chirinos R., Rogez H., Campos D., Pedreschi R. & Larondell Y., 2007: Optimization of extraction conditions of antioxidant phenolic compounds from mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz and Pavon) tubers. Separation and Purification Technology 55,217-2

Les sites web

[57] : Données d'Observations pour la Reconnaissance et l'Identification de la faune et la flore Subaquatiques <https://doris.ffesm.fr/>

[58] : nventaire national du patrimoine naturel (INPN), <https://inpn.mnhn.fr/>