

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique  
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل  
Ecole National Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur  
d'état**

**Option : Biotechnologie Marine**

**Thème :**

**Prospection de biomarqueurs biochimiques précoces de pollution marine : cas des biomolécules issues des algues vertes de genre *Ulva* du littoral algérois.**

Présenté par :  
**MANSOUR Nebia**  
**SASSI Meriem**

Soutenu le 19 / 10 devant le jury composé de :

Mme ALOUACHE S.	Maître assistante classe A	ENSSMAL	Présidente
Mme AMROUCHE L.	Maître assistante classe A	ENSSMAL	promotrice
Mme GHAZI M.	Maître de conférences classe B	ENSSMAL	Examinatrice

**Année universitaire : 2022/ 2023**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique  
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل  
Ecole National Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master**  
**Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Filière : Hydrobiologie Marine et Continentale**  
**Spécialité : Biotechnologie marine**  
**Thème :**

**Prospection de biomarqueurs biochimiques précoces de pollution marine : cas des biomolécules issues des algues vertes de genre *Ulva* du littoral algérois.**

Présenté par :  
**MANSOUR Nebia**  
**SASSI Meriem**

Soutenu le 19 / 10 devant le jury composé de :

Mme ALOUACHE S.	Maître assistante classe A	ENSSMAL	Présidente
Mme AMROUCHE L.	Maître assistante classe A	ENSSMAL	promotrice
Mme GHAZI M.	Maître de conférences classe B	ENSSMAL	Examinatrice

**Année universitaire : 2022/ 2023**

## **Remerciement:**

*Un grand merci à notre Dieu créateur qui nous a soutenus en nous accordant la force et le courage tout au long de cette tâche.*

*Nous exprimons notre gratitude sincère envers **Mme. AMROUCHE Lynda** notre promotrice, maître assistante de classe A à l'École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (ENSSMAL). Son engagement inestimable dans la direction de ce travail, ses conseils éclairés et son attention ont joué un rôle crucial dans la réussite de ce mémoire. Nous tenons à souligner notre grande appréciation pour ses compétences pédagogiques et scientifiques, ainsi que pour sa franchise et sa sympathie. Cette expérience nous a permis d'apprendre considérablement à ses côtés, et nous souhaitons lui assurer de notre profonde reconnaissance et de notre attachement.*

*Nous sommes également très honorées par la présence du jury, de **Mme Ghazi** et **Mme Alouache**, nous les remercions d'avoir accepté d'examiner et de contribuer à l'amélioration de ce travail.*

*Nous adressons nos vifs et sincères remerciements à **Mme BAHRI Nabila**, pour ses orientations et identification des espèces d'algues utilisées dans cette étude et aussi pour toute l'aide et le savoir faire quant à léchantillonnage durant la première sortie .*

*Nous ne saurons oublier **Mme GUEROUMI Houda**, qui occupe le poste d'ingénieur de laboratoire à l'ENSSMAL, pour son expertise technique et son assistance qui ont été essentielles pour la réalisation de nos mémoires. Sa disponibilité pour répondre à nos questions et nous orienter dans la résolution de problèmes techniques a été d'une grande importance. Sa contribution a grandement enrichi notre travail et a contribué à sa qualité globale.*

*Nous souhaitons exprimer notre gratitude sincère envers l'équipe d'ingénieurs en charge du matériel et des laboratoires de l'ENSSMAL pour leur précieuse collaboration et leur dévouement à nous fournir les équipements nécessaires ainsi que les conditions optimales pour la préparation de notre projet de recherche.*

## *Dédicace*

*Les mots se révèlent insuffisants pour exprimer pleinement la gratitude, l'affection, le respect et la reconnaissance que je ressens. C'est pourquoi je souhaite dédier cette mémoire de fin de cycle aux personnes suivantes :*

*À mon cher **père**, qui incarne l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour lui. Rien au monde ne peut égaler les sacrifices qu'il a consentis jour et nuit pour mon éducation et mon bien-être. Ce travail est le fruit de ses efforts inlassables au fil des années.*

*À ma mère, qui m'a toujours comblé d'amour, je te remercie du fond du cœur pour tout ce que tu as fait pour moi.*

*À ma chère sœur et mes frères, je vous dédie également ce mémoire.*

*À mes grands-parents et mes tantes.*

*À mon binôme "**Meriem**"*

*À mes amies.*

*À mes camarades de la promotion, et à tous ceux qui m'ont témoigné leur affection, je vous adresse également ma plus sincère reconnaissance.*

***Nebia***

## ***Dédicace :***

*Je dédie ce modeste travail*

*À la plus belle créature que dieu a créé sur terre ...à cette source de tendresse, de patience et de générosité...à ma mère !*

*À mon père...tu as été et tu seras toujours un exemple pour moi par tes qualités humaines, ta persévérance et ton perfectionnisme.*

*En ce jour, j'espère réaliser l'un de vos rêves. Aucune dédicace ne saurait exprimer mes respects, ma reconnaissance et mon profond amour. Puisse Dieu vous préserver et vous procurer santé et bonheur.*

*À ma belle, adorable et joyeuse grand-mère la meilleure amie et mon idole.*

*À mes sœurs (Assia, Asma, Amina, Hadjer), mes frères (Abdelkrim, Mohamed). Je vous dédie ce travail pour vous remercier pour vos encouragements et votre soutien, je vous souhaite le plus radieux des avènements.*

*À tous mes amis spécialement : Naima, Oum elkheir, Khadidja, Yousra, Amira, Abderrahmane, Naoual.*

*À toute ma famille.*

*À mon binôme "Nebia", merci pour tous les bons moments qu'on a passés ensemble.*

*Je ne pense pas que cela soit courant mais je souhaite me remercier moi-même d'avoir réussi à arriver au bout de ce Master et de ce projet, malgré toutes les difficultés rencontrées.*

***Meriem***

## Table des matières

<b>Liste des figures:</b> .....	<b>2</b>
<b>Liste des tables:</b> .....	<b>1</b>
<b>Liste des abréviations:</b> .....	<b>1</b>
Introduction Générale: .....	2
CHAPITRE I .....	4
Généralités .....	4
<b>Chapitre I :</b> .....	<b>5</b>
I.1. Généralités sur les algues marines : .....	5
I.1. La classification des algues .....	5
I.1.2. Les types des algues.....	6
I.1.3. Habitat et écologie des algues.....	7
I.1.3.1. Rôle des algues marines: .....	8
I.1.3.2. Utilisation des algues .....	8
I.2. La famille des Ulvaceae:.....	9
I.3. Biomonitoring et algues marines .....	17
A. Classification des bioindicateurs .....	18
A. Classification des biomarqueurs.....	20
I.5. Caractéristiques physico chimiques de l'eau de mer:.....	21
<b>II. Matériel et Méthodes</b> .....	<b>25</b>
II.1. Choix du matériel biologique:.....	25
II.2. Choix et Description des sites de prélèvement .....	25
II.2.1. Station 1 .....	26
II.2.2. Station 2:.....	27
II.2.3. Station 3:.....	28
II.3.1. Travail in situ « en mer » .....	29
II.3.2. Travail au laboratoire:.....	30
<b>II.4. Matrice algue:</b> .....	<b>32</b>
II.4.3. Traitement des échantillons et analyses .....	32
II.4.3.3. Extraction des biomolécules d'intérêt Éco-toxicologique .....	37
<b>A - Extraction des composés phénoliques</b> .....	<b>37</b>
<b>II.4.3.3.2. Extraction des polysaccharides:</b> .....	<b>38</b>
II.4.3.3.3. Extraction, Séparation et identifications des pigments photosynthétiques .....	40
Chapitre III: Résultats et Discussion.....	43
<b>Chapitre III. Résultats et Discussion</b> .....	<b>44</b>
III.1. Identification des échantillons d'algues vertes.....	44
III.2. Composition chimique globale de l'Ulva lactuca.....	46
III.2.1. Teneur en eau.....	48
<b>III.2.2. Teneur en minéraux totaux</b> .....	<b>49</b>
III.2.3. Teneur en lipides totaux.....	50
III.2.4 Teneur en Protéines totales .....	51
III.2.5. Teneur en Polysaccharides totaux .....	52
III.2.6. Teneur en Polyphénols .....	53
III.2.7. Identification et caractérisation des pigments contenus dans les ulves .....	55
III.3. Variation des paramètres physico-chimiques des eaux de mer des sites étudiés:.....	64
III.3.3. Salinité .....	67
III.3.5. Matières en suspension MES .....	69
III.3.6. Demande biochimique en oxygène DBO5.....	70
➤ <b>Conclusion</b> .....	<b>72</b>
<b>Références bibliographie:</b> .....	<b>75</b>
<b>Les annexes</b> .....	<b>89</b>
الملخص:.....	95
Abstract:.....	96
Communication affichée dans séminaire national : .....	98

## Liste des figures:

Figure I.1 : la répartition des algues .....	7
Figure I.2 : Distribution mondiale de l'algue verte <i>Ulva</i> .....	10
Figure I.3 : Cycle de vie d' <i>Ulva</i> .....	10
Figure I.4 : Structure moléculaire de la chlorophylle a et b.....	14
Figure I.5 : Structure d'un polymère de type $\beta$ (-1,4) -glucose.....	15
Figure I.6 : Structure d'un composé phénolique "tanin".....	16
Figure I.7 : Structure des flavonoïdes.....	16
Figure II. 8 : Situation géographique des 3 sites d'étude (carte ArcGIS) .....	25
Figure II. 9 : plage Ouest de Sidi Fredj.....	26
Figure II.10: Situation géographique de la plage de Sidi Fredj (Google earth pro).....	26
Figure II.11: Présence de macro-déchets et déversement direct des eaux usées domestiques dans la plage ouest de Sidi Fredj.....	27
Figure II.12 : La plage « Corne d'or » .....	27
Figure II.13: Situation géographique de la plage la Corne d'or (Google earth Pro).....	27
Figure II. 14 : Plage de KOUALI de la wilaya de Tipaza.....	28
Figure II.15: situation géographique de la plage de KOUALI (Google earth Pro).....	28
Figure II. 16 : Valise multi-paramètres terrain (pH-mètre, conductimètre) et GPS.....	29
Figure II.17 : Prélèvement d'eau de mer.....	30
Figure II.18 : séchage des filtres à l'étuve de marque Sartorius.....	31
Figure II. 19 : Une rampe de filtration sous vide.....	31
Figure II.20 : le bouchon manométrique (VELP Sensor).....	32
Figure II.21 : Lavage des algues avec l'eau distillée et étalement à l'air libre pour séchage.....	33
Figure II. 22 : Algues séchées à l'étuve à 37 °C.....	33
Figure II.23 : extraction des lipides totaux contenus dans l' <i>Ulva lactuca</i> par Soxhlet.....	35
Figure II.24 : Diagramme général d'extraction des polyphénols totaux.....	37
Figure II.25: Diagramme général d'extraction des polysaccharides.....	39
Figure III.26: <i>Ulva lactuca</i> (Mansour et Sassi, 2023).....	44
Figure III.27: <i>Ulva lactuca</i> (Observation en loupe binoculaire Gx10).....	45
Figure III.28: Bord du thalle lisse (Mansour et Sassi, 2023) (Observation en loupe binoculaire Gx10).....	45
Figure III.29: Bord du thalle d' <i>Ulva lactuca</i> (observation en microscope Gx40x10).....	45
Figure III.30: Observation microscopique (Gx40x10) d'une coupe transversale du thalle d' <i>Ulva lactuca</i> (une lame constituée de 2 couches de cellules superposées).....	45
Figure III. 31 : Composition chimique globale de l'algue <i>Ulva lactuca</i> au niveau du site Anse de Kouali.....	47

Figure III.32: Composition chimique globale de l'algue <i>Ulva lactuca</i> au niveau du site Sidi Fredj.....	47
Figure III.33: Composition chimique globale de l'algue <i>Ulva lactuca</i> au niveau du site la Corne d'Or.....	47
Figure III.34: teneur moyenne en eau de l' <i>Ulva lactuca</i> aux niveaux des trois sites d'études (Sidi Fredj S1, Corne d'or S2 et Anse de Kouali S3).....	48
Figure III.35: teneur moyenne en minéraux de l' <i>Ulva lactuca</i> aux niveau des trois sites d'études (Sidi Fredj S1, Corne d'or S2 et Anse de Kouali S3).....	49
Figure III.36: Courbe étalon de la solution de BSA ( $D.O=f[BSA]$ , méthode du biuret modifiée).....	51
Figure III.37: Courbe d'étalonnage de l'acide gallique ( $D.O= f [ac\ gallique]$ ).....	53
Figure III.38: Les pigments photosynthétiques de l'algue <i>Ulva lactuca</i> du site la Corne d'Or obtenus par chromatographie de partage sur colonne de gel de silice.....	55
Figure III.39: Les pigments photosynthétiques de l'algue <i>Ulva lactuca</i> du site Sidi Fredj obtenus par chromatographie de partage sur colonne de gel de silice.....	56
Figure III.40: Les pigments photosynthétiques de l'algue <i>Ulva lactuca</i> du site Anse de Kouali obtenus par chromatographie de partage sur colonne de gel de silice.....	56
Figure III.41: Spectre d'absorption des pigments Carotènes, extrait de l' <i>Ulva lactuca</i> récoltée au niveau de la plage Sidi Fredj.....	57
Figure III.42: Spectre d'absorption des pigments Carotènes (fraction 1), extrait de l' <i>Ulva lactuca</i> au niveau de La corne d'Or ( noir) et Anse de Kouali (vert).....	57
Figure III.43: Spectre d'absorption de la Chlorophylle A fraction 2 extraits de l' <i>Ulva lactuca</i> (présente étude) 1 Sidi Fredj ,2 La Corne d'Or et 3 Anse de Kouali.....	58
Figure III.44: Spectre d'absorption de la Chlorophylle B fraction 3 extraite de l' <i>Ulva lactuca</i> (présente étude) 1 Sidi Fredj ,2 La Corne d'Or et 3 Anse de Kouali.....	59
Figure III.45: Spectre d'absorption de la Chlorophylle A (1) et B (2) extraits d'une plante verte (Thanh-Truc et Escalle-Lewis, 2011).....	60
Figure III.46: Spectres d'absorption de la Xanthophylle fraction 4 extraits de l' <i>Ulva lactuca</i> (présente étude) 1 Sidi Fredj ,2 La Corne d'Or et 3 Anse de Kouali.....	61
Figure III.47: Identification des différents pigments photosynthétiques contenus dans l' <i>Ulva lactuca</i> par CCM ( Sidi Fredj ).....	62
Figure III.48: Identification des différents pigments photosynthétiques contenus dans l' <i>Ulva lactuca</i> par CCM (La Corne d'Or ).....	62
Figure III.49: Identification des différents pigments photosynthétiques contenus dans l' <i>Ulva lactuca</i> par CCM (Anse de Kouali ).....	63
Figure III.50: Variation du pH des eaux de mer aux niveaux de Sidi Fredj (S1), de La Corne d'Or (S2) et Anse de Kouali (S3).....	65
Figure III.51: Variations de la température des eaux de mer de surface (°C) aux niveaux de Sidi Fredj, de La Corne d'Or et d'Anse de Kouali.....	66

Figure III.52: Variations de la salinité des eaux de mer de surface (PSU) aux niveaux de Sidi Fredj, de La Corne d'Or et d'Anse de Kouali. ....	67
Figure III.53: Variation de l'Oxygène dissous (mg/l) des eaux de surface des plages de de Sidi Fredj, Corne d'Or et d'Anse de Kouali. ....	68
Figure III.54: Variation des matières en suspensions dans des trois sites (Sidi Fredj , La Corne d'Or et Anse de kouali).....	69
Figure III.55: Évolution de la BDO5 des eaux de surface des trois stations Sidi Fredj, La Corne d'Or et Anse de Kouali.....	70

## Liste des tables:

Tableau I.1: les principaux biomarqueurs .....	20
Tableau III. 2 : Taxonomie de l' <i>Ulva lactuca</i> .....	44
Tableau III.3 : Identification l' <i>Ulva lactuca</i> à partir des caractères macroscopiques et microscopiques.....	45
Tableau III.4 : Composition chimique globale moyenne de l' <i>Ulva lactuca</i> selon les sites d'échantillonnage (Sidi Fredj, Corne d'Or, Anse de Kouali).....	46
Tableau III.5: Comparaison des teneurs en matières minérales de l'algue <i>Ulva lactuca</i> enregistrées aux niveaux des trois sites d'échantillonnage (Sidi Fredj S1, Corne d'or S2 et Anse de Kouali S3), selon le test Student.....	50
Tableau III.6: Comparaison des teneurs en lipides de l'algue <i>Ulva lactuca</i> enregistrées au niveau des trois sites d'échantillonnage (Sidi Fredj S1, La Corne d'or S2 et Anse de Kouali S3), selon le test Student.....	51
Tableau III.7: Comparaison des teneurs en protéines de l'algue <i>Ulva lactuca</i> enregistrées au niveau des trois sites d'échantillonnage, selon le test Student.....	52
Tableau III.8: Comparaison des teneurs en polysaccharides de l'algue <i>Ulva lactuca</i> . enregistrées au niveau des trois sites d'échantillonnage, selon le test Student.....	53
Tableau III.9: Comparaison des teneurs en polyphénols de l'algue <i>Ulva lactuca</i> enregistrées au niveau des trois sites d'échantillonnage, selon le test Student. ....	54
Tableau III.10: Les rapports frontaux (Rf) des pigments extrait des ulves aux niveaux les 3 sites.....	6

## Liste des abréviations:

Symbole	Définitions
%	Pourcentage
°C	Degrés Celsius
Ph	Potentiel d'hydrogène
Mg	Milligramme
G	Gramme
Da	Dalton
L	Litre
Kg	Kilogramme
μ	Micro
DBO	Demande biochimique en oxygène
NAOH	Hydroxyde de sodium
N	Azote
P	Phosphore
C	Carbone
Mm	Micromètre
Mol	Mole
UPS	Unité pratique de salinité
Na+	L'ion sodium
K+	L'ion potassium
H+	L'ion d'hydrogène
CaCO <sub>3</sub>	Carbonate de calcium
H	Heur
Mm	Millimètre
ml	Millilitre
Eq	Équivalent
M	Mètre

Km	Kilomètre
μs	Micro siemens
Cm	Centimètre
Min	Minute
Mm	Micromètre
MES	Matières en suspensions
T°	Température
BSA	Sérum albumine bovine
DO	Densité optique
ml	Microlitre
N	Normal
Na <sub>2</sub> CO	Carbonate de sodium
Mg	Microgramme
Gr	Grossissement
MF	Matière fraîche
MS	Matière sèche
FAO	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
EtOAc	Acétate d'éthyle
GAE	Gallic acid equivalent

# **INTRODUCTION GENERALE :**

## Introduction Générale:

Le milieu marin est une source importante de ressources naturelles de grande valeur qui représentent une grande partie de notre alimentation, notamment sous forme de poissons, de coquillages et d'algues. L'eau de mer contient également une variété considérable de composés bioactifs aux propriétés thérapeutiques potentielles, en quantités importantes. (Biologiques 2022). Au cours des dernières années, des extraits de composés bioactifs ont été isolés à partir de divers organismes marins. Environ 25% des produits pharmaceutiques proviennent de plantes, et un autre 12% sont des biomolécules actives disponibles dans les milieux marins. (Jha and Zi-Rong 2004)

La pollution marine est un fait incontournable depuis des années, elle est principalement due aux déchets organiques et toxiques libérés dans l'environnement lors de diverses activités et parfois à la suite de catastrophes naturelles.

La mer Méditerranée est classée parmi les sept mers les plus menacées par la pollution marine. (PNUE, 1990). La zone littorale du plateau continental correspond à un espace d'intenses activités économiques (industrielles, agricoles, domestiques etc...) et constitue de ce fait, le réceptacle de quantités importantes de substances d'origine naturelles ou anthropiques dont un grand nombre possède des propriétés toxiques (BENGUEDDA- RAHA, 2012).

Le suivi de ces écosystèmes aquatiques revêt donc une grande importance tant sur le plan écologique, socio-politique qu'économique. C'est pourquoi, il est indispensable d'utiliser des indicateurs fiables. Bien que l'étude des variables physicochimiques soit largement utilisée, le recours aux indicateurs biologiques constitue une méthode d'évaluation plus complète et plus informative puisqu'ils permettent également d'évaluer les impacts de ces différentes perturbations sur la faune et la flore aquatique (DREAL, 2010 ; Degiorgi 2016)

Parmi ces bioindicateurs, les algues vertes appartenant au genre *Ulva* sont connues pour leur richesse en composés bioactifs aux propriétés anti-oxydantes, antibactériennes et anti inflammatoires (VANDERLEI et al., 2010; YAICH et al., 2011; KIM et al., 2018).

Elles ont, par ailleurs, fait le centre de divers travaux LU et al. (2006) et Chakraborty et al., (2014), comme bioindicateurs de pollution des écosystèmes côtiers, de par leur morphologie, leur croissance et leur capacité à accumuler différentes quantités des polluants chimiques dans leurs tissus, ainsi que la variation de leurs propres composants chimiques en raison de la perturbation du milieu. En effet, l'utilisation excessive des engrais stimulerait la croissance de ces algues qui échouent sur les plages, parfois de façon spectaculaire, où des champs verts à perte de vue apparaissent. Les retombées ne sont pas qu'écologique et touristique mais elles constituent un risque réel de santé publique car quand elles entrent en décomposition, elles dégagent un gaz toxique voire mortel ( $H_2S$ ) (DE LA LOIRE, 2013).

C'est dans cette optique que s'inscrit cette étude qui a pour but d'obtenir dans un premier temps des données sur la composition chimique de l'algue (humidité, cendres, polyphénols, protéines, lipides et glucides) et d'explorer et d'estimer par la suite, le potentiel de l'algue *Ulva lactuca*. récoltée sur le littoral ouest de la wilaya d'Alger en tant que biomarqueur pour l'évaluation de la qualité de l'eau de mer des zones étudiées à savoir, les plages de Sidi Fredj, de la Corne d'or ainsi que celles de l'Anse de Kouali.

Notre travail se partage en trois grandes parties :

- La première partie comporte une synthèse bibliographique, qui à son tour est partagée en trois sous-parties, le premier volet porte sur les généralités sur les algues, puis plus précisément les ulvacées incluant celles à intérêt écologique et écotoxicologique ; le second se focalise sur l'eau de mer ainsi que ses propriétés ; et le dernier sur l'écotoxicologie en générale.
- La seconde partie est quant à elle subdivisée en deux volets, le premier est consacré à l'explication des méthodes expérimentales ainsi qu'au matériel utilisé pour la collecte et la détermination de la composition chimique et biologique de l'algue, ainsi qu'à l'extraction des biomolécules d'intérêt. Suivi du volet traitant les méthodes analytiques d'évaluation de la qualité physicochimique de l'eau de mer.
- La troisième et dernière partie est dédiée à l'interprétation et l'explication des résultats obtenus, et à l'étude comparative avec les travaux antérieurs.
- Enfin, une conclusion générale résume l'essentiel des résultats obtenus et les perspectives.

# **CHAPITRE I**

# **Généralités**

# Chapitre I : Généralité

---

## Chapitre I :

### I.1. Généralités sur les algues marines :

Les algues sont présentes sur la terre depuis les origines de la vie, elles sont apparues sur terre environ 3 à 4 milliards d'années, elles jouent un rôle fondamental en captant le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) pour son métabolisme et en produisant de l'oxygène (O<sub>2</sub>) par la photosynthèse.

### I.1. Définition des algues marines :

Le terme botanique « algue », du latin « Alga », apparu en 1951 permet de désigner un organisme photosynthétique, n'ayant pas de véritable tige, racine, feuille ou tissus conducteurs. Elles comprennent 20 000 à 30 000 espèces à travers le monde. (Ramade, 2009)

La vie aquatique est riche en diversité avec la présence de bactéries, également connues sous le nom d'algues bleues ou cyanobactéries, ainsi que des organismes plus complexes appelés eucaryotes. Ces derniers peuvent être soit unicellulaires, soit pluricellulaires, et ils peuvent vivre seuls ou en colonies, fixés ou libres dans l'eau. Leur taille varie considérablement, allant de moins d'un micromètre pour des organismes tels que le *Prochlorococcus*, à plusieurs dizaines de mètres pour les grandes algues appelées *Macrocystis*. (Garon-Lardiere, 2004)

### I.1. La classification des algues

Les algues se divisent en deux grands groupes à savoir : les microalgues et les macroalgues.

#### I.1.1. Les macroalgues:

La majeure partie des matières premières utilisées dans l'industrie des macrophytes proviennent de cultures marines, de bassins ou de lagunes. Environ douze types d'algues sont directement consommés sans subir de transformations majeures. En tête de liste, il y a le *Porphyra* (Nori), qui représente 40 000 tonnes par an et un marché de 2 milliards de dollars. Ensuite, l'*Undaria pinnatifida* (Wakame) avec 20 000 tonnes par an et un marché de 600 millions de dollars, suivi de la *Laminaria japonica* (Kombu), qui détient également une part de marché de 600 millions de dollars.

Les macroalgues jouent également un rôle essentiel en tant que fournisseurs de diverses substances qui sont utilisées dans divers industries plus particulièrement l'industrie agro-alimentaire. Parmi ces substances, les phycocolloïdes sont les plus couramment commercialisés et utilisés, tandis que les protéines pigmentaires et les molécules bioactives sont présentes en quantités moins importantes mais significatives. (Floc'h J. Y. 2010) (Faller H. 2011)

# Chapitre I : Généralité

---

## I.1.1. Les microalgues

Les microalgues sont des convertisseurs d'énergie solaire efficaces et produisent de nombreux métabolites à intérêt industriel en raison de leurs propriétés physico-chimiques.

Les microalgues constituent un groupe de microorganismes largement méconnus, avec probablement moins de 1% des espèces identifiées, contrairement aux bactéries et aux levures qui font l'objet d'études approfondies en raison de leur potentiel pharmaceutique et économique. Les bactéries et les levures sont facilement cultivables en bioréacteur et leur croissance est plus rapide que celle des microalgues. Cependant, les microalgues renferment un réservoir important de produits potentiellement utiles pour diverses applications, et leur faible exploration leur confère un avantage particulier. (Florideen, et al Lemoine)

## I.1.2. Les types des algues

La classification des grands groupes d'algues est basée sur plusieurs critères, y compris leur pigmentation, leur morphologie, leur structure cellulaire et leur mode de reproduction. La pigmentation est particulièrement importante car elle est liée à la présence de différents types de pigments photosynthétiques qui permettent aux algues de capter la lumière et de produire de l'énergie. (Floc'h J. Y. 2010; Garon-Lardiere S. 2004)

### I.1.2.1. Les Cyanophytes

Ils ne possèdent pas de noyau, ni de membrane définie (ce sont des Procaryotes, à l'inverse des autres groupes qui sont des Eucaryotes) ni de chromatophores. Les pigments présents dans la cellule sont nombreux : chlorophylle verte a et c, phycocyanine bleu-vert, phycoérythrine rouge et pigments d'accompagnement,  $\beta$  carotènes et xanthophylles jaunes. Certaines espèces ne possèdent que de la chlorophylle. Ces pigments ne sont pas portés par des plastes mais sont diffusés dans le cytoplasme et donnent aux cellules une coloration homogène. Le mélange de ces pigments dans le cytoplasme donne en général la teinte bleu-vert caractéristique des Cyanophycées mais on rencontre aussi des teintes vert noirâtres, brunâtres, rouges, bleues ou même violettes. Les réserves cellulaires sont constituées par un corps très voisin du glycogène dispersé en particules très petites. Elles prennent une teinte acajou au contact d'une solution iodo-iodurée. Les cyanophytes ne possèdent pas de formes flagellées. C'est un groupe d'algues très abondant dans les eaux douces africaines. (Garon Lardiere, 2004)

### I.1.2.2. Les Chlorophytes

Les algues vertes sont comme tous les groupes vivants des eucaryotes à noyau bien individualisé ; elles possèdent des plastes d'un vert franc contenant de la chlorophylle a et b associée à de l' $\alpha$  et  $\beta$  carotène et des xanthophylles identiques à celles des plantes supérieures. Les réserves sont constituées d'amidon intraplastidial colorable en bleu par la solution iodo-iodurée. Les formes nageuses possèdent en général deux ou quatre flagelles de même taille. Les Chlorophytes qui groupent environ six cents genres et plus de huit mille espèces dont les quatre cinquièmes environ vivent en eau douce. (Garon-Lardiere S. 2004)

# Chapitre I : Généralité

## I.1.2.3. Les Phéophytes:

Les algues brunes sont toujours filamenteuses ou thalloïdes, jamais unicellulaires. Elles sont surtout marines et ne sont représentées en eaux douces que par cinq genres et cinq à six espèces fort rares. Elles possèdent des plastes bruns contenant des chlorophylles a et c et du  $\beta$  carotène et des xanthophylles (surtout de la fucoxanthine et de la diatoxanthine). Elles ne produisent jamais d'amidon et les matières de réserve consistent en laminarine et en mannitol. La reproduction se fait par des zoosporocystes uni ou pluriloculaires. (Garon-Lardiere S. 2004; Wijesinghe W.A.J.P. 2011)

## I.1.2.4. Les Rhodophytes

Les algues rouges sont principalement présentes dans les environnements marins, tandis que leur présence dans les eaux douces est limitée à une trentaine de genres peu communs. Leurs pigments sont composés de chlorophylles a et d, de  $\alpha$  et  $\beta$  carotènes, de xanthophylles et de bili protéines telles que la phycoérythrine et la phycocyanine. (Cabioc'H J. 1992; Perez R. 1997) .Leurs réserves d'énergie sont constituées de rhodamylon ou d'amidon floridéen, un type d'amidon spécifique se trouvant toujours à l'intérieur des plastes et qui prend une teinte rougeâtre en présence d'iode. Dans les eaux douces, les Rhodophytes peuvent être de couleur bleu-vert, rouge-violacé, souvent vert sale ou vert noirâtre. Il n'y a pas de formes flagellées dans ce groupe. Il est important de noter que ce groupe est rare dans les eaux soudaniennes. (Les Algues.)

## I.1.3. Habitat et écologie des algues

Les algues sont présentes pratiquement partout sur notre planète. Elles sont très peu exigeantes, il leur suffit de la lumière et de l'eau pour se développer. La plupart des algues vivent en effet dans les océans comme le montre la figure I.1, mais on les retrouve aussi sur les continents où, elles colonisent les lacs, les rivières, les étangs, les mares...etc.

D'autres algues se développent dans des milieux non aquatiques. Elles prospèrent sur la surface des sols, troncs d'arbres, murs, toitures, vitraux, rochers...etc. (Chabioc'h et al., 2006.)

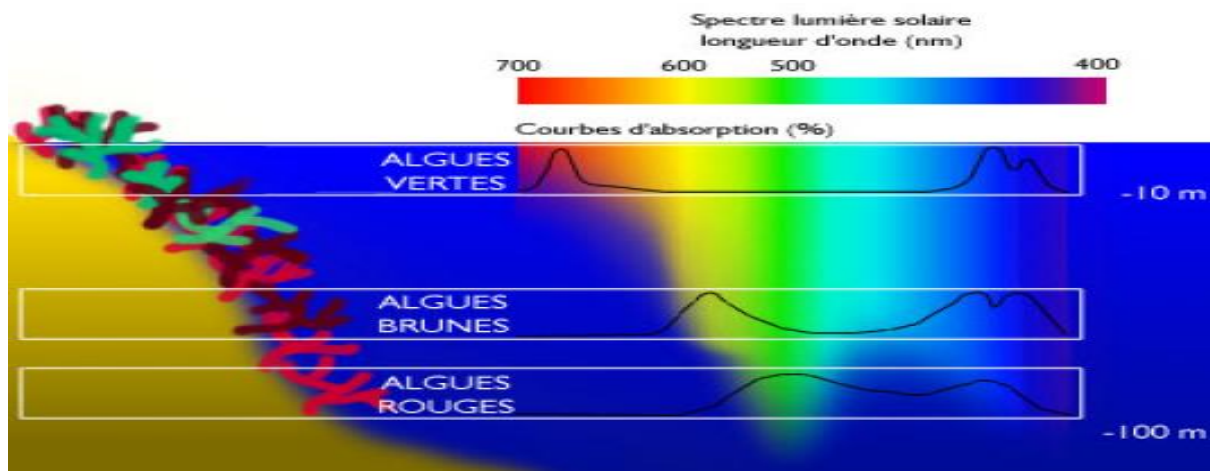


Figure I.1 : la répartition des algues (Uel.unisciel.fr)

## Chapitre I : Généralité

---

Les communautés de macro-algues marines, également appelées algues raies, sont réparties à travers une vaste zone géographique allant des pôles à l'équateur, et comprennent environ 30 000 espèces différentes. Cependant, leur distribution en profondeur est limitée par la capacité photosynthétique déterminée par leur équipement pigmentaire. Les pigments photosynthétiques présents dans les cellules végétales déterminent le spectre d'absorption de la lumière et permettent de classer les algues en trois catégories : les algues vertes (Chlorophyceae) ne contenant que de la chlorophylle A, les algues rouges (Rhodophyceae) contenant de la chlorophylle A et des phycoérythrine, et les algues brunes (Phaeophyceae) contenant de la chlorophylle A et des fucoxanthine.

Les algues rouges de la famille des Corallinaceae, présentes dans les zones tropicales, peuvent être récoltées à des profondeurs allant jusqu'à 268 mètres. Cependant, il est observé que les plus grandes diversités et abondances d'algues se trouvent à des profondeurs inférieures à 30 mètres. La répartition des espèces est également influencée par la nature du substrat, qui est définie par sa structure et sa texture.

Il est possible de classer les algues en fonction de leur habitat sur des substrats durs, qui se fixent aux roches compactes, ou sur des substrats meubles, où elles colonisent les accumulations sédimentaires (épiphytes, épilithes, épizoïques, épixyle(s)). (Wariaghli et al., 2004)

La durée pendant laquelle les algues restent fixées dépend en grande partie de la cohésion du substrat. Cela explique pourquoi les zones frangeantes peu profondes de substrats meubles soumis à un fort hydrodynamisme abritent généralement une flore algale peu diversifiée et pauvre. (Ballorain 2010)

### **I.1.3.1. Rôle des algues marines:**

En plus de leur contribution directe à la production primaire, au recyclage des nutriments et aux réseaux trophiques, les algues jouent un rôle essentiel dans la calcification des récifs grâce à certaines formes calcifiées. Les algues rouges de la famille des Corallinaceae sont principalement responsables de la bioconstruction, tandis que les algues vertes du genre *Halimeda* sont principalement impliquées dans la formation des sables. Par ailleurs, du point de vue des populations humaines, les algues ont une grande valeur économique. En effet, près de 221 espèces d'algues sont directement consommées ou utilisées comme gélifiants ou émulsifiants alimentaires. Par exemple, les codes E 401 à E407 que l'on trouve sur les étiquettes des produits alimentaires commercialisés correspondent à des extraits d'algues. (Ballorain 2010)

### **I.1.3.2. Utilisation des algues**

Les organismes marins offrent une abondante source de produits naturels qui sont à la fois uniques sur le plan structural et de grande valeur. Ils présentent une variété d'activités pharmacologiques et biologiques. Un exemple concret se trouve en Asie, où ces organismes sont utilisés directement comme aliments ou indirectement par l'industrie des phycocolloïdes, tels que les agars et les alginates. En outre, ils sont utilisés dans l'agriculture en tant qu'engrais et aliment pour le bétail, ainsi que dans divers domaines tels que l'industrie alimentaire,

## Chapitre I : Généralité

---

pharmaceutique et textile, entre autres.(Saymard 2010).

Les algues offrent des opportunités prometteuses et rentables pour la réduction de la diffusion des contaminants d'origine hydrique tels que les métaux lourds, les bactéries pathogènes, les virus, et autres. Les déversements provenant de l'agriculture, des zones urbaines ou des élevages de saumons ont généralement un impact négatif sur les régions côtières. De plus, les algues présentent un potentiel pour améliorer la croissance des cultures soumises à des stress abiotiques (Nabti et al. 2007). Cela est dû à la présence de composants chimiques et de valeur nutritionnelle dans les macroalgues, ainsi qu'aux propriétés physiques de leurs polysaccharides qui améliorent la structure du sol.(Saymard 2010)

### **I.2. La famille des Ulvaceae:**

#### **I.2.1. Définition:**

C'est une famille d'algues vertes fines et largement répandues ayant un thalle tubulaire plat ou creux, se reproduisant par la conjugaison de planogamètes ou de zoospores, et étant classées parmi les Ulotrichales ou maintenant plus communément placé dans l'ordre des Ulvales.

#### **I.2.2. Description des Ulvaceae:**

Elles se distinguent par son thalle extrêmement mince, mesurant moins d'un dixième de millimètre d'épaisseur. Il a une forme de feuille et une couleur vert émeraude, tout en étant translucide et pouvant devenir transparent en cas de stress. Le thalle présente un stipe très court, qui agit comme un crampon permettant à l'algue de se fixer à son support. Le stipe est rigide à la base et plus délicat près des bords de croissance. Il est composé de petits rhizoïdes rigides qui jouent un rôle dans la fixation de l'algue.(Abd elaziz M 2015) Ces algues peuvent se présenter sous forme de touffes, mais le plus souvent, elles sont observées sous forme de lames solitaires. Ces lames peuvent être plates ou légèrement ondulées, avec de petites dents microscopiques le long des bords.

Elles peuvent également être ou non perforées. Leur taille est variable, en moyenne de 30 à 40 cm, et peut même atteindre 1 mètre si elles se trouvent dans des zones eutrophisées.(Botany 2001) .

#### **I.2.3. Habitat et distribution des Ulvaceae:**

L'Ulva se fixe généralement sur les roches des zones intertidales et sublitorales. Elle se trouve également en abondance dans des zones peu profondes et abritées, notamment dans des environnements bien éclairés comme les lagunes saumâtres et les ports. Elle prospère également dans des zones d'eau douce enrichies en éléments nutritifs, même lorsqu'elles sont polluées. En effet, cette algue présente une grande résistance à l'eutrophisation (; Lami R. 2008; mediterraneo 2015).Sa distribution est courante et elle est largement répandue dans le monde, comme l'illustre la carte ci-dessous.

## Chapitre I : Généralité

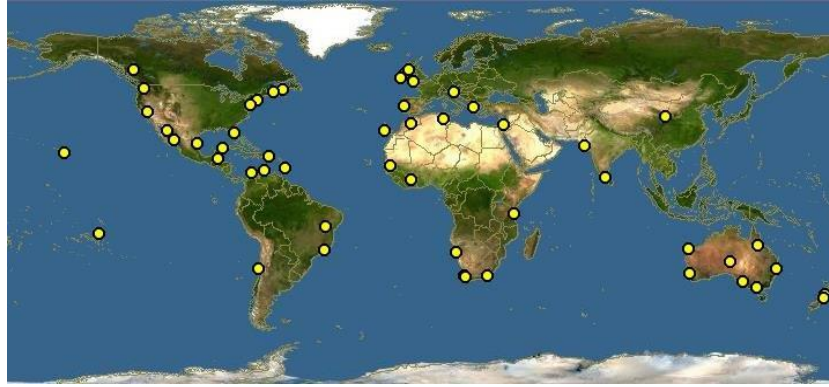


Figure I.2 : Distribution mondiale de l'algue verte *Ulva* (Facility 2013)

### I.2.4. Alimentation des Ulvaceae

L'énergie est fournie par l'activité photosynthétique. Les nutriments sont assimilés par les frondes, qui sont composées de deux feuillets de cellules, favorisant une assimilation efficace. La plupart des algues, y compris les Ulves, assimilent l'azote nécessaire sous forme d'ions  $\text{NH}_4^+$  (ammonium). Cependant, les Ulves présentent une particularité remarquable en étant capables d'assimiler les ions  $\text{NO}_3^-$  (nitrates), ce qui explique leur implication dans les phénomènes de marées vertes. (Lamia, 2009)

### I.2.5. Reproduction et cycle de vie des Ulvaceae

Les individus des Ulvaceae, tels que la laitue de mer (*Ulva*), se renouvellent tout

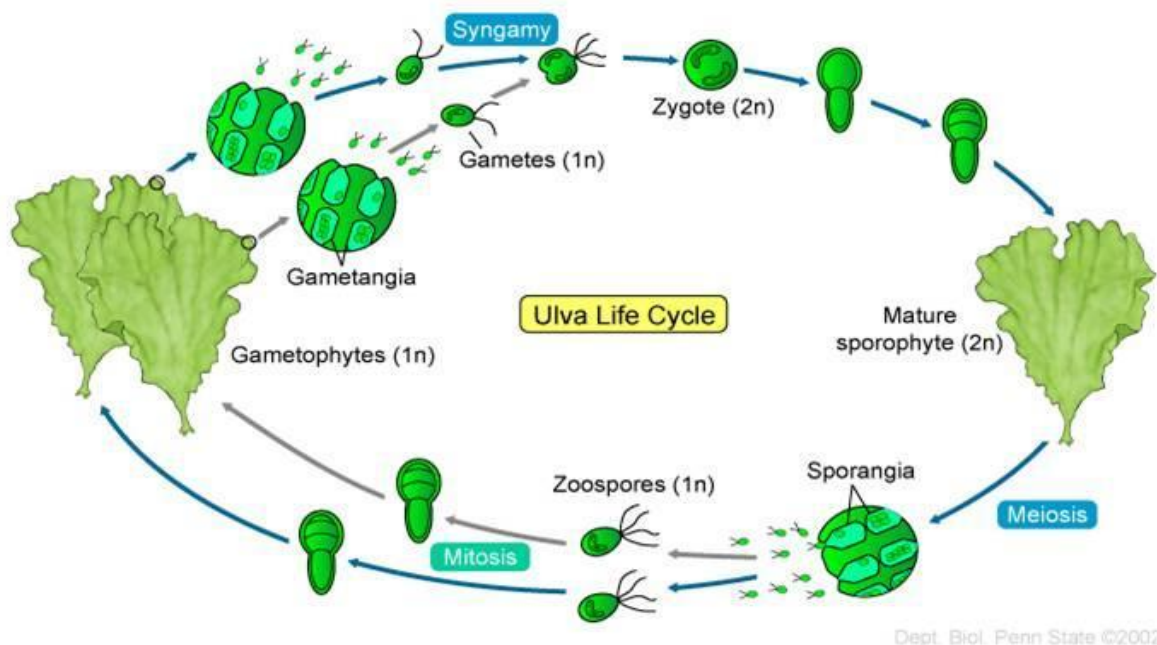


Figure I.3 : Cycle de vie d'*Ulva*

au long de l'année, avec une période de renouvellement plus prononcée au printemps et en été. Leur durée de vie est de quelques mois. Ces algues présentent un cycle de vie digénétique

## Chapitre I : Généralité

haplodiplophasique isomorphe. Les sporophytes (stades diploïdes) et les gamétophytes (stades haploïdes) sont morphologiquement similaires. Les adultes diploïdes produisent des zoospores haploïdes par méiose. Ces zoospores se développent en algues haploïdes, mâles ou femelles, qui sont similaires à l'algue d'origine. Les gamètes flagellés, une fois libérés, sont mobiles et se fécondent par planogamie, c'est-à-dire que les gamètes se déplacent pour se rejoindre. La fusion des gamètes forme un zygote qui germe pour donner une algue diploïde. Pendant la fécondation, les flagelles des deux gamètes sont conservés. C'est ainsi que le cycle de vie de l'*Ulva* se déroule. (Garon-Lardiere S. 2004) et (Lamia, 2009)(Figure I.3)

### I.2.6. Facteurs influençant la répartition des Ulvaceae:

Les ulvaceae tout comme les autres organismes marins, évoluent dans un environnement spécifique au milieu marin qui les entoure.

#### I.2.6.1. La lumière

La survie des algues, en tant que végétaux photosynthétiques, dépend essentiellement de la lumière. Ce facteur joue un rôle complexe de différentes manières : par sa quantité (intensité lumineuse), par sa qualité (composition des radiations présentes) et par la photopériode (durée relative des périodes d'éclairage et d'obscurité).(Chabioc H et *al*, 2006) (Moreau A, 2002)

#### I.2.6.2. La température

La température de l'eau, y compris ses températures minimales et maximales, joue un rôle important dans la répartition géographique des algues. Elle exerce une influence complexe sur les algues, en interagissant avec la lumière, et affecte tous les processus métaboliques et reproducteurs. Ainsi, les variations annuelles de température et la durée d'éclairage sont des facteurs essentiels pour le développement de certaines espèces et leur présence dans un endroit donné.(Moreau A, 2002)

#### I.2.6.3. Substrat

La plupart des algues pluricellulaires nécessitent d'être attachées à un support pour se développer normalement et accomplir leur cycle de vie. Comme elles ne possèdent pas de système racinaire, elles n'obtiennent pas leurs éléments nutritifs à partir de leur substrat, mais directement du milieu liquide qui les entoure.(Moreau A, 2002)

#### I.2.6.4. Salinité

Les variations de salinité peuvent se produire soit par dilution, soit par une concentration accrue en sels. Tout comme la température, la variabilité de la salinité affecte tous les processus métaboliques, et cette influence se traduit généralement par des perturbations pouvant ultimement conduire à l'élimination des espèces.(Moreau A, 2002)

#### I.2.6.5. pH

L'eau de mer a un pH généralement alcalin, se situant généralement entre 8,1 et 8,3, principalement en raison de la présence de carbonates  $\text{CO}_2\text{HCO}_3^{2-}$ . Les niveaux d'oxygène restent proches de la saturation dans les eaux de surface. Des changements dans les concentrations de carbonates, tels que la respiration, la photosynthèse, les échanges air-océan, ou la précipitation de  $\text{CO}_3^{2-}$ , peuvent entraîner des variations du pH. Dans les zones côtières et estuariennes, certains rejets industriels ou l'apport d'eaux continentales peuvent provoquer des variations de pH, qui devient alors un indicateur de pollution.(Saymard, 2010)

## Chapitre I : Généralité

---

### I.2.6.6. Les sels nutritifs

La composition des sels nutritifs dans l'eau de mer varie considérablement selon les régions et les saisons, principalement avec des niveaux variables de nitrates et de phosphates. Les oligoéléments nécessaires à la croissance des algues sont présents dans l'eau de mer et semblent toujours être en quantité suffisante pour favoriser leur développement. Certains types d'algues sont capables de fixer des substances minérales, telles que les carbonates de calcium sous forme de calcite.

Les algues nécessitent de l'azote pour leur croissance. Les algues bleues sont les seules capables de récupérer l'azote sous forme de  $N_2$  atmosphérique.

Les algues eucaryotes, quant à elles, utilisent l'azote sous forme d'ammonium ( $NH_4^+$ ), de nitrate ( $NO_3^-$ ), ou de nitrite ( $NO_2^-$ ).

Les algues ont également besoin de phosphore pour la synthèse de l'ATP et de soufre. Le phosphore naturel, provenant de la dégradation des roches, est présent en faibles quantités. Cependant, il peut être largement présent dans l'environnement en raison de l'activité humaine, telle que les déjections, les produits de lessive et les engrais agricoles. Cet apport massif de nutriments, combiné à une exposition prolongée au soleil, peut entraîner la formation de ce que l'on appelle des marées vertes. Ces marées vertes peuvent causer des problèmes esthétiques et olfactifs, ainsi que perturber l'équilibre écologique. Le phosphate est généralement le facteur limitant la prolifération des algues en eau douce. (Saymard, 2010)

### I.2.6.7. L'agitation de l'eau

Ce facteur dont l'intensité est variable selon l'état de la mer est difficile à apprécier directement. Il suffit, pour se rendre compte de son importance pour la répartition des algues et leur étagement, de comparer la végétation d'une côte battue, à l'extrémité d'un cap, à celle d'une anse plus abritée. L'agitation de l'eau a pour résultat l'homogénéisation des couches d'eau superficielle, contribuant à limiter les variations de température et favorisant le renouvellement de l'eau en contact avec les algues. (Saymard, 2010).

### I.2.7. Composition chimique globale des Ulvaceae

La remarquable biodiversité des milieux marins se manifeste à travers la présence de nombreux composés biologiquement actifs. Les organismes marins tels que les plantes, les animaux et les algues sont souvent confrontés à des conditions extrêmes en termes de température, de pH, de salinité, de pression, de luminosité, et d'autres facteurs, ce qui rend leur survie dans ces habitats complexes un défi quotidien.

Les organismes marins déploient une variété de substances naturelles bénéfiques et offrent de multiples avantages pour assurer leur survie. Parmi celles-ci, on retrouve des protéines, des peptides, des acides aminés, des acides gras, des stérols, des polysaccharides, des oligosaccharides, des composés phénoliques, des pigments photosynthétiques, des vitamines et des sels minéraux. Il est important de noter que les constituants bioactifs marins diffèrent d'un organisme à un autre et d'une espèce à l'autre en raison de leurs conditions de vie uniques.

De manière générale, ces substances sont riches en hydrates de carbone, polysaccharides, composés azotés et polyphénoliques, acides aminés et protéines, qui trouvent de larges applications dans les industries alimentaires humaines et animales, ainsi que dans d'autres

## Chapitre I : Généralité

---

domaines.(A. 2009)

### **I.2.7.1. les protéines**

La teneur en protéines des algues marines est variable. La richesse en protéines varie d'une espèce à l'autre. Les algues brunes ont généralement une teneur protéique relativement faible, représentant environ 5 à 11% de leur poids sec. En revanche, certaines algues rouges présentent une proportion importante de protéines, pouvant atteindre 30 à 40% de leur poids sec. Les algues vertes, bien qu'actuellement peu exploitées, contiennent également une quantité appréciable de protéines, pouvant représenter jusqu'à 20% de leur poids sec.(Lynda, 2020)

### **I.2.7.2. les lipides:**

Les algues marines présentent une teneur très faible en lipides, représentant environ 1 à 5% de leur poids sec. Cependant, ces lipides sont riches en acides gras polyinsaturés, en particulier les acides gras oméga-3 et oméga-6, qui jouent un rôle crucial dans la prévention des maladies cardiovasculaires, de l'arthrose et du diabète(A. 2009). Les lipides présents dans les algues se répartissent en trois catégories : les lipides neutres, les glycolipides et les phospholipides.(Lakhdar, 2018)

### **I.2.7.3. Les éléments minéraux et oligo-éléments:**

Les algues marines puisent une quantité considérable de minéraux variés dans l'océan. La teneur en minéraux varie de 8 à 40% de leur masse sèche. La diversité des éléments minéraux présents est vaste, comprenant des macro éléments tels que le sodium, le calcium, le magnésium, le potassium, le chlore, le soufre et le phosphore. Les oligo-éléments sont également abondants, comprenant des éléments tels que l'iode, le fer, le zinc, le cuivre, le sélénium, le molybdène, ainsi que d'autres oligo-éléments tels que le fluor, le brome, le manganèse, le bore, le nickel et le cobalt.(Lynda, 2020)

### **I.2.7.4. les fibres**

Les algues présentent des niveaux de fibres totales similaires ou légèrement supérieurs à ceux des aliments terrestres. Ces fibres comprennent une grande diversité, notamment l'agar-agar, les carraghénanes, les xylanes, l'alginate, le fucane, le laminarane et l'ulvane.(Lynda, 2020)

### **I.2.7.5. les vitamines**

Les macro-algues présentent une composition vitaminique intéressante, bien que leur contenu puisse varier considérablement selon les saisons et les méthodes de traitement des algues. Les algues rouges sont une source riche de vitamine A, tandis que les algues vertes contiennent des quantités significatives de vitamine C. Les algues brunes se distinguent par leur teneur en vitamine E. Cependant, l'élément le plus remarquable est la présence d'une quantité importante de vitamine B12 dans les macro-algues, contrairement aux plantes terrestres qui en sont dépourvues.(Lakhdar, 2018)

### **I.2.7.6. les pigments**

Les pigments, à savoir les caroténoïdes, les chlorophylles et les phycobiliprotéines, jouent un rôle clé dans la coloration des différentes algues. Ces pigments sont responsables des nuances de vert, de rouge, de rose, de jaune, de brun, d'orange, de noir, de gris, de blanc, de violet et de bleu que l'on peut observer chez les algues.(Mouloud, 2020)

- **Les caroténoïdes**

Les composés essentiels des caroténoïdes, qui sont des pigments liposolubles, sont les unités isoprènes. Parmi les algues, les algues brunes se distinguent par leur richesse en caroténoïdes,

## Chapitre I : Généralité

notamment en fucoxanthine,  $\beta$ -carotène et violaxanthine. Les caroténoïdes dominants dans les algues rouges sont le  $\beta$ -carotène, l' $\alpha$ -carotène, ainsi que leurs dérivés dihydroxylés, tels que la zéaxanthine et la lutéine. Quant aux algues vertes, les principaux caroténoïdes qu'on y trouve sont le  $\beta$ -carotène, la lutéine, la violaxanthine, l'antheraxanthine, la zeaxanthine et la neoxanthine. (Yan et al. 1999)

### • Les chlorophylles

Les chlorophylles sont des pigments responsables de la coloration verte des feuilles des plantes grâce à la photosynthèse. Elles tirent leur nom des termes grecs *chlorós* et *phyllon*, qui signifient littéralement "vert des feuilles". Les algues vertes et les plantes terrestres supérieures sont naturellement riches en chlorophylles a et b (illustrées dans la Figure I.4). Cependant, les algues brunes et les algues rouges, y compris les espèces diatomiques, contiennent plutôt des chlorophylles c et d. Les chlorophylles se présentent sous diverses formes et forment une famille de pigments. Ces molécules font partie d'un groupe de pigments tétrapyrroliques ayant des fonctions et des éléments structuraux communs. Elles se caractérisent par un cycle à cinq membres contenant un ion de magnésium au centre, ainsi que par la présence d'une longue chaîne latérale hydrophobe appelée phytol. (Cubas, Gloria Lobo, et González 2008)

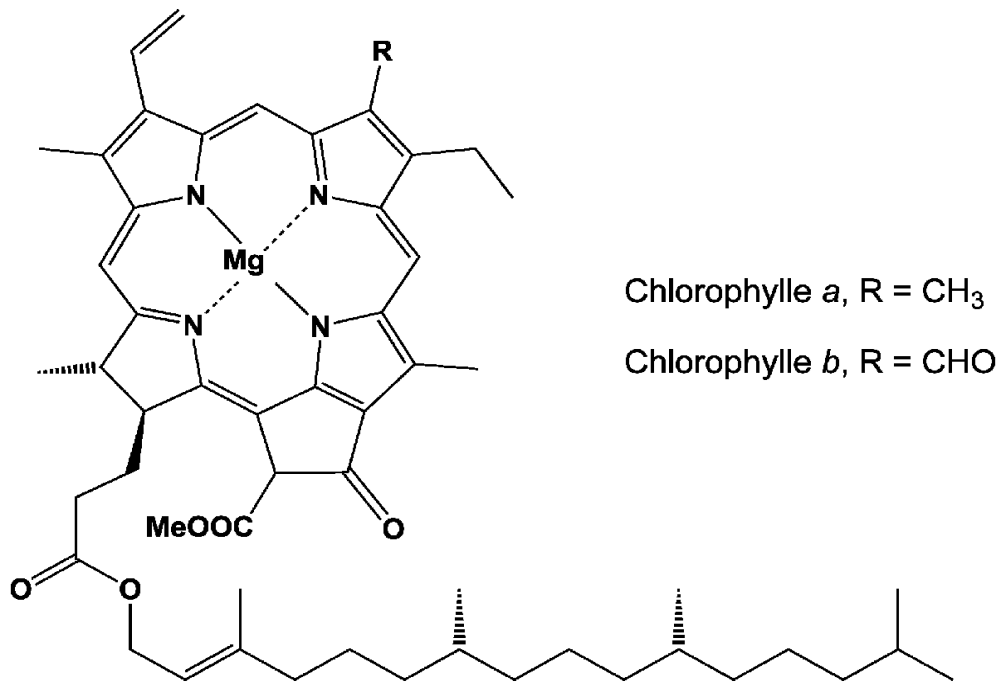


Figure I.4 : Structure moléculaire de la chlorophylle a et b

### • Les phycobiliprotéines

Les phycobiliprotéines sont des composés solubles dans l'eau qui comprennent une partie protéique liée de manière covalente à des chromophores ou bilines. Il existe trois familles de phycobiliprotéines : les phycoérythrine, les phycocyanine et les allophycocyanine, dont les chromophores respectifs sont les phycoérythro-bilines, les phycocyanobilines et les phycourobilines.

# Chapitre I : Généralité

## I.2.7.7. Polysaccharides

La plupart des polysaccharides dérivés des algues sont des hétéropolysaccharides, ce qui signifie qu'ils sont composés d'unités répétitives contenant au moins deux résidus différents par unité, avec la possibilité de ramification. Ces hétéropolysaccharides peuvent contenir divers substituants liés par des liaisons éther, ester, amide, sulfate ou acétylique. Ces groupements jouent un rôle important dans les propriétés physico-chimiques des polymères qui les contiennent. De manière générale, les polysaccharides d'origine algale ont des niveaux de sulfatation plus élevés que ceux observés chez les bactéries.

Les phosphates sont également considérés comme des substituants courants des hétéropolysaccharides d'origine algale. On distingue différentes catégories de polysaccharides chez les algues, notamment les polysaccharides de réserve et les polysaccharides pariétaux, qui sont à leur tour différenciés selon leur localisation dans la phase fibrillaire ou matricielle. (Lamia, 2009.)

### • Polysaccharides de réserve

Ces polysaccharides sont directement issus du processus de photosynthèse et sont principalement stockés dans les vacuoles des algues. Le type de stockage varie en fonction des espèces d'algues concernées. Par exemple, chez les algues brunes, il s'agit d'un polymère de  $\beta$ -(1,3)-glucopyranose appelé laminarine, chez les algues rouges, on trouve un polymère de  $\alpha$ -(1,4)-glucose appelé amidonfloridéen, tandis que chez les algues vertes, il s'agit de glucane, un polymère de  $\beta$ -(1,4)-glucose. (Figure I.5)

On observe les mêmes types de stockage chez les diatomées, qui sont des microalgues unicellulaires appartenant au phytoplancton (formes pélagiques) ou au micro-phytobenthos (formes benthiques). (Lamia, 2009.)

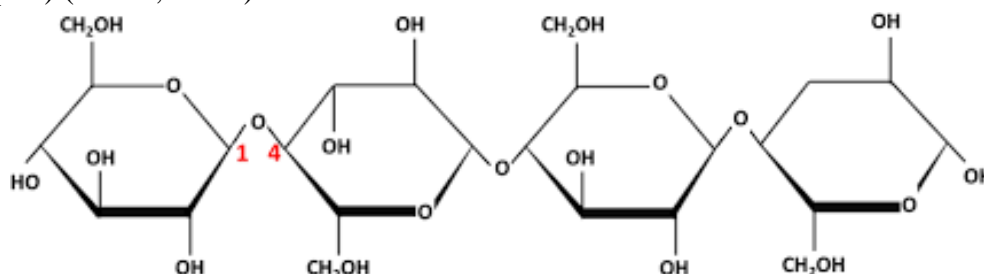


Figure I.5 : Structure d'un polymère de type  $\beta$ -(1,4)-glucose

### • Polysaccharides pariétaux:

La structure et la composition de la paroi des algues présentent des différences significatives par rapport à celles des autres organismes végétaux.

De nombreux chercheurs considèrent que la paroi des algues est une structure biphasique composée d'une phase fibrillaire cristalline qui forme un squelette et d'une phase matricielle spécifique à l'algue. (Lamia, 2009.)

#### 1.1.1.1. Polyphénols

Les algues marines renferment généralement des composés appelés polyphénols algaux ou phlorotannins. Ces phlorotannins constituent un groupe de molécules très diverses en termes de structure et de polymérisation, ce qui leur confère une grande variété d'activités biologiques potentielles. Les algues brunes présentent les concentrations les plus élevées de ces composés,

## Chapitre I : Généralité

représentant entre 5 et 15 % de leur poids sec. Des études in vitro ont démontré l'activité antioxydante des extraits de polyphénols provenant d'algues brunes et rouges. (Lamia, 2009.)

### • Les tanins

Les tanins, des polyphénols naturels, étaient initialement connus pour leur capacité à précipiter les alcaloïdes et les protéines. Ce sont des composés phénoliques hydrosolubles dont le poids moléculaire varie entre 500 et 3000 Da. En plus des réactions classiques des phénols, ils ont la propriété de précipiter les alcaloïdes, la gélatine et d'autres protéines. Bien que cette définition demeure valide, les avancées récentes dans les méthodes d'analyse ont permis d'élucider la structure de ces polyphénols, ce qui a conduit à une définition élargie des tannins. Ainsi, ils sont maintenant définis comme des polyphénols dont la masse moléculaire peut atteindre 20000 Da. (Figure I.6)

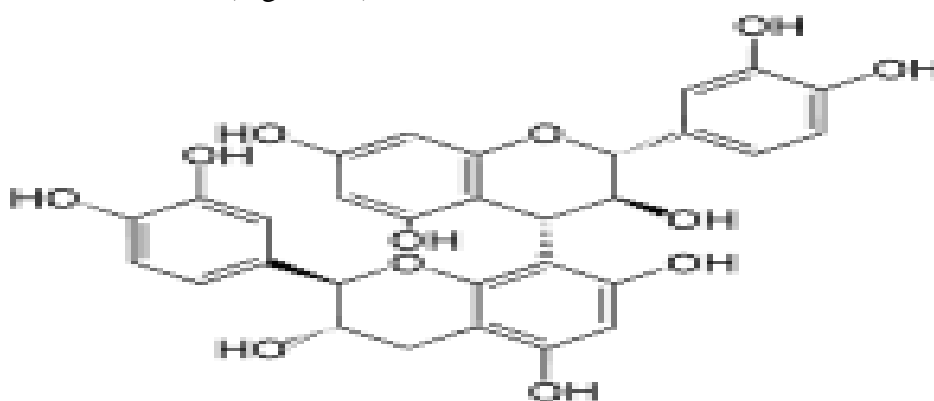


Figure I.6 : Structure d'un composé phénolique "tanin"

### • Les flavonoïdes

Le terme « flavonoïde » est dû à leur couleur jaune (= flavus en latin), ils sont considérés comme des pigments grâce à cette couleur jaunâtre et engendrent souvent la coloration des fleurs au-delà de la chlorophylle et des caroténoïdes.

Ces polyphénols représentent le groupe de composés phénoliques le plus diversifié avec plus de 4000 flavonoïdes. Ils sont caractérisés par leur aptitude à exercer une multitude d'activités biologiques.

Leur structure est composée de deux cycles benzéniques en C6, reliés entre eux par une chaîne en C3 qui peut évoluer en un hétérocycle. (PFE Hamdi Zidi Après Correction.) (Figure I.7)

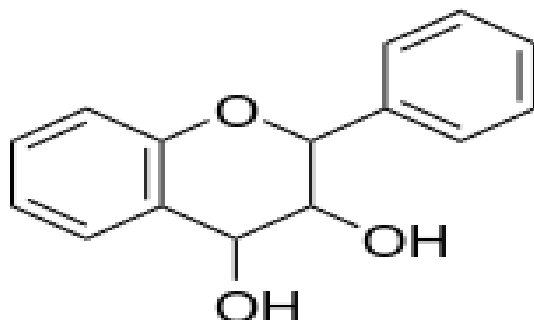


Figure I.7 : Structure des flavonoïdes

# Chapitre I : Généralité

---

## I.3. Biomonitoring et algues marines

### I.3.1. Définitions:

Il convient de définir quelques termes en relation avec le biomonitoring. Il s'agit de :

- Lapollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît comme un sous-produit de l'action humaine altérant les critères de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes.
- L'écotoxicologie est l'étude de la prédiction des effets des polluants sur l'environnement (y compris l'homme). C'est la science dont l'objet est l'étude des modalités de contamination de l'environnement par les agents polluants naturels ou artificiels produits par l'activité humaine (aspect descriptif) ainsi que de leurs mécanismes d'action et de leurs effets sur l'ensemble des êtres vivants qui peuplent la biosphère (aspect causal). L'écotoxicologie est née dans les années 70, à la suite de problèmes de santé publique et de perturbation de populations animales provoqués par des polluants tels que la maladie *de Itai Itai à Toyoma en 1912* en raison d'une intoxication au cadmium et *La maladie de Minamata en 1966*, la société Chisso, dirigeant une usine pétrochimique, a déversé des dérivés méthylés du mercure dans les eaux de la baie de la ville de Minamata au Japon (150 tonnes au total). Ce polluant a ainsi contaminé l'eau et les fonds marins et par la suite les poissons (avec des taux atteignant jusqu'à 50 mg/kg de poids frais de poisson), puis les pêcheurs et leur famille qui s'en nourrissaient.
- Le biomonitoring : Il existe plusieurs définitions, selon Van der Oost et *al.* (2003), le biomonitoring est l'observation répétitive (à des fins déterminées), suivant un calendrier préétabli en fonction du temps et de l'espace, d'un ou plusieurs éléments chimiques ou biologiques, en utilisant des méthodes comparables et normalisées C'est une estimation intégrée de la qualité de l'environnement, basée sur l'utilisation systématique des réponses des organismes vivants, des biomarqueurs (cyto-histopathologies, biochimiques, etc.), des observations morphologiques et comportementales des individus et des populations pour évaluer et prédire les changements des caractéristiques physico-chimiques et biologiques (Zuykov et *al.*, 2013).

### I.3.2. Classification du biomonitoring

#### ✓ Le biomonitoring actif

Le biomonitoring actif est défini comme l'utilisation d'organismes transplantés, pendant une période d'exposition fixe, comme outil sensible et facilement applicable dans l'évaluation de la qualité de l'eau et la surveillance de la pollution dans les conditions naturelles (Gecheva et Yurukova, 2013). L'étude de Sales et *al.* (2011) a montré que la transplantation des individus de trois espèces d'algues du genre *Cystoseira* (*C. barbata*, *C. crinita* et *C. spinosa*) a permis de surveiller la pollution métallique dans le port de Maó en Chine.

## Chapitre I : Généralité

---

### ✓ Le biomonitoring intégré

La combinaison de biomonitoring et analyses physico-chimiques qui représentent un complément indispensable à l'approche biologique, forment ce qu'on appelle " biomonitoring intégré". Cette approche permet de quantifier les fractions biodisponibles des xénobiotiques (polluant ou molécule étrangère à l'organisme) biologiquement actifs et leurs effets néfastes exercés sur le vivant. La combinaison des deux approches peut renforcer davantage l'évaluation globale de la pollution par les métaux et leurs concentrations dans l'écosystème aquatique (Zuykov et al., 2013).

### I.3.3. Bioindicateurs

Un bioindicateur désigne une espèce microbienne, végétale ou animale qui par suite de leurs particularités biologiques sont l'indice précoce (organismes sentinelles) de modifications abiotiques ou biotiques de l'environnement dues à tel ou tel type de l'action humaine (Ramade, 2002). Divers organismes vivants, tels que les microbes, les champignons, les plantes, les animaux et les humains sont utilisés pour surveiller les métaux toxiques dans l'air, l'eau, les sédiments, le sol et la chaîne alimentaire. L'utilisation des bioindicateurs doit aider à caractériser l'environnement naturel pour détecter et évaluer les impacts humains (Stankovic et al., 2014).

#### A. Classification des bioindicateurs

Les bioindicateurs peuvent être divisés en deux groupes : les bioindicateurs de dommage, et les bioindicateurs d'exposition. Cette distinction correspond à une classification des types de bioindicateurs selon leur mode d'action (Markert et al., 2003) :

##### - Bioindicateurs d'exposition :

sont des organismes (ou parties d'organisme) qui accumulent des substances provenant de leur environnement, tels que les métaux lourds, par exemple. Ce sont donc le plus souvent des bioaccumulateurs. Ils possèdent une résistance élevée car ils sont capables d'assimiler des substances polluantes pendant de longues périodes sans dommages.

##### - Bioindicateurs de dommage :

quant à eux, sont des organismes (ou parties d'organisme) qui développent une réponse, spécifique ou non, à la suite d'une exposition à un contaminant. Les bioindicateurs de dommage répondent assez rapidement à un stress, de façon observable ou mesurable. Ils doivent pour cela posséder une résistance au stress peu élevée, ainsi qu'une faible capacité d'adaptation : on appelle cela des organismes sténopotents.

##### - Bioindicateurs algologiques

Il est clair que les macroalgues jouent un rôle important dans l'écosystème aquatique, avec une forte production de biomasse et représentent également un lien important dans les réseaux trophiques, ce qui peut conduire à la bioamplification des contaminants. Dans l'évaluation des risques pour l'environnement, l'utilisation des algues *U. lactuca* a fait un choix approprié comme espèces bioindicatrices de pollution (Leston et al., 2014). Les algues marines sont utiles dans le biomonitoring de la pollution et l'évaluation environnementale (Keng et al., 2013)

## Chapitre I : Généralité

### I.3.3.1. Bioaccumulation:

La bioindication en écotoxicologie repose sur un processus écologique très important, qui est la bioaccumulation. Selon (Ramade, 2002), la bioaccumulation est le phénomène par lequel une substance présente dans un biotope pénètre dans un organisme, même si elle n'a aucun rôle métabolique, et même si elle est toxique à ce dernier, dans ce processus il y a un simple transfert d'une fraction de ce substance contenue dans le biotope dans l'organisme de sorte que la concentration de ce dernier dans les tissus soient généralement légèrement inférieure ou égale à celle où le polluant se rencontrera dans l'eau ou le sol.

#### A. Facteur de bioconcentration (BCF)

La bioconcentration est le phénomène par lequel des êtres vivants absorbent des substances présentes dans leur milieu (biotope), et les accumulent dans leur organisme à des concentrations supérieures à celles auxquelles elles se rencontrent dans le milieu naturel.

Le calcul du facteur de bioconcentration (BCF) est largement utilisé pour estimer la capacité de bioaccumulation d'une plante (Lu et al., 2011),

$$BCF = \frac{[\text{métal dans l'organisme vivant}]}{[\text{métal dans le milieu physique}]} \quad (\text{Gobas et Morisson, 2000})$$

#### B. -Facteur de contamination (CF)

Le facteur de contamination (CF) est le rapport entre la concentration de l'élément dans un site pollué et les niveaux naturels moyens. Il reflète les niveaux de pollution dans les eaux de mer, par rapport aux conditions naturelles (Gaudry et al., 2007). Le calcul du (CF) donne une estimation de la contribution des sources de pollution (Gaudry et al., 2007).

$$CF = \frac{[\text{métal dans l'organisme vivant}]}{[\text{niveaux naturels du métal dans l'environnement}]} \quad (\text{Mouvet et al., 1986})$$

#### C. Facteur de biomagnification (BMF)

Le facteur de biomagnification (biomagnification factor BMF) est le ratio de la concentration d'un élément chimique dans un organisme respirant l'eau ou l'air et dans l'alimentation de cet organisme (Crookes et Brooke 2011 ; Van der Oost et al., 2003). Le facteur de biomagnification (BMF) est calculé selon la formule suivante :

$$BMF = \frac{[\text{métal dans l'organisme vivant de niveau trophique (N)}]}{[\text{métal dans l'organisme vivant de niveau trophique (N-1)}]} \quad (\text{Crookes et Brooke, 2011}).$$

### I.4. Biomarqueurs:

Les biomarqueurs sont utilisés pour déceler les changements moléculaires, biochimiques, cellulaires, physiologiques ou comportementaux, d'autre part ces biomarqueurs peuvent nous renseigner sur l'état de santé des individus exposés. L'évaluation de la qualité de l'environnement repose sur une batterie de biomarqueurs :

Selon Week (1995), c'est une réponse biologique à un produit chimique (pesticide, pesticide, HAP, ETM, ...) qui induit un stress et peut donner une estimation ou une mesure de l'effet toxique potentiel.

Dans le même sens, Ramade (2007), ils correspondent à des structures biologiques ou processus physio-toxicologiques caractérisant la réaction d'un organisme face à son exposition à un

## Chapitre I : Généralité

xénobiotique (polluant)

Le rôle fonctionnel des biomarqueurs est le maintien de l'homéostasie des organismes, cependant, c'est un outil à manipuler délicatement car nécessite une parfaite connaissance des facteurs biotiques et abiotiques du milieu ainsi que les fluctuations naturelles du biomarqueur

### A. Classification des biomarqueurs

Les biomarqueurs de compensation sont des réactions pour limiter les effets toxiques des polluants. C'est une réaction de protection et de défense, ils sont appelés biomarqueurs d'exposition, d'adaptation ou plus couramment de défense. Ces derniers permettent de considérer la présence du polluant dans le biotope,

Les biomarqueurs de non-compensation traduisent des effets négatifs irréversibles. Ils sont nommés biomarqueurs de dommage ou d'effet.

**Tableau I. : Les Principaux Biomarqueurs (Moreau, 2010)**

Contaminants	Biomarqueurs	
	Nature	Type
HAPs	Production des cytochromes P450 Adduits à l'ADN	Enzymatique et biochimique
Organochlorés	Production de la GST et la GPx	
Métaux	Toxiques Métallothionéines	Biochimique
Pesticides, HAPs	(-) ou (+) de la SOD	Enzymatique
OPs et carbamates	(-) des cholinestéras	Enzymatique
Métaux, organochlorés, pesticides, HAPs	Lésions tissulaires	Histologique
Métaux, organochlorés, pesticides, phénols	(-) de paramètres immunitaires	Biochimique
Organochlorés	Taux de rétinol et rétinoïdes b	Biochimique
Métaux, organochlorés, pesticides	Protéines de stress	Biochimique
Stress chimique aspécifique	Morphologie tissulaire, charge en adénylates	Anatomique Biochimique

Les Superoxydes dismutases (SOD), Les catalases (CAT), Les glutathion peroxydases (GPx), Acétylcholinestérase (AChE), Glutathion S-Transférase(GST)

#### I.4.1. Biomarqueurs algologiques

Des études basées sur la variabilité des caractères végétatifs ont démontré que, chez certaines espèces d'*Ulva*, l'épaisseur du thalle, la taille des cellules et le nombre de pyrènes sont trop variables pour usage

*Ulva lactuca* est une espèce nitrophile, elle est un bioindicateur de l'eutrophisation . Elle est également un bioindicateur de la pollution maritime par les métaux Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd et

## Chapitre I : Généralité

Pb au voisinage des décharges d'eaux urbaines usées (zones dépourvues d'installations de traitement des déchets. Leur durée de vie est de quelques mois, mais on en trouve toute l'année, car ces organismes se renouvellent, surtout au printemps et en été. Elle est considérée comme envahissante (Julien, 2010)

Elle fait aussi partie des algues dont on a montré qu'elles peuvent facilement bioaccumuler le thallium (polluant émergent et plus toxique que le plomb, le mercure et le cadmium). Après 48 heures d'exposition à 10 µg/L de thallium dans l'eau de mer (avec une salinité côtière (salinité : 33) ou estuarienne (20), un facteur d'accumulation d'environ 900 mL/g est mesuré (dans les deux milieux)<sup>7</sup>. Presque tout le thallium accumulé par l'algue est internalisé

Les algues sont capables de synthétiser des métallothionéines (MTs) particulières (les phytochélatines) qui peuvent s'associer avec les métaux divalents (Cd, Cu, Zn, Ag, Hg, etc.). L'étude de Kumar et al. (2010) ; menée sur *U.lactuca* ; a montré que les activités de certaines molécules enzymatiques et non enzymatiques antioxydantes impliquées dans la désintoxication des ROS, dû au stress oxydant induit par l'exposition au Cd<sup>2+</sup>, peuvent être considérés comme biomarqueurs sensibles pour la surveillance des métaux lourds dans l'écosystème aquatique

Selon Wahsha et al., (2017), les concentrations du malondialdéhyde (MDA) dans les tissus des algues marines *U. fasciata* et *U. lactuca* sont largement utilisées comme biomarqueurs pour la cytotoxicité du stress oxydant généré par les métaux lourds

### I.5. Caractéristiques physico chimiques de l'eau de mer:

Les principales caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer sont présentées Comme suit :

#### I.5.1. Température

La température de l'eau a des conséquences écologiques significatives en influençant plusieurs aspects. Elle affecte la densité, la viscosité et la solubilité des gaz dans l'eau, ainsi que la dissociation des sels dissous. De plus, elle joue un rôle crucial dans les réactions chimiques et biochimiques, ainsi que dans le développement et la croissance des organismes vivants présents dans l'eau, notamment les micro-organismes.(Chaouay et al. 2016)

La température de l'eau de mer varie en fonction de la latitude, étant plus chaude à l'équateur et plus froide aux pôles (en surface, autour de 1 à 3°C). Les échanges thermiques entre la surface de l'eau de mer et l'atmosphère sont d'une grande importance, car ils influencent le climat. Les invertébrés marins réagissent directement aux changements de température, en particulier au réchauffement des océans, en se déplaçant généralement vers des latitudes plus élevées et des eaux plus profondes. Ces migrations leur permettent de rester dans des habitats dont la température est adaptée à leurs besoins). La température de l'eau de mer est inférieure à 30 °C. (JORADP, 1993).

#### I.5.2. pH

Ce paramètre est crucial pour de nombreux équilibres physico-chimiques et il est influencé

## Chapitre I : Généralité

par divers facteurs. Il représente la concentration des ions  $H^+$  présents dans l'eau, ce qui reflète la stabilité de l'équilibre entre les différentes formes de l'acide carbonique. Il est également lié au système tampon formé par les carbonates et les bicarbonates. Les changements de pH induits par les déversements industriels ou les eaux de ruissellement constituent un indicateur de pollution.(Ti ,2012) le pH des eaux de mer varie entre 6 et 8 (JORADP, 1993)

### I.5.3. Conductivité:

La conductivité est utilisée pour évaluer la capacité de l'eau à conduire l'électricité entre deux électrodes. La plupart des substances dissoutes dans l'eau se présentent sous forme d'ions électriquement chargés. En mesurant la conductivité, on peut estimer le degré de minéralisation de l'eau, car chaque ion contribue à la conductivité de manière spécifique.(Ti 2012) La salinité de l'eau de mer est en moyenne de 35 PSU, soit 35 g/kg, celle des eaux saumâtres est de 5 à 18 PSU et celle des eaux douces est inférieure de 0,5 PSU (Chevallier, 2007).

### I.5.4. Oxygène dissous DO

L'oxygène est un paramètre essentiel pour évaluer la qualité de l'eau et il sert d'excellent indicateur. Il est particulièrement sensible à la pollution et sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution de l'eau. Sa présence dans les eaux de surface joue un rôle crucial dans l'autoépuration et le maintien de la vie aquatique. La concentration d'oxygène dissous évolue principalement en fonction de l'activité biologique des micro-organismes présents à travers la colonne d'eau, ainsi que des mélanges avec d'autres masses d'eau ayant des concentrations d'oxygène différentes.(Chaouay et al. 2016) la concentration en oxygène dissous des eaux de mer varie entre 8 mg/l et 12 mg/l (JORADP, 1993)

### I.5.5. Matières en suspension

Les matières en suspension incluent des composés qui peuvent avoir une origine minérale ou organique. En plus de ces composés, on trouve également des micro-organismes tels que les bactéries, le plancton, les algues et les virus.(Minist et al. 2021).

### I.5.6. La demande biochimique en oxygène (DBO)

Elle correspond à la quantité d'oxygène utilisée lors de la décomposition biologique des composés carbonés à une température de 20°C dans des conditions d'obscurité. Selon les normes conventionnelles, les mesures de DBO sont effectuées pendant les cinq premiers jours. La DBO permet d'évaluer la concentration de matières organiques biodégradables, exprimée en milligrammes d'oxygène par litre ( $mg O_2/l$ ). (Minist et al. 2021)

### I.5.7. La demande chimique en oxygène (DCO)

Elle correspond à la quantité d'oxygène utilisée par les substances réductrices présentes dans un échantillon.

## **Chapitre I : Généralité**

---

Cette mesure est réalisée en utilisant du bichromate de potassium en milieu sulfurique porté à ébullition pendant deux heures. La DCO permet d'évaluer la concentration totale de matières organiques, qu'elles soient biodégradables ou non, et est exprimée en milligrammes d'oxygène par litre (mg O<sub>2</sub>/l).(Minist et al. 2021)

# **Chapitre II: MATERIEL ET METHODES**

### II. Matériel et Méthodes

L'objectif de ce travail est d'évaluer la composition chimique globale des algues vertes du genre *Ulva* du littoral algérois et de rechercher et prospector les biomolécules pouvant servir de biomarqueurs de la pollution de leur habitat.

#### II.1. Choix du matériel biologique:

La matière vivante végétale algue » dont l'*Ulva* a été choisie pour sa disponibilité et son abondance dans les zones d'études durant la période d'étude et ainsi que son pouvoir accumulateur de pollution. En effet, cette algue et plus particulièrement *Ulva lactuca*, espèce nitrophile, est souvent utilisée comme bioindicateur de l'eutrophisation. Elle est également un bio-indicateur de la pollution maritime par les métaux Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd et Pb au voisinage des émissaires d'eaux urbaines usées (zones dépourvues d'installations de traitement des déchets). Elle fait aussi partie des algues dont on a montré qu'elles peuvent facilement bioaccumuler le thallium (polluant émergent et plus toxique que le plomb, le mercure et le cadmium).

En outre, elle est présente tout le long de l'année avec des tailles suffisantes pour offrir une quantité adéquate de tissus pour les analyses.

#### II.2. Choix et Description des sites de prélèvement (Figure II.8)

Deux zones soumises aux activités anthropiques et aux rejets des eaux usées urbaines : station de Sidi Fredj et la Corne D'or (complexe)

Une zone dite de référence ou il y a le moins d'activité : station Anse de kouali.



Figure II. 8: Situation géographique des 3 sites d'étude (carte arcGIS) .

## Chapitre II: Matériel et méthodes

### II.2.1. Station 1

La plage Sidi Fredj Ouest (Sidi Fredj) est située comme son nom l'indique, à l'ouest de la presqu'île de Sidi Fredj, sur la commune de Staoueli dans la wilaya d'Alger. De type sableuse et rocheuse, la plage s'étale sur une longueur de 100 m et sur une largeur de 5 mètres (Figure II.8). Ses coordonnées géographiques sont 36°45.561'N 2°50.547"E. Ce site est considéré comme une zone de pollution (Figures II.9 et II. 10).



Figure II.9 : Plage Ouest de Sidi Fredj



Figure II.10: Situation géographique de la plage de Sidi Fredj(Google earth pro).

## Chapitre II: Matériel et méthodes



Figure II.11: Présence de macro-déchets et déversement direct des eaux usées domestiques dans la plage ouest de Sidi Fredj.

### II.2.2. Station 2:

Le village touristique de la Corne d'Or est situé en bord de mer à environ 1km à l'est de Tipaza. Ses coordonnées géographiques sont 36°35.625'N 2°28.231'E. Ce site est considéré comme une zone soumise aux activités anthropiques humaines (Figure II.12 et II.13).

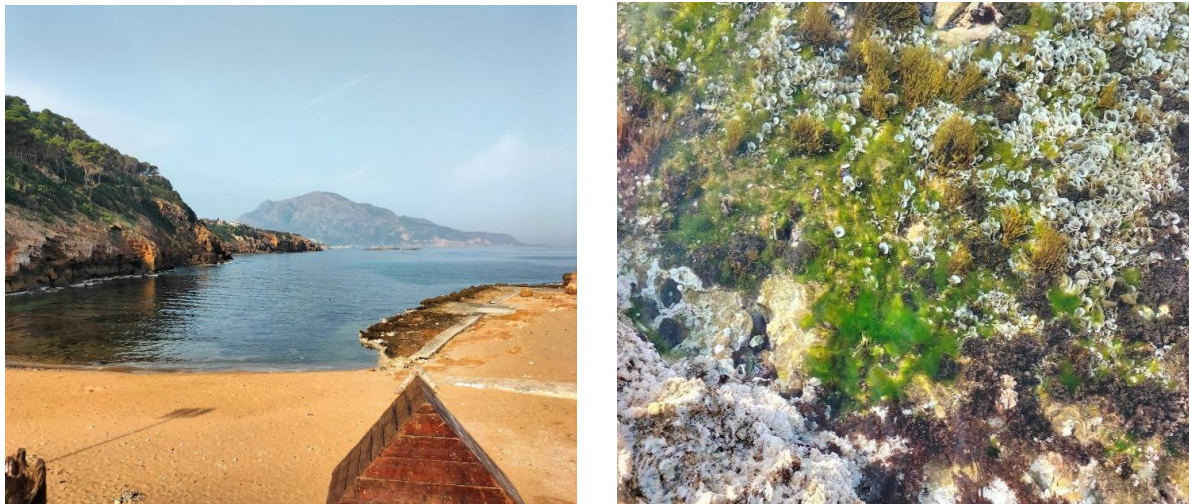


Figure II.12 : La plage « Corne d'or ».



Figure II.13: Situation géographique de la plage la Corne d'or (Google earth Pro)

## Chapitre II: Matériel et méthodes

### II.2.3. Station 3:

La plage de KOUALI, se situe au niveau de la baie de Bou-Ismail, elle se localise à environ 70 km à l'Ouest d'Alger, c'est une plage ouverte située à l'Est de la ville de Tipaza. Elle occupe une surface de 5 km. Ses coordonnées géographiques sont 36°35.550'N 2°29.382'E. ce site est considéré comme une zone de référence car l'activité anthropique est réduite. (Figure II.14 et II.15)



Figure II. 14 : Plage de KOUALI de la wilaya de Tipaza



Figure II.15: situation géographique de la plage de KOUALI (Google earth Pro)

### II.3. Matrice eau

La matrice de l'eau a été analysée pour déterminer les caractéristiques spécifiques de l'environnement de l'*Ulva* qui a fait l'objet de cette étude. Il s'agit de quelques paramètres physico-chimiques.

## Chapitre II: Matériel et méthodes

Il s'agit également d'études comparatives entre les trois sites en déterminant l'ampleur de la pollution côtière, ce qui permettra d'envisager d'éventuelles molécules qui seront activement synthétisées par *Ulva* en réponse aux stress anthropiques.

### II.3.1. Travail in situ « en mer »

#### II.3.1.1 Mesure des paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques (température, pH et conductivité) ont été mesurés in situ en surface à 20 cm de profondeur à l'aide d'une valise multiparamètres : les instruments pH-mètre, conductimètre et oxymètre .

Pour la mesure du pH ; l'appareil de marque WTW pH 3151 a été étalonné préalablement avec des solutions tampons (pH = 7). La mesure du potentiel hydrique a été réalisée par la méthode électrochimique. L'électrode en verre doit être rincée après chaque usage, d'une station à une autre, avec de l'eau distillée, et essuyer délicatement avec du papier absorbant.

Pour la conductivité (micro siemens par centimètre ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )), l'appareil de marque WTW type (LF 197) a été calibré immergeant la sonde dans la solution étalon.

La température s'affiche directement en bas et à gauche de l'écran lorsqu'on mesure le pH ou la conductivité. (Figure II.16)

#### Matériel de sortie

- GPS
- La valise multi-paramètres : pH mètre (mesure le pH et la température)
- Conductimètre.
- Oxymètre.
- Les flacons en verre et en plastique.
- Des glacières.
- Pissette de l'eau distillée, rouleau de papier hygiénique, sachets de congélation et sachets poubelles.



Figure II. 16 : Valise multi-paramètres terrain (pH-mètre, conductimètre) et GPS

## Chapitre II: Matériel et méthodes

---

### II.3.1.2. Méthode de prélèvement des échantillons

Des échantillons d'eau pour l'analyse physicochimique et bactériologique ont été prélevés dans des bouteilles en polyéthylène et en verre borosilicaté de 250ml et de 1 L respectivement.

La bouteille a été ouverte et complètement immergée dans l'eau jusqu'à une profondeur de 20 cm, en position verticale inversée, en tenant le fond ; il est ensuite retourné comme suggéré par Rodier (2005). La bouteille remplie d'eau est fermée hermétiquement et retirée de la masse d'eau. Les échantillons soigneusement étiquetés sont placés dans une glacière à 4°C avant d'être expédiés au laboratoire. (Figure II.17)



**Figure II.17 : Prélèvement d'eau de mer**

### II.3.2. Travail au laboratoire:

#### II.3.2.1. Mesure de la matière en suspension (MES)

Les matières en suspension sont mesurées soit par filtration et séchage, soit par centrifugation, lavage et extraction du surnageant. La méthode de filtration est la plus souvent utilisée, bien qu'elle dépende d'un certain nombre de facteurs comprenant la nature chimique et physique des matières en suspension, la taille des pores du filtre, la surface et l'épaisseur du filtre, l'état physique et la quantité des matériaux décantés.

Pour se faire le matériel utilisé est :

- Un dispositif de filtration sous vide.
- Des membranes filtrantes Wattman, de porosité 0,45 $\mu$ m. (Figure II.12)
- Une balance à précision 10<sup>-6</sup>.
- Une étuve de marque MEMMERT. (Figure II.11)
- HCL à 4%.
- Bécher.
- Eau distillée.

#### Mode opératoire

Avant la filtration :

Rincer les filtres dans l'eau acidifiée à 4% (pendant 3 s).

## Chapitre II: Matériel et méthodes

Les filtres sont séchés à l'étuve (105°C pendant 24 H) puis pesés.

Un volume d'échantillon (500 ml) est filtré sur un filtre Wattman de porosité 0,45µm.

Après filtration :

Les filtres sont séchés à l'étuve à 80-105°C pendant 24 heures et pesés une seconde fois.

**Expression de résultats :** La concentration en MES est donnée par l'expression suivante :

$$[\text{MES}] (\text{Mg /l}) = (\text{P2} - \text{P1}) / \text{V}$$

Avec :

P1 : poids du filtre avant filtration (mg)

P2 : poids du filtre après filtration (mg)

V : volume d'eau de mer filtré (l)



Figure II.18 : séchage des filtres à l'étuve



Figure II. 19 : Une rampe de filtration sous vide de marque Sartorius.

### II.3.2.2. Mesure de la demande biochimique en oxygène DBO<sub>5</sub>

La demande biochimique en oxygène exprime la quantité d'oxygène consommée par les microorganismes à 20°C et à l'obscurité pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé (temps nécessaire pour l'oxydation biologique d'une fraction de matière organique carbonée).

La DBO<sub>5</sub> est mesurée par le système VELP (le système **de capteur DBO manométrique**) (Figure II.20)

#### Mode opératoire

- Mesurer 400 ml d'eau de mer (guide de VELP sensor ).
- Introduire l'agitateur magnétique dans chaque bouteille.
- Mettre 5 pastilles de NaOH dans chaque goulot de la bouteille.
- Visser sans fermer hermétiquement le bouchon.
- Mettre sur le système d'agitation à 20°C dans des conditions d'obscurité.

Après 5 jours dans l'incubateur, les mesures sont relevées à partir des bouchons manométriques.



Figure II.20 : le bouchon manométrique (VELP Sensor)

### II.4. Matrice algue:

#### II.4.1. Travail en mer (in situ)

##### II.4.1.1. Récolte et échantillonnage des algues

La récolte des échantillons s'est effectuée manuellement, durant la période allant de février à avril 2023, à raison d'un échantillonnage par mois, au niveau des trois sites (Sidi Fredj, Corne d'or et Anse de Kouali) à des profondeurs de 10 à 60 cm. La récolte des algues a été réalisée le même jour aux niveaux des 03 sites (Figure 1). Les algues récoltées sont rincées à l'eau de mer et mises dans des sachets bruns pour préserver les pigments et placées aussitôt dans des glacières.

#### II.4.2. Travail au laboratoire

##### II.4.2.1. Identification et caractérisation des algues

Avec l'aide de Melle Bahri, l'identification des algues fraîchement récoltées a été réalisée au niveau du Laboratoire de Biologie de l'ENSSMAL. L'analyse comprenait des caractéristiques macroscopiques et morfo-anatomiques (forme, taille et couleur du thalle) et des aspects microscopiques de la coupe transversale (nombre de couches, taille et forme des cellules et des chloroplastes). Les observations sont confrontés et comparées aux clés d'identification rapportées dans la littérature (document FAO) (Bauchot et *al.*, 1987).

#### II.4.3. Traitement des échantillons et analyses

##### II.4.3.1. Prétraitement des algues:

Les algues ont été lavées abondamment à l'eau du robinet pour éliminer les épiphytes et les grains de sables et de sédiments, un dernier lavage est effectué à l'eau distillée.

Les algues une fois bien égouttées sont séchées à l'air libre et l'abri de la lumière ensuite à l'étuve (Figures II.21 et II.22)

## Chapitre II: Matériel et méthodes



Figure II.21 : Lavage des algues avec l'eau distillée et étalement à l'air libre pour séchage.



Figure II. 22 : Algue séchée à l'étuve à 37 °C.

Ensuite, l'algue est finement broyée et tamisée à travers un tamis dont le diamètre des mailles est de 200  $\mu\text{m}$ . La poudre d'algues séchées est conditionnée dans des flacons en verre sombre et conservée dans un dessiccateur.

### II.4.3.2. Détermination de la composition chimique globale des algues:

#### II.4.3.2.1. Détermination de la teneur en eau

La teneur en eau des algues est déterminée par une méthode thermogravimétrique. Cette méthode repose sur la pesée de l'échantillon avant et après séchage à 105°C pendant 24h (AOAC, 1980). La différence des poids rapportée au poids initial correspond au taux d'humidité.

#### ● Mode opératoire :

- Peser les creusets en porcelaine vide.
- Peser dans ces creusets 2 g d'algues fraîches.
- Placer les creusets dans une étuve à 105°C pendant 24 h jusqu'à obtention d'un poids constant.
- Retirer les creusets et les placer dans un dessiccateur.
- Après refroidissement, repeser les creusets.

## Chapitre II: Matériel et méthodes

Le taux d'humidité des algues est calculé selon la formule suivante :

$$H\% = \frac{M1 - M2}{M1 - M0} \times 100$$

Avec :

**H%** est la teneur en humidité en pourcentage.

**M<sub>0</sub>** est la masse du creuset vide en g.

**M<sub>1</sub>** est la masse en g du creuset et des échantillons avant séchage.

**M<sub>2</sub>** est la masse en g du creuset et des échantillons après séchage.

### II.4.3.2.2. Détermination de la teneur en minéraux

#### ● Principe :

La teneur en minéraux a été déterminée par la méthode référentielle AOAC, (1999). Elle est obtenue en incinérant des algues séchées dans un four à moufle à 600°C pendant au moins 4 heures jusqu'à complète calcination et obtention de cendres blanches.

Les minéraux précipitent sous forme de cendres blanches.

#### ● Mode opératoire :

- Peser les creusets en porcelaine vide.
- Peser 2 g d'algues séchées.
- Placer les creusets dans le four à moufle à 600°C pendant 4 heures. (Figure II.15)
- Retirer les creusets et les placer dans un dessiccateur.
- Peser les creusets encore une fois après refroidissement.

La teneur en matière minérale est calculée comme suit :

$$MM(\%) = \frac{P3 - P1}{P2 - P1} \times 100$$

Avec :

P1 : poids du creuset vide, P2 : poids du creuset contenant la prise d'essai, P3 : poids du creuset contenant le résidu incinéré

### II.4.3.2.3. Détermination de la teneur totale en lipides

La détermination de la fraction lipidique a été réalisée par la méthode Soxhlet. Une méthode gravimétrique qui repose sur la pesée des échantillons avant et après l'extraction.

Les lipides sont insolubles dans l'eau et très solubles dans les solvants organiques comme l'éther, et c'est cette propriété qui permet leur extraction.

#### Principe :

L'extraction au Soxhlet consiste à placer un échantillon (poudre d'algue sèche) à l'intérieur d'une cartouche en cellulose puis dans l'extracteur, qui est relié à une fiole contenant un solvant (l'éther éthylique) et un condenseur. Le solvant est chauffé et évaporé, la vapeur de solvant chaude se déplace ensuite jusqu'au condenseur, où elle se refroidit et tombe sur l'échantillon dans la cartouche. La chambre contenant l'échantillon se remplit lentement de solvant condensé. Une fois pleine, elle est vidée par une action de siphonage dans le ballon de solvant. Au cours de chaque cycle, une partie des composants solubles dans le solvant est extraite. Ce cycle est répété plusieurs fois jusqu'à ce que tous les lipides soient séparés de l'échantillon.

## Chapitre II: Matériel et méthodes

Une fois l'extraction complète, les ballons seront placés dans un rotavapeur, afin que l'éther restant soit évaporé ; et les ballons contenant la matière grasse uniquement seront pesés. (Figure II.23 )

### ● Mode opératoire :

- Peser quatre cartouches en Cellulose vides et tarer.
- Peser dans chaque cartouche 2 g de poudre d'algue et laisser une cartouche vide (le blanc).
- Peser les ballons vides.
- Placer les cartouches avec l'échantillon dans le Matra
- Ajouter 160 ml d'éther éthylique dans chaque poste.
- Régler le dispositif du chauffe-ballon à 60°C.

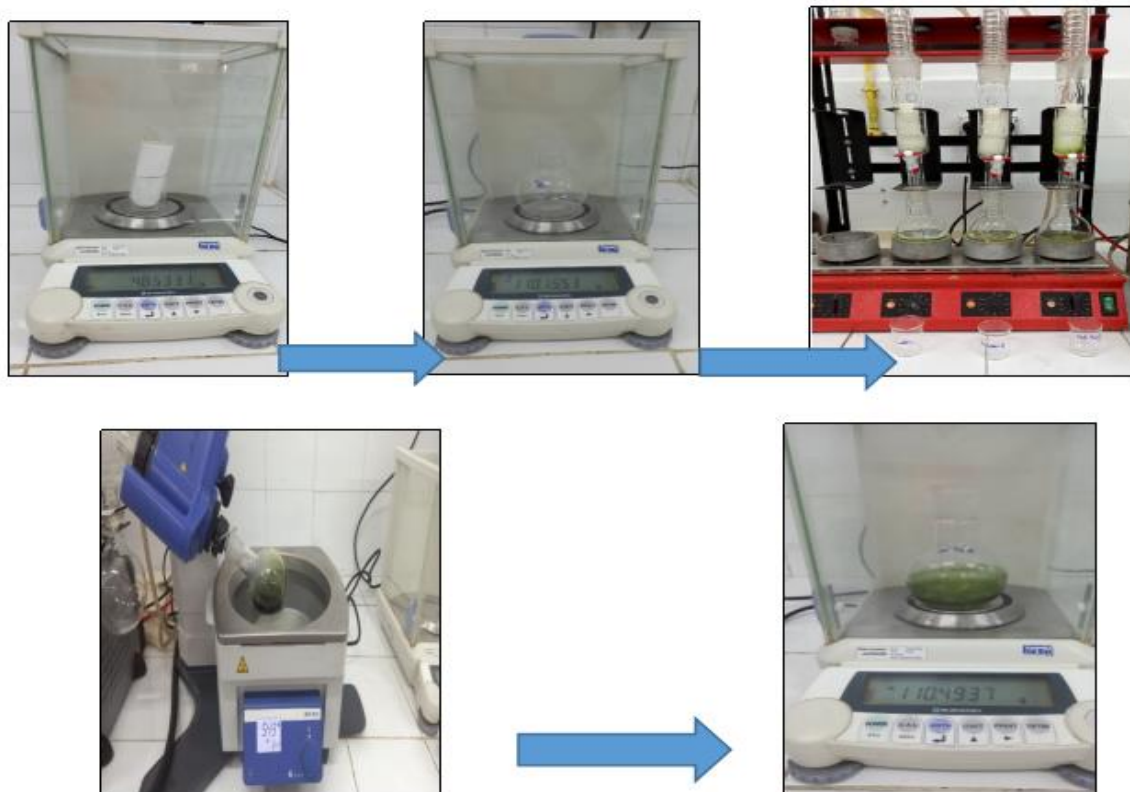


Figure II.23 : extraction des lipides totaux contenus dans l'*Ulva lactuca* par Soxhlet

La teneur en lipides (%) est estimée par la formule suivante :

$$\text{Teneur en lipides (\%)} = \frac{\text{Masse des lipides}}{\text{Masse de l'échantillon}} \times 100$$

Sachant que :

$$\text{Masse des lipides} = P1 - P0$$

P1 : Poids du ballon après extraction

P0 : poids du ballon avant extraction

### II.4.3.2.4. Détermination de la teneur en protéines

Elle est déterminée par la méthode de Biuret modifiée.

## Chapitre II: Matériel et méthodes

---

### Principe :

La méthode consiste à mesurer le nombre de liaisons peptidiques. Le biuret (formule moléculaire  $\text{H}_2\text{N-CO-NH-CO-NH}_2$ , c'est-à-dire deux molécules d'urée) se lie avec les ions cuivre  $\text{Cu}^{2+}$  produisant un complexe qui absorbe fortement à 540 nm dans les milieux alcalins. Dans les mêmes conditions expérimentales, la liaison peptidique établie entre deux acides aminés a également pu former un complexe avec des ions cuivre. Le complexe peut être mesuré par spectrophotométrie d'absorption à 540 nm. Cette méthode a été introduite en 1914 par Riegler puis souvent modifiée (Kingsley, 1939), elle est encore utilisée actuellement pour doser les protéines totales du sérum par exemple (Tichy et *al.*, 2009).

Une gamme étalon est générée à partir d'un étalon de concentration connue ; la mesure de la concentration en protéines de l'échantillon est déterminée par comparaison avec cette gamme étalon.

### • Mode opératoire

- Préparer une solution mère de Sérum albumine bovine (BSA) à 1 %
- Préparer ensuite une gamme en utilisant différentes concentrations de BSA (0,1- 0,2- 0,3- 0,4- 0,5 g/l) ainsi que l'échantillon.
- Ajouter de l'eau distillée (volume final  $v_f=1$  ml) et du NAOH dans la gamme et l'échantillon
- Ajouter dans la gamme et l'échantillon un volume du réactif de Biuret
- Incuber à  $T^\circ$  ambiante, de 30 à 90 min, à l'abri de la lumière
- Lecture à 545 nm après 35 min d'incubation
- Tracer la courbe étalon,  $\text{DO}=f(c)$

## Chapitre II: Matériel et méthodes

### II.4.3.3. Extraction des biomolécules d'intérêt Éco-toxicologique

#### II.4.3.3.1. Extraction et dosage des composés phénoliques

##### A - Extraction des composés phénoliques

- **Mode opératoire :**

L'extraction des composés phénoliques a été réalisée selon le protocole de Mezdour et Menad (2018) modifiée. L'algue séchée et finement broyée a été macérée dans un mélange de solvants. Le mélange a été filtré sous vide puis centrifugé. L'extrait est concentré à l'aide d'un évaporateur rotatif et il est conservé à  $-20^{\circ}\text{C}$  jusqu'à utilisation. (Figures II.24)

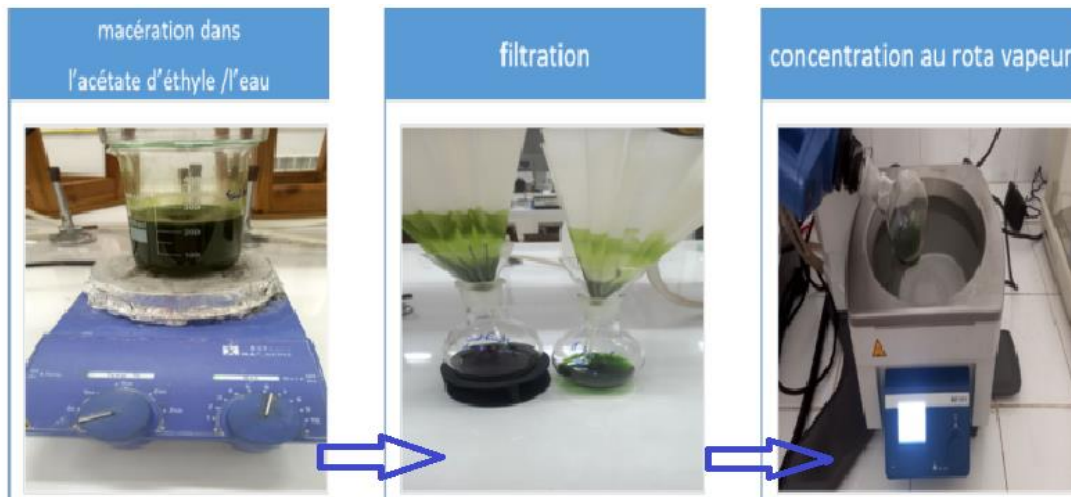


Figure II.24 : Diagramme général d'extraction des polyphénols totaux.

##### B- Dosage des composés phénoliques

###### Principe

Le dosage des polyphénols totaux a été effectué selon la méthode de Folin Ciocalteu. Une méthode colorimétrique qui repose sur l'utilisation d'un réactif jaune pâle appelé réactif de Folin. Ce dernier est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique ( $\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$ ) et d'acide phosphomolybdic ( $\text{H}_3\text{PMO}_{12}\text{O}_{40}$ ).

L'oxydation du composé phénolique réduit le réactif en un mélange d'oxyde bleu de tungstène et de molybdène (BOIZOT et CHARPENTIER, 2006). La couleur produit un maximum d'absorption à 760 nm, proportionnelle à la quantité de polyphénols présents.

###### Mode opératoire

Le dosage des polyphénols totaux a été réalisé selon le protocole de BENARIBA et *al.* (2013).

Mélanger un volume de 0,1 ml d'extrait d'algues avec 2 ml de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  à 2 %, agiter le mélange et incubé à température ambiante pendant 5 min. Ensuite, 100  $\mu\text{l}$  de réactif de Folin 0,2 N' ont été ajoutés. Les tubes agités ont été incubés une seconde fois pendant une demi-heure à température ambiante et à l'abri de la lumière. L'absorbance a été mesurée à 760 nm contre un blanc. Des gammes étalons ont été préparées en utilisant différentes concentrations de phénol de 50 à 1000 g/ml dans les mêmes conditions opératoires.

Après obtention d'une gamme standard de valeurs d'absorbance, une courbe d'étalonnage est tracée et une droite de régression linéaire est déterminée, à partir de laquelle la

## Chapitre II: Matériel et méthodes

concentration de l'extrait de polyphénols est déduite. Les résultats sont exprimés en grammes d'équivalents phénoliques par mg d'extrait.

Le taux de polyphénols est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Polyphénols} = \frac{a \times f}{C}$$

Avec :

a : Concentration de polyphénols déterminée à partir de la courbe d'étalonnage.

f : Facteur de dilution (22).

C : Concentration de l'extrait.

### II.4.3.3.2. Extraction des polysaccharides:

L'extraction des polysaccharides hydrosolubles de *l'Ulva lactuca* a été précédée d'une étape de délipidation et de dépigmentation afin d'éliminer les substances contaminant les polysaccharides. Cela se fait par des extractions successives à l'aide des solvants de polarité croissante . En effet, la poudre d'algue séchée et broyée est insérée dans trois cartouches de cellulose, qui sont placées à l'intérieur d'extracteur Soxhlet (Chaque cartouche dans un matra).

Une première extraction est effectuée avec de l'acétone. Le résidu d'extraction séché a été prétraité avec de l'éthanol sous reflux à l'aide de l'appareil de Soxhlet. Ensuite, le résidu a été séché à l'étuve à 50°C pendant 24 h.

L'extraction proprement dite des polysaccharides hydrosolubles a été effectuée par macération dans de l'eau distillée bouillante.

Après filtration avec de la gaze , le filtrat contenant les polysaccharides a été recueilli et refroidi. un volume d'éthanol absolu ont été progressivement ajoutés au filtrat manuellement et sous agitation vigoureuse. Le polysaccharide précipite pour former une pelote autour de l'agitateur en verre. La pelote a été dépolymérisée par lavage à l'éthanol, puis placée dans une étuve à 60°C pendant 24 heures, puis finement broyées au mortier et stockées dans une bouteille brune fermée dans un endroit sec à température ambiante jusqu'à utilisation. (Figure II.25)

## Chapitre II: Matériel et méthodes

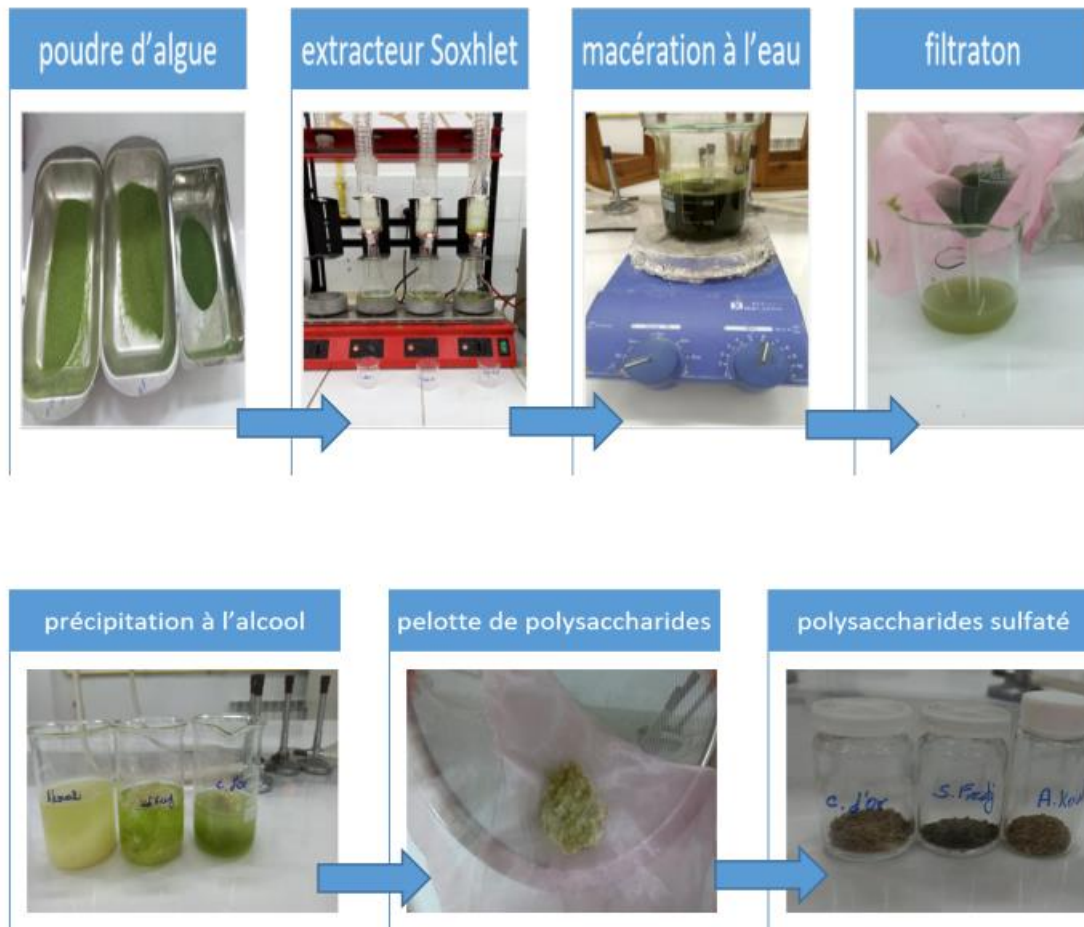


Figure II.25: Diagramme général d'extraction des polysaccharides

- **Calcul du rendement d'extraction**

Le rendement d'extraction des polysaccharides, exprimé en pourcentage (%), est le rapport du poids de l'extrait sec brut obtenu au poids de la matière sèche de l'échantillon initialement utilisée (Drosou et *al.*, 2015).

$$\text{Rendement des polysaccharides}\% = \frac{M1}{M0} \times 100$$

Avec :

M0 : La masse de poudre d'algues conditionnée dans la boîte en cellulose, M1 : La masse du précipité après séchage

## Chapitre II: Matériel et méthodes

### II.4.3.3.3. Extraction, Séparation et identifications des pigments photosynthétiques

#### II.4.3.3.3.1. Extraction des pigments photosynthétique :

- **Mode opératoire :** (Thanh-Turc et Escalle-Lewis, 2011)
- Macération la poudre d'algue dans un solvant organique pendant 24 h ;
- Mélanger à chaque fois jusqu'à ce que le solvant prenne une couleur vert foncé ;
- Filtrer le broyat sur papier filtre, le filtrat obtenu doit avoir une couleur verte translucide ;
- Récupérer le résidu et procéder à une deuxième macération dans un autre solvant plus polaire que le premier ;
- Récupérer le résidu et procéder à une troisième macération dans un troisième de polarité croissante
- Filtrer la solution, puis évaporer au rotavapeur.

#### II.4.3.3.3.2. Séparation et identification des pigments photosynthétiques

##### A - Chromatographie de partage sur colonne avec le gel de silice

###### Principe :

La chromatographie de partage consiste en la distribution différentielle des deux solvants qui composent les phases mobile et stationnaire. Ce dernier est obtenu en greffant le premier solvant sur le support solide à l'intérieur de la colonne. La solution de chlorophylle extraite est déposée sur la colonne. La phase mobile (éluant) permet de séparer le pigment de la chlorophylle par affinité. Le carotène étant le moins polaire, il est élu avec un éluant composé de 90 % de solvant non polaire et de 10 % de solvant polaire.

Selon la polarité du pigment, varier l'éluant pour une affinité optimale. Ainsi, les différents composants de la chlorophylle sont collectés par distillation fractionnée. On obtient plusieurs couleurs à base de pigments chlorophylliens. Cette méthode qualitative permet un suivi visuel de la migration des pigments en raison de leur couleur.

###### ● **Mode opératoire :**

On réalise préalablement une colonne de gel de silice qui servira de phase fixe ou stationnaire.

- Préparer 100 ml d'éluant solvant
- Placer du coton cardé au fond d'une burette de 25 ml.
- Recouvrir le coton de 0,5 cm de sable de Fontainebleaux et déposer quelques millilitres d'éluant afin de chasser l'air enfermé dans le coton.
- Dans un bécher, mélanger le gel de silice en poudre avec l'éluant. Agiter afin d'obtenir un gel.
- Verser ce gel dans la burette et rajouter de l'éluant si le gel se solidifie. « Tapoter » légèrement la colonne afin de chasser les éventuelles bulles d'air et de tasser la colonne.
- Déposer une seconde couche de 0,5cm d'épaisseur de sable de Fontainebleaux afin de garder le haut de la colonne de silice toujours plate lors des dépôts d'échantillon et d'éluant.

## Chapitre II: Matériel et méthodes

---

- Une fois que la colonne est tassée, jeter le surplus d'éluant de la colonne afin que son niveau arrive au ras du sable
- Travailler à l'obscurité pour éviter l'oxydation des pigments. Le suivi de l'évolution de chaque pigment chlorophyllien se fait visuellement en suivant la séparation de chaque couleur lors des différentes éluions
- Prélever l'extrait brut et déposer au-dessus de la colonne à l'aide d'une pipette.
- Laisser couler le solvant en rajoutant régulièrement de l'éluant en haut de la colonne,
- Récupérer les différentes fractions puis placez-les dans des piluliers hermétiques bruns
- Conserver ces fractions dans le congélateur à une température (-20°C) jusqu'à nouvelle utilisation.

- **Analyse spectrophotométrique :**

Les différentes fractions de pigment obtenues ont fait l'objet d'une analyse au spectrophotomètre avec un balayage de spectre de 350 nm à 700 nm, afin de déterminer l'absorbance maximale de chaque fraction  $A=f(\lambda)$ .

### **B - Chromatographie sur couche mince**

- **Principe :**

La chromatographie sur couche mince permet la séparation des pigments à des fins analytiques. La phase stationnaire est constituée d'une couche solide sur laquelle est déposé le gel de silice en tant que support, et la phase liquide est constituée de l'éluant qui permet la séparation des différents pigments. Déposer quelques gouttes d'échantillon sur la phase stationnaire à l'aide d'une micropipette pour former un spot.

La plaque de silice est mise en contact avec la phase liquide qui va migrer et entraîner les composés par capillarité. Une fois que la migration est terminée, on obtient plusieurs tâches colorées sur la plaque de silice correspondantes aux différents composants de l'extrait brut.

### **Mode opératoire**

- Activer la plaque de silicone à température de 100 °C pendant une heure.
- Utiliser un crayon pour tracer une ligne de départ à 02 cm du bas de la plaque et placer une croix comme repère pour placer l'échantillon (la distance entre les croix est de 02 cm).
- A l'aide d'une micropipette, prélever une goutte d'extrait d'algue, placer chaque échantillon dans la position marquée et attendre qu'il sèche. Répéter cette opération plusieurs fois pour rendre la tâche clairement visible.
- Lorsque le dépôt a séché, placer délicatement la plaque TLC dans le réservoir et laisser l'éluant migrer à travers la silice imprégnée.
- Retirer la plaque de la cuvette et marquer le devant de l'éluant avec un trait de crayon.
- Observer le chromatogramme et utiliser un crayon pour encercler les taches de différentes couleurs qui apparaissent.

## Chapitre II: Matériel et méthodes

---

- Noter la distance de migration de chaque tâche et calculer le rapport frontal. On appelle rapport frontal  $R_f$  d'une espèce chimique, le rapport entre la distance  $x$  parcourue par l'espèce et la distance  $y$  parcourue par l'éluant pendant le même temps. Le  $R_f$  dépend de la nature du produit, de l'éluant et de la phase stationnaire.

$$R_f = \frac{X}{Y} = \frac{\text{Distance parcourue par la substance}}{\text{Distance parcourue par l'éluant}}$$

# **Chapitre III: Résultats et Discussion**

## Chapitre III: Résultats et discussion


---

### Chapitre III. Résultats et Discussion

#### III.1. Identification des échantillons d'algues vertes

Après avoir procédé à un examen approfondi des échantillons fraîchement prélevés sur les trois sites (S1 (Sidi Fredj), S2 (Corne d'Or) et S3 (Anse de Kouali)), une espèce a été sélectionnée et identifiée grâce à l'observation des caractéristiques morphologiques macroscopiques et microscopiques en se basant sur les critères distinctifs énumérés dans la fiche FAO (Fischer et *al.*, 1987). Il s'agit de l'*Ulva lactuca*. La taxonomie sommaire est consignée dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III. 2: Taxonomie de l'*Ulva lactuca* (la fiche FAO) ((BAUCHOT *et al.*, 1987)**

Embranchement	Chlorophyta
Classe	Ulvophyceae
Ordre	Ulvales
Famille	Ulvaceae
Genre	<i>Ulva</i>
Espèce	<i>Ulva lactuca</i> <i>Linnaeus, 1753</i>
	
<b>Figure III.26: <i>Ulva lactuca</i> (Mansour et Sassi, 2023).</b>	

## Chapitre III: Résultats et discussion

**Tableau III.3 :** Identification *l'Ulva lactuca* à partir des caractères macroscopiques et microscopiques.

### Caractères macroscopiques

- Algue foliacée d'un vert brillant ou jaune clair, fixée par un disque. Lames très minces, translucides.
- Une marge lisse, taille de l'ordre de 10 à 50 cm de diamètre selon la saison.
- L'algue est fixée sur les substrats avec un crampon en forme discoïde avec
- Une partie basale épaisse et la partie supérieure plus fine.



**Figure III.28:** Bord du thalle lisse  
(doris.ffesm.fr)



**Figure III.27:** *Ulva lactuca* linnaeus, 1753

(Mansour et Sassi, 2023)

### Caractères microscopiques

- Le thalle n'a pas de bords dentelés. (Figure III.29)
- La coupe transversale montre une lame constituée de 2 couches de cellules superposées ; (Figure III.30). La plaque bistomatique contenant des chloroplastes est composée de grandes cellules contiguës de forme pentagonale ou hexagonale



**Figure III.29:** cellules pentagonal (la thalle )  
(observation en microscope x40x10  
x40x10 )

(Mansour et Sassi, 2023)



**Figure III.30:** Observation microscopique  
(Gx40x10) d'une coupe transversale du  
thalle d'*Ulva lactuca* ( une lame constituée  
de 2 couches de cellules superposées)

## Chapitre III: Résultats et discussion

les critères d'identification sont représentés dans les tableaux III.2 et III.3.

### III.2. Composition chimique globale de l'*Ulva lactuca*

Dans le tableau et la figure ci-dessous (**tableau III.4**) sont présentés la composition chimique globale moyenne de l'*Ulva lactuca* échantillonnée aux niveaux des trois sites (Sidi Fredj, Corne d'Or, Anse de Kouali) durant la période allant de février à avril 2023, à raison d'un échantillonnage par mois.

**Tableau III. 4 : Composition chimique globale moyenne de l'*Ulva lactuca* Selon les sites d'échantillonnage (Sidi Fredj, Corne d'Or, Anse de Kouali)**

Composants	Sites	Site 01 (Sidi Fredj) <i>Ulva lactuca</i>		Site 02 (Corne d'Or) <i>Ulva lactuca</i>		Site 03 (Anse de Kouali) <i>Ulva lactuca</i>	
Eau		12,73%*	86,57%**	12,75%*	7,56%**	12,46%*	85,31%**
Minéraux		30,65%*		26,75%*		26,12%*	
Lipides totaux-pigments		7,22%*		6,12%*		5,6%*	
Protéines totales		18,19%*		14,46%*		12,49%*	
Polysaccharides totaux		23,54%*		20,61%*		19,65%*	
Composés phénoliques		9,13%*		5,36%*		3,18%*	

\* Résultat exprimé par rapport à la matière sèche.

\*\* Résultat exprimé par rapport à la matière fraîche.

## Chapitre III: Résultats et discussion

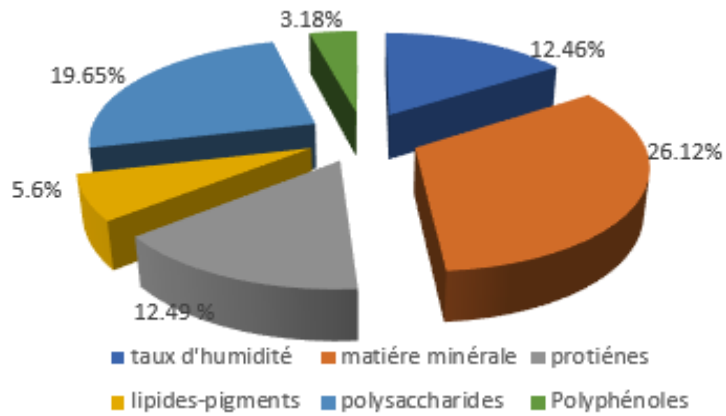


Figure III. 31: Composition chimique globale de l'algue *Ulva lactuca* au niveau du site Anse de Kouali

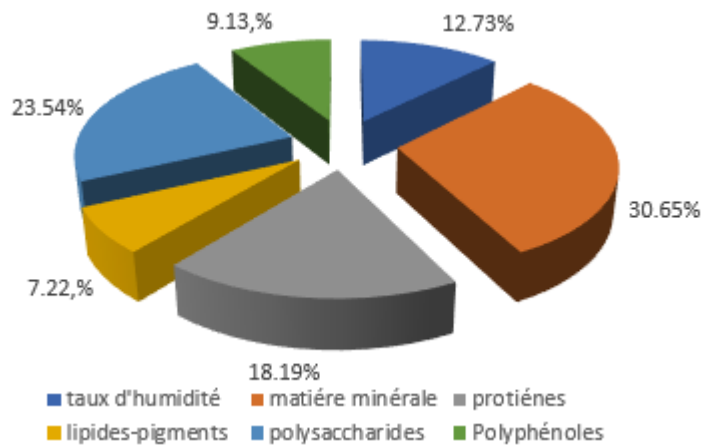


Figure III.32: Composition chimique globale de l'algue *Ulva lactuca* au niveau du site Sidi Fredj

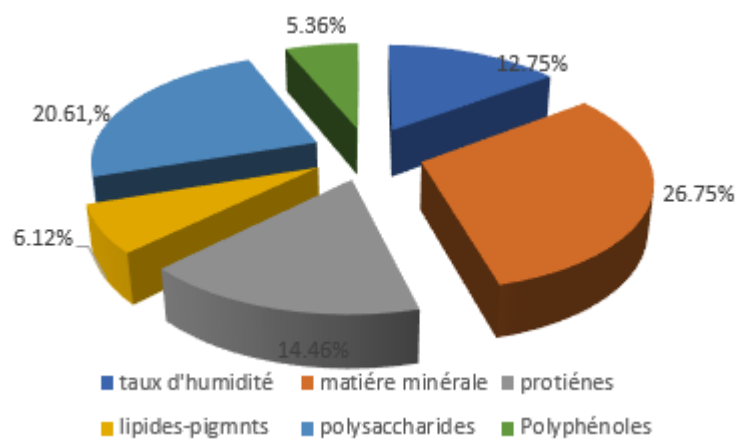


Figure III.33: Composition chimique globale de l'algue *Ulva lactuca* au niveau du site la Corne d'Or.

## Chapitre III: Résultats et discussion

### III.2.1. Teneur en eau

D'après les données du tableau III.3 et la figure III.34 , il est observé que la teneur en eau de *l'Ulva lactuca* récoltées aux niveaux des trois sites ( Sidi Fredj S1, Corne d'or S2 et Anse de Kouali S3 ) est estimée par rapport à la matière fraîche (MF) à des taux respectifs de 86,57%, 87,56% et 85,31%; et par rapport à la matière sèche (MS) à des taux de 12,73%, 12,75% et 12,64 % dans le même ordre.

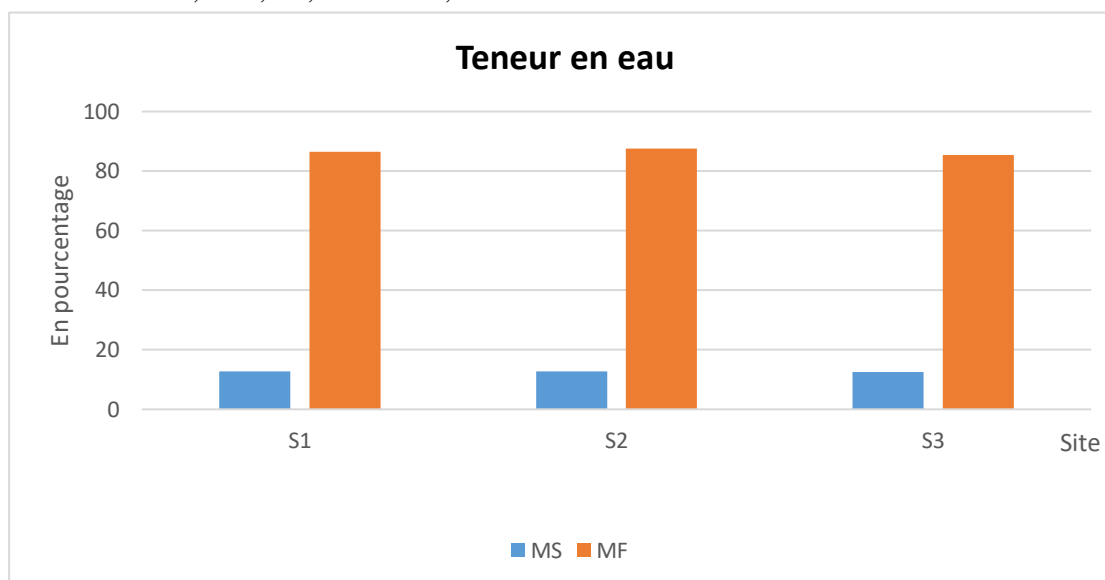


Figure III.34: teneur moyenne en eau de *l'Ulva lactuca* aux niveaux des trois sites d'études (Sidi Fredj S1, Corne d'or S2 et Anse de Kouali S3)

En général, différentes espèces d'algues ont des teneurs en eau différentes, ce qui s'explique par la profondeur à laquelle résident les différentes espèces d'algues. Les algues vertes situées au niveau de l'étage supra-littoral sont sujettes à des périodes d'émersion et de dessiccation.

Lorsqu'elles sont séchées, la teneur en eau peut être influencée par plusieurs facteurs, tels que le mode de séchage et les conditions de stockage.

Ces valeurs sont cohérentes avec celles rapportées par YAICH et *al.* (2011), YAICH et *al.* (2015), OUCIF et *al.* (2020), Leclerc et Floc'h (2010), Shanmugam et Palpandi (2010) et Marcham et *al.* (2007) ; les teneurs en eau enregistrées par rapport à la matière fraîche des ulves varient de 74,9 % à 90%.

En effet, selon l'étude de Leclerc et Floc'h (2010), les algues marines dont *l'U. lactuca* sont constituées jusqu'à 90% d'eau.

Hamdi et Zidi (2020) ont signalé que la teneur en eau de *l'Ulva spp.*, estimée par rapport à la matière fraîche (MF) et la matière sèche (MS), est respectivement de 86,13% et 17,25%.

Goudjil et Guerouabi ont signalé que les teneurs en eau de *l'Ulva lactuca* et de *l'Ulva intestinalis* collectées sur les trois sites S1, S2 et S2 (Ain Benian, Sidi Fredj et

## Chapitre III: Résultats et discussion

Ain Tagourait) en 2022 étaient respectivement de 86,32%, 85,86% et 87,11% par rapport à la matière fraîche (MF). S3 ; les rapports de matière sèche (MS) étaient de 17,26 %, 17,97 % et 17,82 %.

Par ailleurs, Oucif (2019) et Snoussi et *al.* ( 2018) ont relevé chez *Ulva lactuca* des teneurs en eau dans l'ordre de 16,53 % et 15.25 % (MS).

Par conséquent, les taux les plus élevés enregistrés dans le cadre de cette étude sont ceux provenant des deux sites Sidi Fredj et la corne d'or.

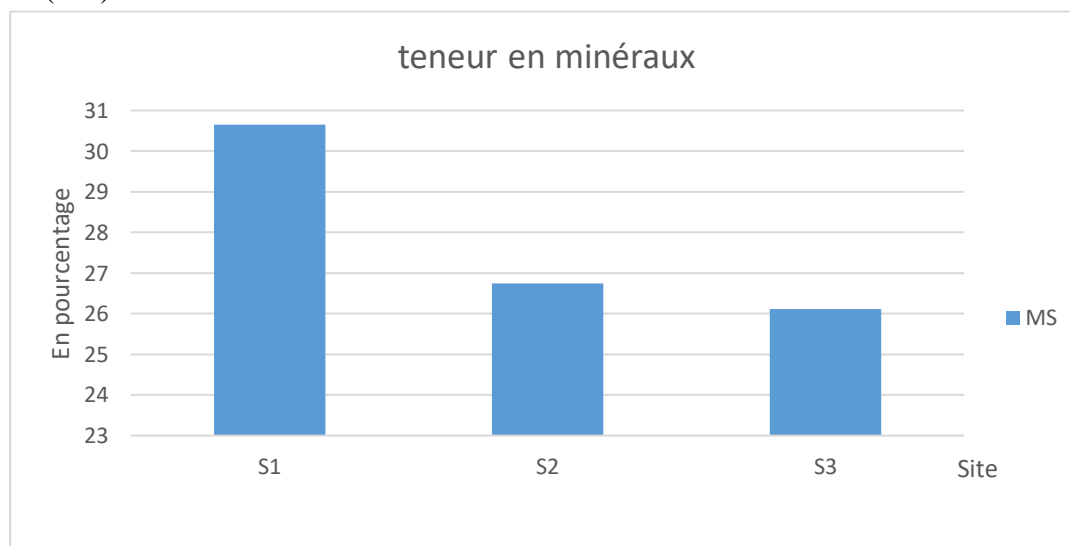
### III.2.2. Teneur en minéraux totaux

Les taux de cendres des ulves collectées aux niveaux des trois sites ( Sidi Fredj ,la Corne d'Or et Anse de Kouali) sont respectivement de 30.65%, 26.75% et 26.12% (MS). Selon la littérature, les taux en minéraux varient généralement entre 8% et 40% pour *Ulva lactuca* (Macartain et *al.*, 2008) et entre 24.60% et 29% pour *Enteromorpha intestinalis* (Rajeswary et *al.*, 1984).

Zitouni (2015) a signalé que la fraction minérale chez *Ulva lactuca* . représente 39.1% du poids sec.

Par contre, Hamdi et Zidi (2020) ont rapporté que la fraction minérale chez *Ulva* spp. représente 19.9% du poids sec.

Goudjil et Guerouabi ont signalé que les teneurs en eau de l'*Ulva lactuca* et de l'*Ulva intestinalis* collectées sur les trois sites (Ain Benian, Sidi Fredj et Ain Tagourait) en 2022 étaient respectivement de 33.85%, 26.86% et 26.99% par rapport à la matière sèche (MS).



**Figure III.35: teneur moyenne en minéraux de l'*Ulva lactuca* aux niveau des trois sites d'études (Sidi Fredj S1, Corne d'or S2 et Anse de Kouali S3)**

Pour effectuer une comparaison des teneurs en matière minérale de l'algue *Ulva lactuca* , enregistrées aux niveaux des trois sites d'échantillonnage, nous pouvons utiliser le test de Student (t-test) pour évaluer s'il existe des différences significatives entre les groupes.

## Chapitre III: Résultats et discussion

Avec un échantillon de taille 3, et un risque à 5% : la valeur du T théorique, selon la table T Student, est estimée à 4,303.

**Tableau III.5:** Comparaison des teneurs en matières minérales de l'algue *Ulva lactuca* enregistrées aux niveaux des trois sites d'échantillonnage (Sidi Fredj S1, Corne d'or S2 et Anse de Kouali S3), selon le test Student.

	S1 vs S2	S1 vs S3	S2 vs S3
T calculé	2.45	0.18	-0.42

Pour toutes les comparaisons par paires, ce paramètre enregistre des valeurs inférieures à 4.303. Par conséquent, les différences entre tous les sites n'étaient pas significatives.

Néanmoins, les estimations du Site 01 (Sidi Fredj ) dépassent celles du Site 02 (La Corne d'Or) et du Site 03 (Anse de Kouali ), bien que cette différence ne soit pas significative.

Cela peut s'expliquer par le fait que la teneur en minéraux des algues varie en fonction de plusieurs facteurs : espèce, situation géographique, saison, environnement et changements physiologiques (Sanchez-Machado, 2004 et Siddique et *al.*, 2013).

### III.2.3. Teneur en lipides totaux

Les teneurs en lipides des échantillons analysés provenant des trois endroits sont présentées dans le tableau 03.

La teneur en lipides des algues vertes *Ulva lactuca* récoltées sur trois sites (Sidi Fredj , La Corne d'Or et Anse de Kouali) était respectivement de 7.22 %, 6.12 % et 5.6 % (MS). Les niveaux de lipides des algues étaient plus élevés sur les deux premiers sites par rapport au troisième site (Anse de kouali).

Selon les valeurs rapportées dans la littérature, la teneur en lipides de la plupart des macroalgues, dont *Ulva*, est inférieure à 4 % (Dermid et Stuercke, 2003). Néanmoins, on peut observer des fluctuations selon des facteurs géographiques et saisonniers et selon le stade de développement des algues (Haroon et *al.*, 2000 et Ortiz et *al.*, 2006).

Kendel et *al.* 2015 ont rapporté que la teneur en lipides dans les algues vertes, spécifiquement *Ulva lactuca*, est faible. Elle varie de 0.3% jusqu'à 3 % selon l'origine des algues.

Par ailleurs, la teneur en lipides enregistrée pour l'*Ulva* de Ain Tagourait qu'est signalée par Goudjil et Guerouabi (2022) (3,93% MS) était cohérente avec les résultats obtenus par Manivannan et al (2018) et Papou et al (2022) (3,5% pour *Ulva*).

## Chapitre III: Résultats et discussion

D'autre part, Wielgosz Collin et *al.* (2016) ont observé une teneur en lipides dans *Ulva* allant de 0,7 % à 5,1 % (MS).

Aussi Goudjil et Guerouabi (2022) ont signalé que les contenus en lipides des algues vertes *Ulva lactuca* et *Ulva intestinalis* récoltées aux niveaux de Ain Benian et de Sidi Fredj sont respectivement 5,6% , 5,23% (MS)

De même, Snoussi et Chibani (2018) ont signalé que le contenu en lipides de l'algue verte *Ulva lactuca* est relativement moyen avec une teneur de 5.5%.

La comparaison des teneurs en lipides totaux entre les sites est consignée dans le tableau suivant.

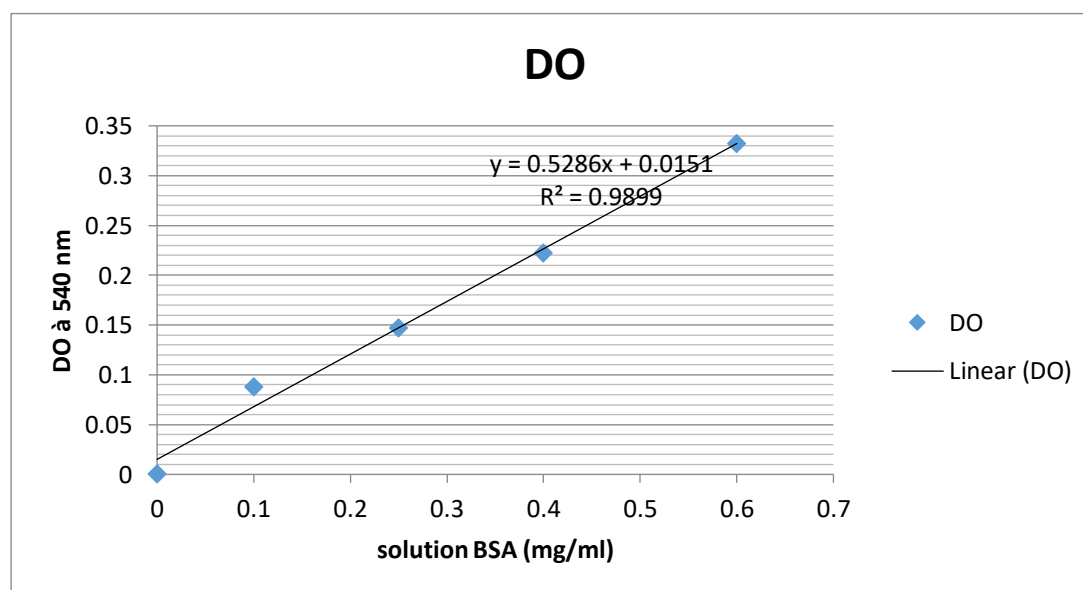
**Tableau III.6:** Comparaison des teneurs en lipides de l'algue *Ulva lactuca* enregistrées au niveau des trois sites d'échantillonnage (Sidi Fredj S1, La Corne d'or S2 et Anse de Kouali S3), selon le test Student.

	S1 vs S2	S1 vs S3	S2 vs S3
T calculé	0.393	0.609	0.354

Pour toutes les comparaisons par paires, ce paramètre enregistre des valeurs inférieures à 4.303. Par conséquent, les différences des teneurs en lipides totaux entre les trois sites ne sont pas significatives.

### III.2.4 Teneur en Protéines totales

La teneur totale en protéines des extraits d'algues a été déterminée à partir de l'équation de régression linéaire de la courbe d'étalonnage (figure III.36)



**Figure III.36:** Courbe étalon de la solution de BSA ( $D.O=f[BSA]$ , méthode du biuret modifiée)

## Chapitre III: Résultats et discussion

La teneur en protéines extractibles mesurée dans cette étude varie selon le site de récolte et elle est dans l'ordre décroissant 18,86% (MS) pour le site1(Sidi Fredj), 14,46% (MS) pour le site 02 (La Corne d'Or), et 12,16 % (MS) Site 03 (Anse de Kouali). La comparaison des teneurs en protéines entre les sites est consignée dans le tableau suivant (Tableau III.7).

**Tableau III.7:** Comparaison des teneurs en protéines de l'algue *Ulva lactuca* enregistrées au niveau des trois sites d'échantillonnage, selon le test Student.

	<b>S1 vs S2</b>	<b>S1 vs S3</b>	<b>S2 vs S3</b>
<b>T calculé</b>	<b>3.134</b>	<b>4.169</b>	<b>1.891</b>

Selon la table de student, la valeur T théorique à 5 % de risque est de 4,303. Dans toutes les comparaisons par paires, les valeurs calculées sont inférieures à la valeur théorique.

En résumé, les résultats des tests de Student indiquent qu'il n'y a pas de différences significatives entre les teneurs en protéine du site 1 par rapport aux sites 2 et 3.

### III.2.5. Teneur en Polysaccharides totaux

L'un des principaux polysaccharides des ulves est l'ulvane, présent dans les parois des algues et qui représente jusqu'à 30 % du poids sec de ces algues. Il est soluble dans l'eau et possède un large éventail d'activités physiologiques et biologiques, telles que des activités anticancéreuses, anticoagulantes, antioxydantes, antifongiques et antitumorales (Thanh *et al.*, 2016 et Lahaye *et al.*, 2007).

Les niveaux de polysaccharides extraits dans cette étude varient selon le site. le pourcentage le plus élevé est enregistré au niveau de la plage de Sidi Fredj (S1) avec 23,54% (MS), suivi de la Corne d'Or ( S2) (MS) 20,61% (MS) et enfin au niveau de Anse de Kouali (S3) où les teneurs étaient de l'ordre de 19,65% (MS).

Tous les résultats obtenus dans cette étude corroborent avec ceux rapportés par Lahaye et Robic (2007), qui ont établi des fourchettes pour les taux d'extraction des polysaccharides chez *Ulva spp* allant de 8 % à 26 % (MS). Par contre, Song *et al.* (2010) ont noté des taux allant jusqu'à 86,1 % (MS), alors que Wang *et al.* (2011) n'ont trouvé que 7,58 % de polysaccharides (MS)

Selon Kidgell *et al.* (2009) et Ning *et al.* (2022), la teneur en polysaccharides dans *Ulva sp* variait selon la méthode et la durée d'extraction et la suivant le solvant utilisé.

Goudjil et Guerouabi ont signalé que les teneurs en polysaccharides de *Ulva lactuca* et *Ulva intestinalis* collectées sur les trois sites (Ain Benian, Sidi Fredj et Ain Tagourait) est estimée par rapport à la matière sèche (MS) sont respectivement 16,19%, 15,08%, 8,64%.

## Chapitre III: Résultats et discussion

Hamdi et Zidi (2019) ont signalé que le contenu en polysaccharides de l'algue verte *Ulva sp* est relativement moyen avec une teneur de 20%. La comparaison des teneurs en polysaccharides entre les sites est consignée dans le tableau suivant (Tableau III.8).

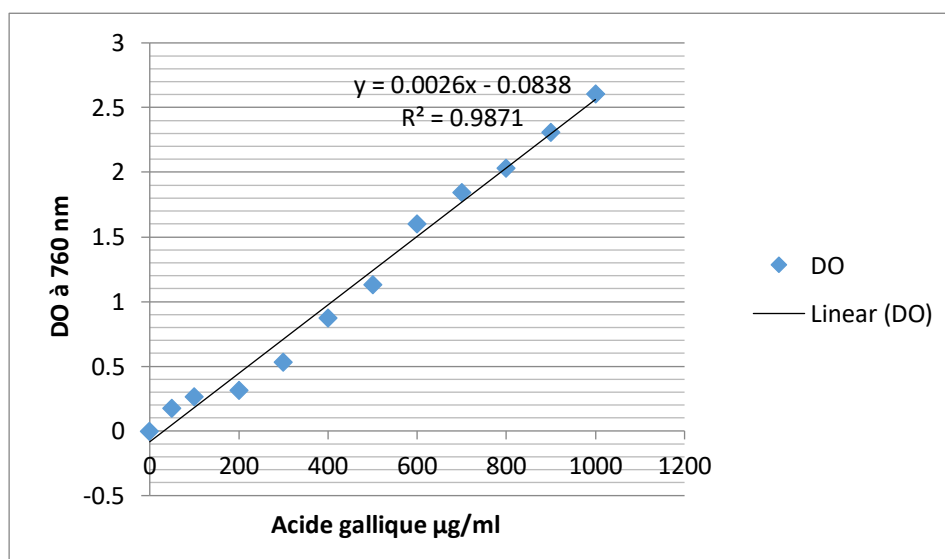
**Tableau III.8:** Comparaison des teneurs en polysaccharides de l'algue *Ulva lactuca*. enregistrées au niveau des trois sites d'échantillonnage, selon le test Student.

	S1 vs S2	S1 vs S3	S2 vs S3
T calculé	2.22	2.87	0.65

La valeur de la table T à un risque de 5 % est de 4,303. Dans toutes les comparaisons par paires, ce paramètre a enregistré une valeur inférieure à T théorique. Par conséquent, les différences de ratios entre les sites n'étaient pas significatives.

### III.2.6. Teneur en Polyphénols

La teneur en polyphénols totaux de l'extrait d'algue à l'acétate d'éthyle a été déterminée à partir de l'équation de régression linéaire de la courbe d'étalonnage en  $\mu\text{g}$ . Eq d'acide gallique par mg d'extrait (Figure III. 37).



**Figure III.37:** Courbe d'étalonnage de l'acide gallique (D.O= f [ac gallique]).

Au cours de cette étude, l'analyse de l'extrait d'acétate d'éthyle (EtOAc) a révélé des concentrations variables de phénols totaux selon chaque site. Les algues prélevées sur le site S1 (Sidi Fredj) ont affiché la valeur la plus élevée avec 54,79  $\mu\text{g}$  GAE /mg, tandis que celles du site S2 (La Corne d'Or) ont montré une concentration de 32,16  $\mu\text{g}$  GAE /mg . En ce qui concerne le site S3 (Anse de Kouali ), la teneur en acide gallique a été estimée à 19,15  $\mu\text{g}$  GAE /mg.

### Chapitre III: Résultats et discussion

Il est important de noter que dans *Ulva lactuca*, des composés bioactifs d'importance majeure incluent les phénoliques, les pigments tels que les chlorophylles et les caroténoïdes, ainsi que les polysaccharides sulfatés (Caf et al., 2015).

Les taux de composés phénoliques varient considérablement d'une espèce à une autre, ainsi qu'à l'intérieur de la même espèce, en raison de divers facteurs tels que les conditions externes (température, climat, etc.), les facteurs génétiques (variété et origine des espèces), les aspects physiologiques (stade de maturation de la plante, parties utilisées) et la durée de stockage (Maisuthisakul et al., 2007 ; Ebrahimzadeh et al., 2008; Ksouri et al., 2009).

De plus, la température d'extraction joue également un rôle, car une macération dans le méthanol et une décoction dans le mélange eau-méthanol donnent des extraits présentant des teneurs différentes en polyphénols et flavonoïdes, ainsi qu'en activité antioxydante (Tefiani, 2015).

Les résultats obtenus sont relativement proches des autres études menées sur *Ulva lactuca* en utilisant le même solvant acétate d'éthyle- eau (EtOA) (Hamdi et al., 2020 et Goudjil et Guerouabi, 2022)

Hamdi et Zaidi (2020) ont signalé une teneur en polyphénols de 25 µg GAE /mg d'*ulva spp.*

Dans une étude similaire, menée par Mermoul; Boufenara (2018), sur *Ulva lactuca*, indique un taux élevé en polyphénols égale à 52.67 µg GAE /mg obtenu par l'extraction avec méthanol.

Diverses recherches ont révélé des niveaux moyens de composés phénoliques dans différentes espèces d'*Ulva*. Par exemple, *Ulva rigida* a été mesuré à 19 µg GAE/mg (Trigui et al., 2013), *Ulva linza* à 39,59 µg GAE/mg (Kim et al., 2018), et *Ulva fasciata* à 21 µg GAE/mg (Vijayavel et Martinez, 2010). Ce dernier chiffre est proche de celui observé dans la zone 03 d'Anse de kouali.

En outre, une étude menée par Wekre et al. (2019) a montré une similarité de  $52,9 \pm 5,2$  µg GAE/mg (MS) avec les résultats de la présente étude, bien que les méthodes utilisées soient différentes. En revanche, dans une étude distincte réalisée par Al-Malki et al. (2018) sur *Ulva lactuca* a enregistré une concentration élevée de 77,3 µg GAE/mg. La comparaison des teneurs en composés phénoliques totaux entre les sites est consignée dans le tableau suivant.

**Tableau III.9:** Comparaison des teneurs en polyphénols de l'algue *Ulva lactuca* enregistrées au niveau des trois sites d'échantillonnage, selon le test Student.

	S1 vs S2	S1 vs S3	S2 vs S3
<b>T calculé</b>	<b>9.07</b>	<b>12.98</b>	<b>8.56</b>

Selon la table de Student, la valeur T théorique à 5 % de risque est de 4,303. Dans toutes les comparaisons par paires, ce paramètre a enregistré des valeurs supérieures à 4,303.

## Chapitre III: Résultats et discussion

La différence dans les teneurs en composés phénoliques entre trois sites est significative. En effet, une pollution est détectée dans la masse d'eau au site 01 (Sidi Fredj), accompagnée d'une augmentation de la production de composés phénoliques, lesquels sont considérés comme des indicateurs de pollution et des substances bioactives.

Les biomarqueurs phénoliques sont utilisés pour évaluer la santé d'un écosystème et la mesure dans laquelle il a été influencé par les apports terrestres et anthropiques différentes classes de ces phlorotannins peuvent être utilisés pour déterminer le degré de stress et de pollution auxquels sont soumis les organismes marins pélagiques et benthiques (Parrish et *al.*, 2000 et Vanparys et *al.* 2008).

### III.2.7. Identification et caractérisation des pigments contenus dans les ulves

Les pigments photosynthétiques extraits d'*ulva lactuca* sont caractérisés et regroupés en fonction de leurs propriétés spectrales et de leur composition chimique.

#### III.2.7.1 Caractéristique spectrale des pigments extraits:

Les pigments photosynthétiques extraits de l'*Ulva lactuca* ont été séparés par chromatographie de partage en utilisant un mélange de solvants apolaires (éther de pétrole) et polaires (éther-diéthylique) avec différentes proportions (9/1, 1/1 et 1/9). Les pigments chlorophylliens comprennent la chlorophylle a et b, les carotènes et les xanthophylles. Le solvant (éther de pétrole/éther-diéthylique, 9/1) a permis l'élution des carotènes en premier lieu en raison de leur similitude avec l'éther de pétrole. Les chlorophylles A et B sont ensuite éluées successivement avec le solvant (éther de pétrole/éther-diéthylique, 1/1), la chlorophylle B étant plus polaire que la chlorophylle A. Enfin, les xanthophylles sont récupérées avec le solvant polaire (éther de pétrole/éther-diéthylique, 1/9) en raison de leur polarité due à la présence d'oxygène, qui les fait interagir avec la phase stationnaire en gel de silice. (Figure III.38, Figure III.39 et Figure III.40)

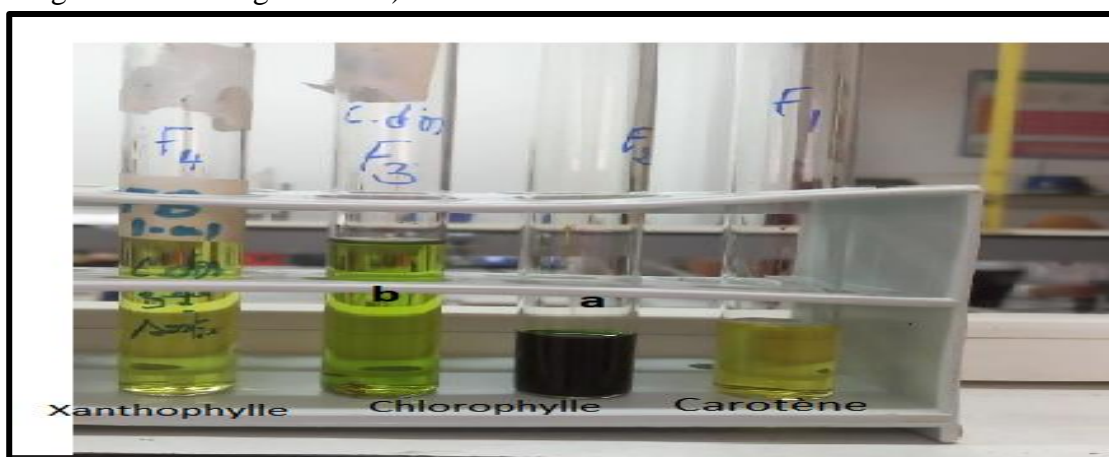


Figure III.38: Les pigments photosynthétiques de l'algue *Ulva lactuca* du site la Corne d'Or obtenus par chromatographie de partage sur colonne de gel de silice .

## Chapitre III: Résultats et discussion

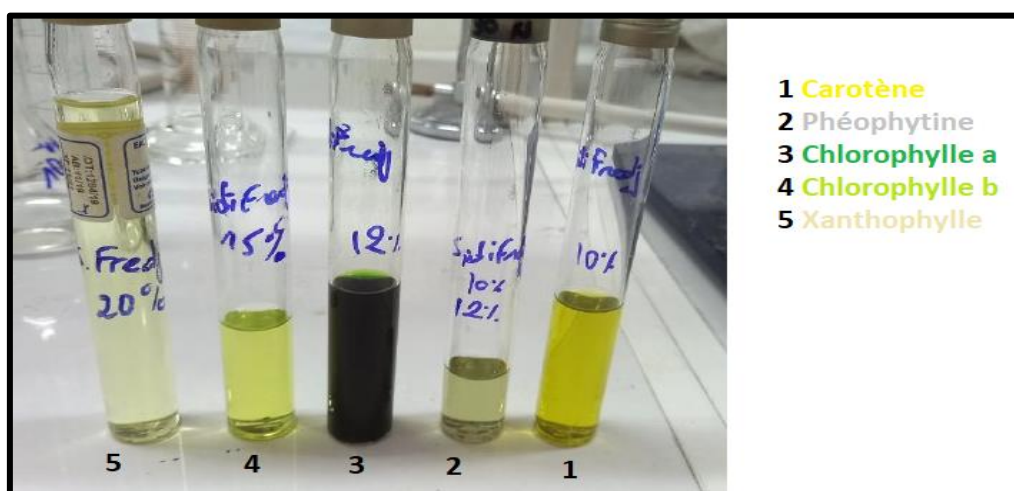


Figure III.39: Les pigments photosynthétiques de l'algue *Ulva lactuca* du site Sidi Fredj obtenus par chromatographie de partage sur colonne de gel de silice.

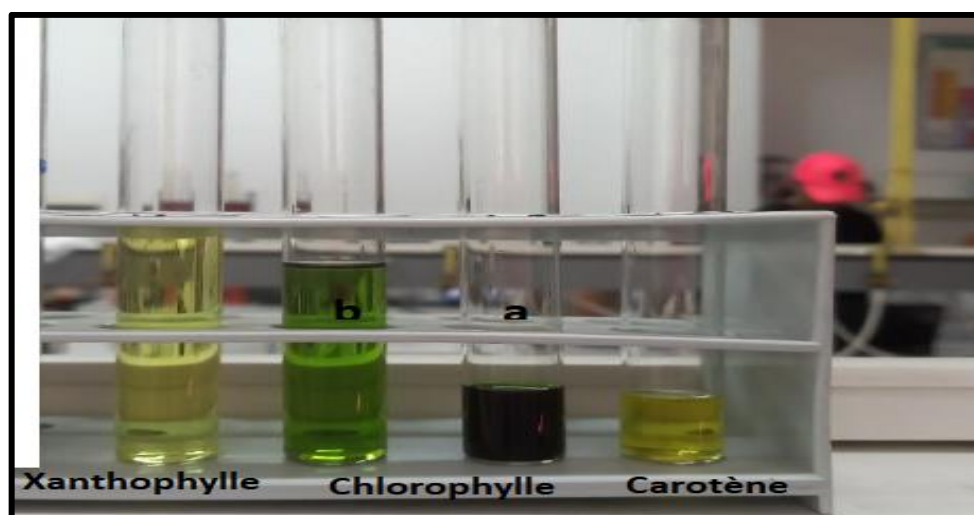


Figure III.40: Les pigments photosynthétiques de l'algue *Ulva lactuca* du site Anse de Kouali obtenus par chromatographie de partage sur colonne de gel de silice.

Les extraits obtenus par chromatographie sur colonne ont été soumis à une caractérisation de leur absorption de la lumière avec un balayage de spectre de 400 nm à 700 nm. Les spectres obtenus ont été confrontés aux caractéristiques des pigments chlorophylliens décrits dans une étude antérieure (HARYATFREHNI et al., 2015).

### - Pigments carotènes

Le spectre d'absorption des pigments carotènes révèle un pic significatif à 451 nm, comme illustré dans la Figure (III.41 ; III.42). Ces carotènes ont une forte affinité pour l'absorption dans le bleu, ce qui entraîne la perception, par l'œil, de la couleur complémentaire résultant d'un mélange de vert et de rouge, ces deux couleurs n'étant

## Chapitre III: Résultats et discussion

pas absorbées. Ainsi, on observe une nuance de jaune-orangé. Conformément à l'étude menée par HYNSTOVA *et al.* (2018), il est à noter que les caroténoïdes, dont les carotènes font partie, présentent une large plage d'absorption spectrale s'étendant de 400 à 500 nm.

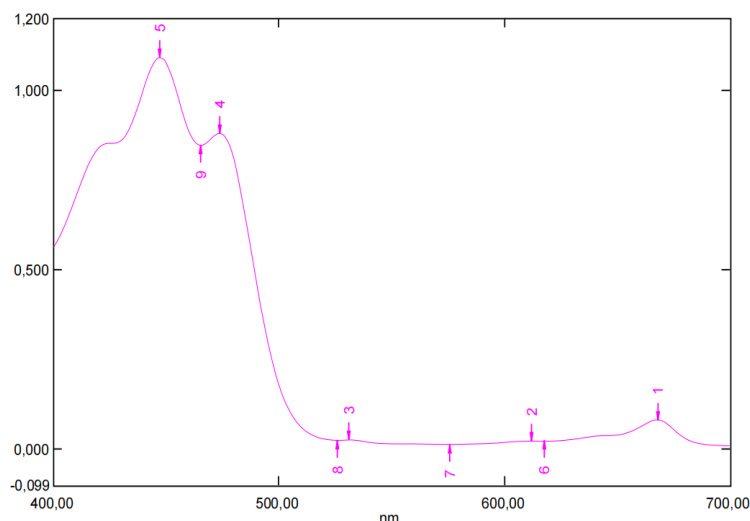


Figure III.41: Spectre d'absorption des pigments Carotènes, extrait de l'*Ulva lactuca* récoltée au niveau de la plage Sidi Fredj.

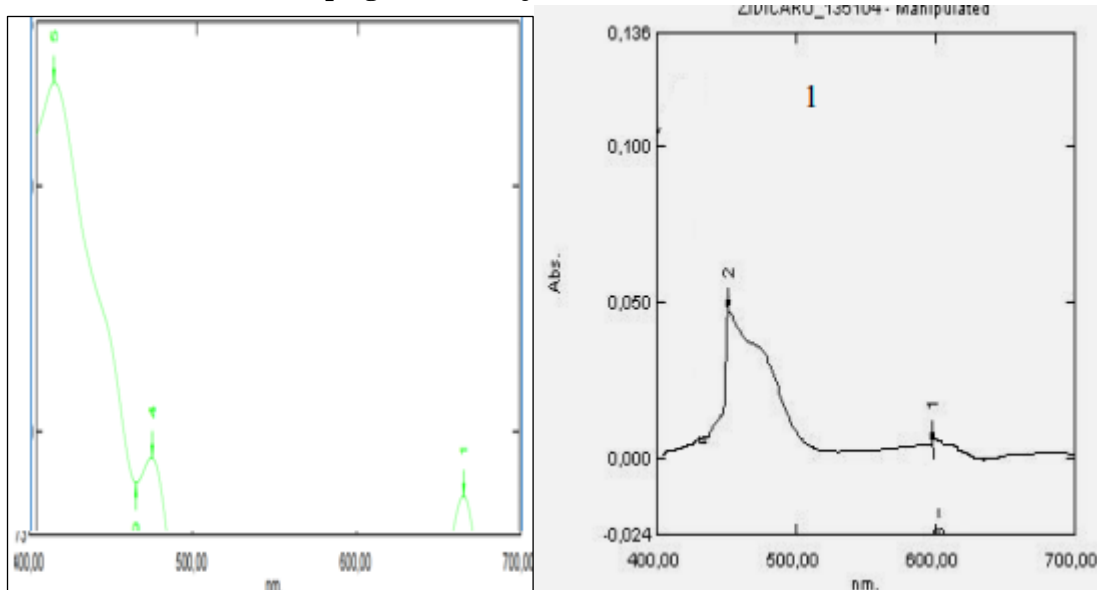


Figure III.42: Spectre d'absorption des pigments Carotènes (fraction 1), extrait de l'*Ulva lactuca* au niveau de La corne d'Or (noir) et Anse de Kouali (vert).

### - Chlorophylles A et B

Les spectres d'absorption de la chlorophylle A et de la chlorophylle B présentent des pics significatifs à différentes longueurs d'onde.

Pour la chlorophylle A, on observe des pics à 423 nm et à 660 nm, avec un maximum d'absorption dans le rouge entre 660 et 665 nm et un maximum d'absorption dans le bleu entre 428 et 432 nm. De même, la chlorophylle B présente des pics à 450 nm et à 643 nm, avec un déplacement vers des longueurs d'onde légèrement plus

## Chapitre III: Résultats et discussion

élevées, passant de 642 à 652 nm et de 452 à 469 nm. Ces résultats sont illustrés dans les figures ( Figure III.43) et (Figure III.44 )(HYNSTOVA *et al.*, 2018).

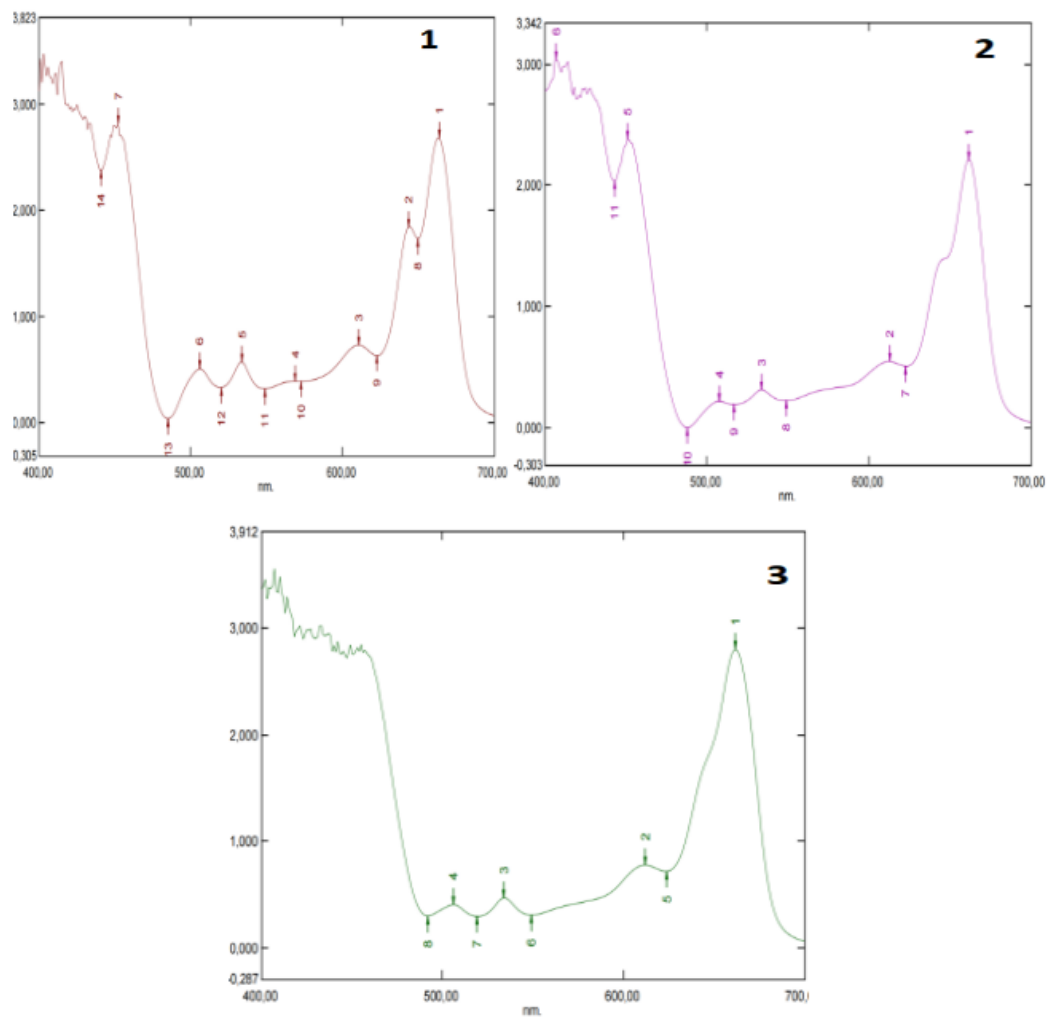
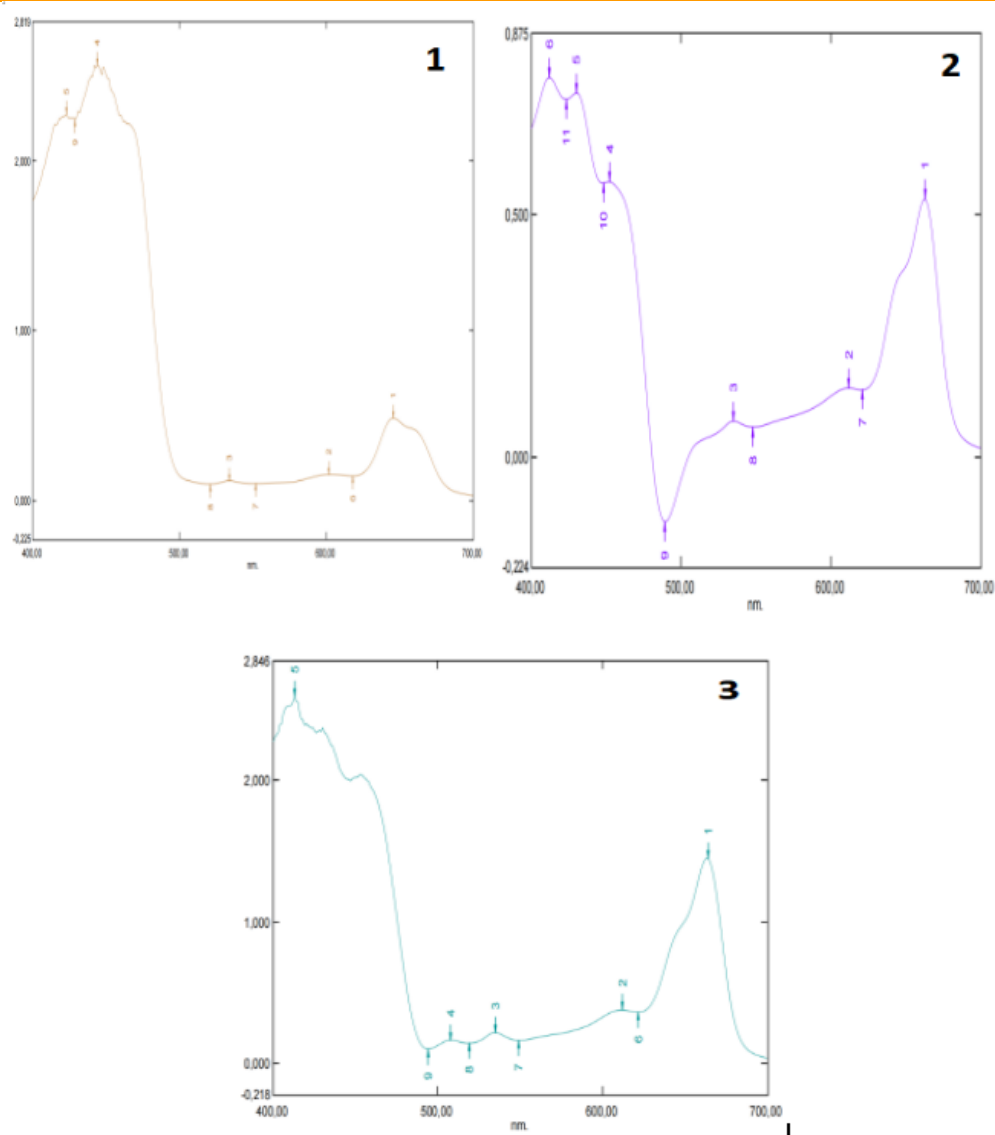


Figure III.43: Spectre d'absorption de la Chlorophylle A fraction 2 extraits de *l'Ulva lactuca* (présente étude) 1 Sidi Fredj, 2 La Corne d'Or et 3 Anse de Kouali

## Chapitre III: Résultats et discussion



**Figure III.44:** Spectre d'absorption de la Chlorophylle B fraction 3 extraite de l'*Ulva lactuca* (présente étude) 1 Sidi Fredj ,2 La Corne d'Or et 3 Anse de Kouali

La chlorophylle, le pigment principal de la photosynthèse, présente deux caractéristiques notables. Tout d'abord, elle se compose d'un noyau tétrapyrrolique appelé chlorine, avec un atome de magnésium au centre, et d'une chaîne terpénique nommée phytol, composée de vingt atomes de carbone. La structure des deux formes, a et b, de la chlorophylle est presque identique, à l'exception d'une fonction aldéhyde située sur le chlorine. Cette variation structurale a un impact significatif sur leurs propriétés optiques respectives. L'atome de magnésium joue un rôle dans les propriétés optiques de la molécule, tandis que le groupement phytol n'a pas d'interaction avec la lumière.

## Chapitre III: Résultats et discussion

Cependant, en raison de sa solubilité dans les lipides, le phytol est crucial pour l'incorporation de la chlorophylle dans les protéines de la membrane des thylakoïdes. La synthèse et la dégradation de la chlorophylle impliquent des précurseurs tels que la chlorophyllide et des produits de dégradation (phéophytine, phéophorbide...) qui ont des propriétés optiques similaires à celles de la chlorophylle. Ces substances, susceptibles de générer des radicaux libres sous l'influence de la lumière, sont qualifiées de phototoxiques. Pour prévenir cet effet indésirable, plusieurs mécanismes empêchent l'accumulation de ces précurseurs et produits de dégradation.

Leur impact sur les propriétés optiques des feuilles des plantes ou des thalles des algues est donc insignifiant. Cependant, lors de l'extraction des pigments, leur présence peut être significative en fonction des solvants utilisés (LICHTENTHALER, 1987; FÉRET, 2009).

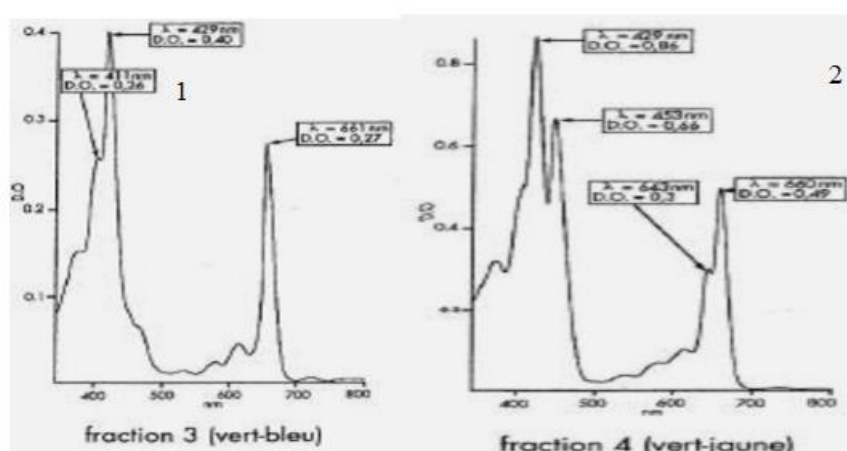
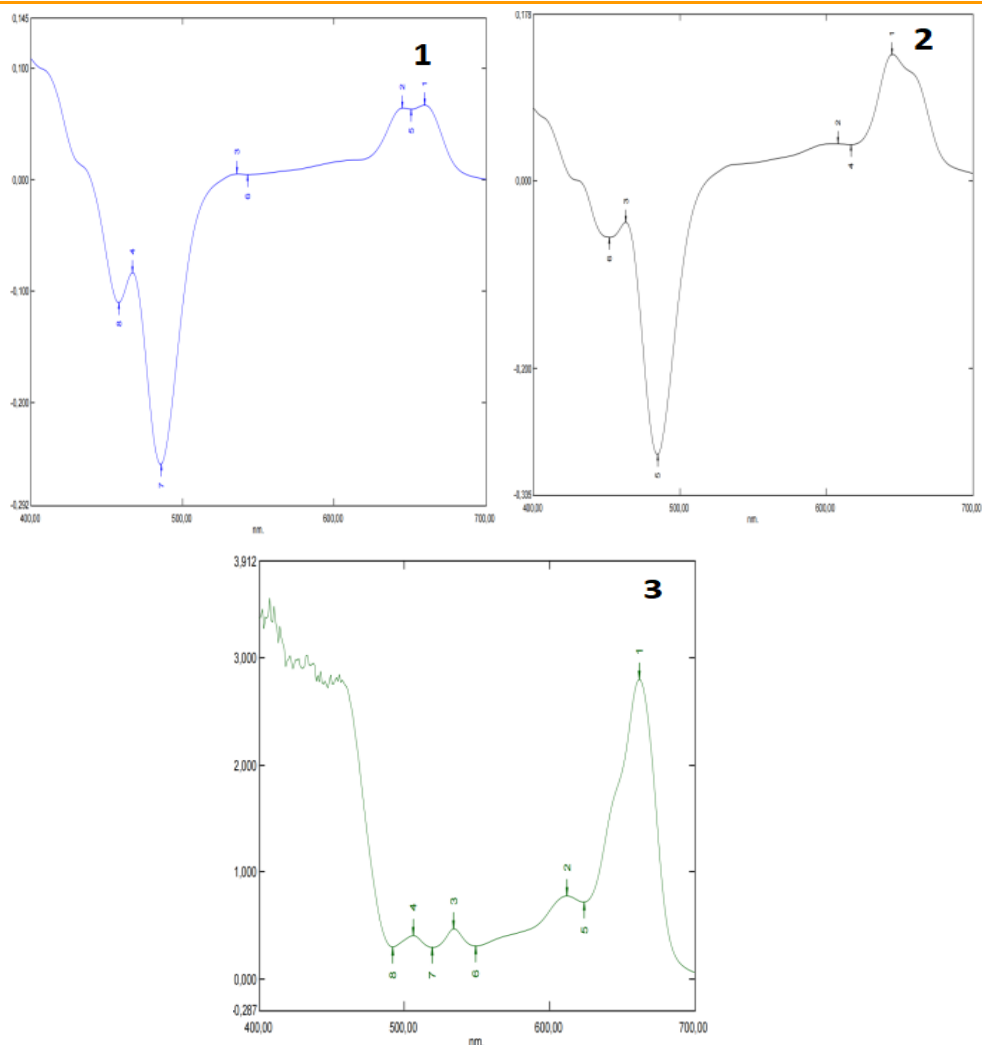


Figure III.45: Spectre d'absorption de la Chlorophylle A (1) et B (2) extraits d'une plante verte (Thanh-Truc et Escalle-Lewis, 2011)

### - Pigment xanthophylle

Trois pics d'absorption de la xanthophylle ont été notés, avec le premier à 421 nm, le deuxième à 451 nm, et enfin le dernier à 472 nm (Figure III.45). Il est à noter que les caroténoïdes présentent une plage étendue d'absorption, couvrant la gamme spectrale de 400 à 500 nm, comme précisé par HARYATFREHNI *et al.* 2015).

## Chapitre III: Résultats et discussion



**Figure III.46:**Spectres d'absorption de la Xanthophylle fraction 4 extraits de l'*Ulva lactuca* (présente étude) 1 Sidi Fredj ,2 La Corne d'Or et 3 Anse de Kouali

Les xanthophylles sont dérivées des caroténoïdes et se caractérisent par la présence d'atomes d'oxygène supplémentaires. À l'intérieur du chloroplaste, cinq types de xanthophylles sont identifiés, à savoir la lutéine, la zéaxanthine, la violaxanthine, l'anthéroxanthine et la néoxanthine. Les caroténoïdes affichent une forte capacité d'absorption de la lumière bleue dans la plage de longueurs d'onde allant de 400 nm à 500 nm. Tout comme la chlorophylle, leur spectre d'absorption est influencé par le solvant utilisé et les conditions environnementales de la molécule (Demmig-Adams et al., 1996).

## Chapitre III: Résultats et discussion

### III.2.7.2. Propriétés chimiques des pigments extraits

La chromatographie sur couche mince est une méthode d'analyse utilisée pour séparer des substances non volatiles, comme les pigments biologiques, en les faisant se déplacer à travers une plaque à l'aide d'un solvant. Les pigments sont séparés en fonction de leur affinité pour le support et de leur solubilité dans le solvant, déterminée par leur polarité. Les pigments peu polaires migrent vers le haut de la plaque, tandis que les pigments fortement polarisés restent près de la ligne de dépôt. Dans cette étude, l'extrait de chlorophyllien brut et ses fractions obtenues par chromatographie sur colonne ont été analysés par chromatographie sur couche mince, et les résultats sont présentés dans la Figure (III.47 , III.48 , III.49).

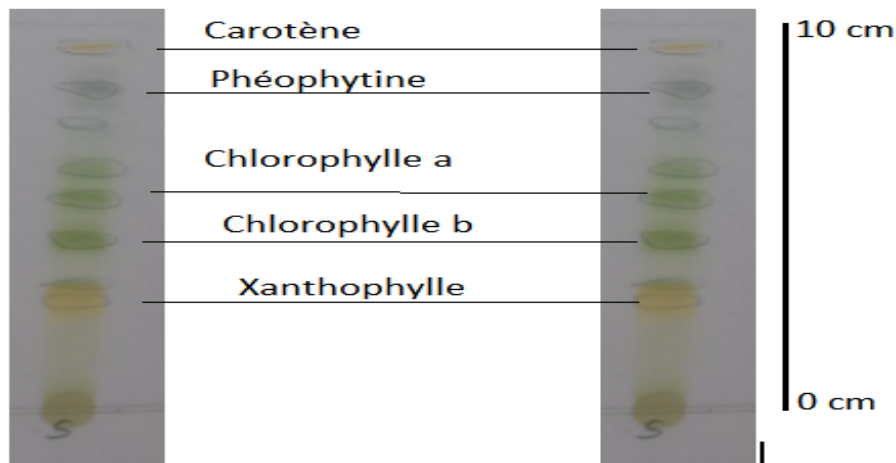


Figure III.47: Identification des différents pigments photosynthétiques contenus dans *l'Ulva lactuca* par CCM ( Sidi Fredj )

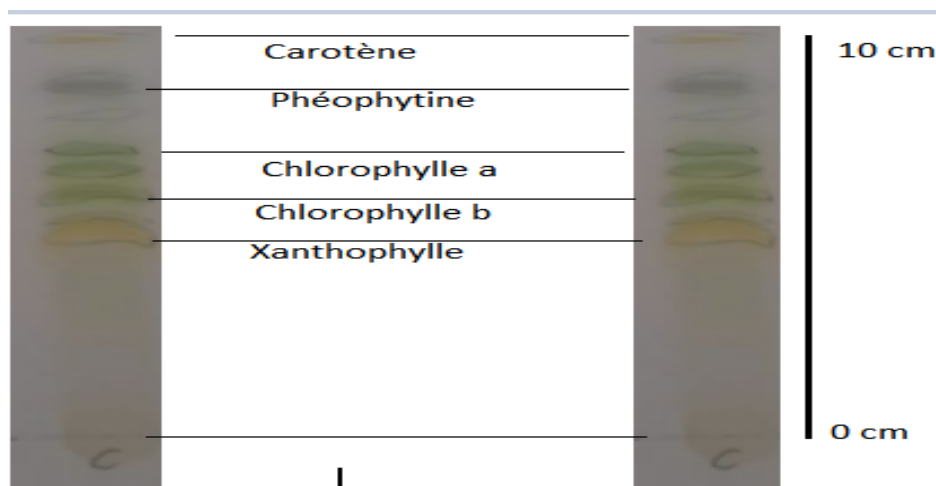
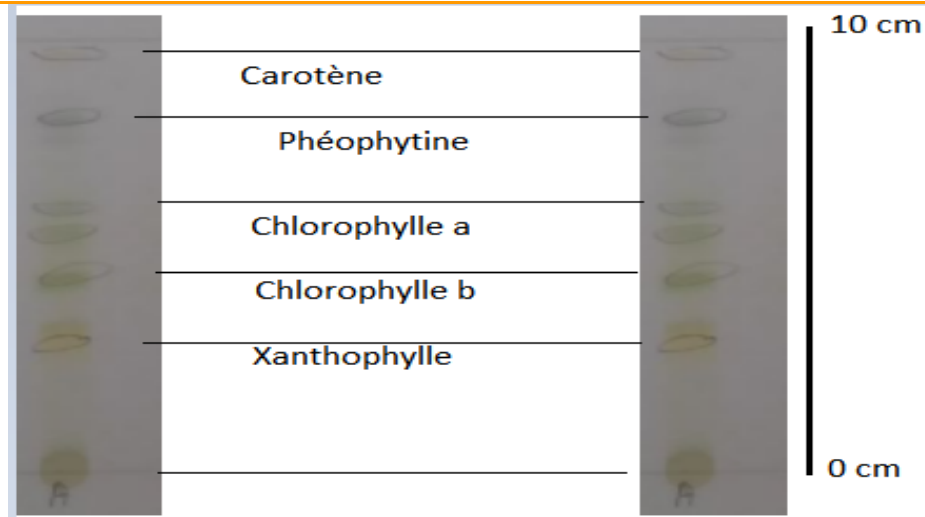


Figure III.48: Identification des différents pigments photosynthétiques contenus dans *l'Ulva lactuca* par CCM (La Corne d'Or )

## Chapitre III: Résultats et discussion



**Figure III.49:** Identification des différents pigments photosynthétiques contenus dans *l'Ulva lactuca* par CCM (Anse de Kouali )

L'analyse du chromatogramme de l'extrait chlorophyllien brut révèle 05 bandes, de haut en bas :

**Tableau III.10:** Les rapport frontal (Rf ) des pigments extrait des ulves aux niveaux les 3 sites

Rf	Sidi Fredj	La Corne d'Or	Anse de Kouali
Carotène	0.9	0.89	0.87
Phéophytine	0.81	0.79	0.78
Chlorophylle A	0.54	0.61	0.56
Chlorophylle B	0.34	0.5	0.45
Xanthophylle	0.28	0.4	0.24

Les carotènes, de couleur jaune-orange, présentent une faible polarité avec un facteur de rétention (Rf) aux niveaux des trois sites (Sidi Fredj , Corne d'Or et Anse de Kouali) qui sont respectivement de (9), (0.89) et (0.87).

La phéophytine, de teinte gris-marron, affiche un Rf de (0.81), (0.79) et (0.78) respectivement aux niveaux des trois sites (Sidi Fredj , La Corne d'Or et Anse de Kouali) .

La phéophytine est dérivée des molécules de chlorophylle dépourvues de leur atome de magnésium central dans le noyau porphyrine. En petite quantité dans la nature, la phéophytine joue un rôle dans le transfert d'électrons au cours de la photosynthèse. Elle agit en tant que premier intermédiaire transporteur d'électrons dans la chaîne de transfert d'électrons du photosystème II chez les plantes (PSII) et du centre réactionnel photosynthétique des bactéries pourpres. Dans ces deux cas, la lumière transfère les électrons des centres réactionnels vers

## Chapitre III: Résultats et discussion

les phéophytines, qui les transmettent ensuite à une quinone (QA), suivant un mécanisme similaire. La phéophytine est principalement produite lors de la dégradation de la chlorophylle lors d'extractions par des solvants. Ce pigment n'est généralement pas détecté lors de l'analyse spectrale, mais il présente des pics d'absorption maximale à 410 nm et 666 nm (KLIMOV, 2003).

La chlorophylle A, de couleur vert-bleu, présente une faible polarité avec un Rf de (0.54), (0.61) et (0.56) respectivement aux niveaux des trois sites (Sidi Fredj, La Corne d'Or et Anse de Kouali); tandis que la chlorophylle B, de couleur vert-jaune, est modérément polaire avec un Rf de (0.34), (0.5) et (0.045) respectivement aux niveaux des trois sites (Sidi Fredj, La Corne d'Or et Anse de Kouali). Enfin, la xanthophylle, de couleur jaune et très dense, affiche une forte polarité avec un Rf de (0.28), (0.04) et (0.24) respectivement aux niveaux des trois sites (Sidi Fredj, La Corne d'Or et Anse de Kouali).

Par ailleurs, l'analyse par chromatographie sur colonne et par spectrophotométrie des fractions obtenues révèle que cette méthode permet une séparation globalement satisfaisante des pigments. Cependant, il est difficile de distinguer et de séparer certains pigments tels que la chlorophylle A, la chlorophylle B et la phéophytine avec l'éluant utilisé, constitué d'un mélange d'éther de pétrole et d'éther diéthylique dans des proportions égales (1/1). Selon SAINT-DIZIER (1981), les produits de dégradation des chlorophylles présentent des spectres d'absorption similaires à ceux des chlorophylles, ce qui entraîne des interférences significatives lors de leur dosage.

### III.3. Variation des paramètres physico-chimiques des eaux de mer des sites étudiés:

Cette recherche inclut des études comparatives entre trois sites afin de déterminer le niveau de pollution du littoral. Ceci visait à identifier d'éventuelles molécules produites activement par *Ulva* en réponse aux facteurs de stress, y compris le stress anthropique.

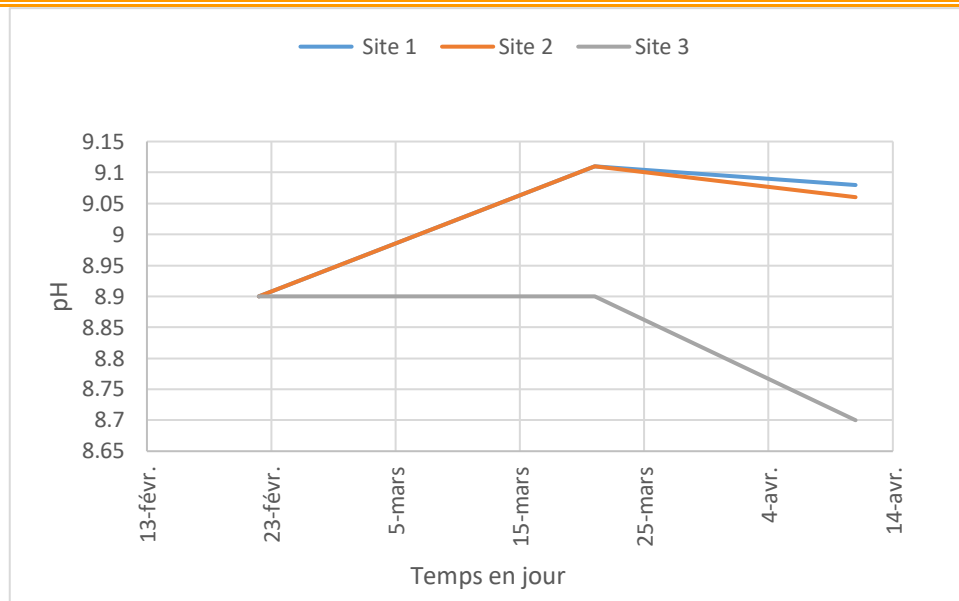
Les données des analyses physico-chimiques discutées dans ce chapitre sont issues d'échantillons d'eau collectés durant la période allant de février à avril 2023.

L'analyse de l'eau de mer avait pour objectif la caractérisation du milieu d'*Ulva*, sujet central de cette étude. En accord avec les réglementations établies par le décret n°93-164 du 10 juillet 1993 (Benamar, 2014), divers paramètres physico-chimiques ont été utilisés pour évaluer la qualité des eaux de baignade.

#### III.3.1. pH

Les valeurs du potentiel hydrogène de l'eau de mer mesurées aux niveaux des trois sites d'études sont présentées dans la figure (III.50).

## Chapitre III: Résultats et discussion



**Figure III.50: Variation du pH des eaux de mer aux niveaux de Sidi Fredj (S1), de La Corne d'Or (S2) et Anse de Kouali (S3).**

La figure ci-dessus montre une variation du pH aux niveaux des trois sites en fonction des sorties réalisées. Les courbes de variation du pH dans les trois sites (Sidi Fredj S1, Corne d'Or S2 et Anse de Kouali 3) révèlent des fluctuations.

Les sites 1 et 2 présentent des tendances relativement similaires, avec des valeurs moyennes de pH assez proches de 9,03 et 9,02 dans l'ordre. L'Anse de Kouali S3 se distingue par un pH moyen plus bas 8,83

Le pH de l'eau de mer varie entre 7,5 et 8,4, pour une moyenne de 8,2 (JORADP, 1993).

En effet, le pH de l'eau de mer est ordinairement assez stable et comparable à celui de l'eau d'estuaire, ces deux types d'eau présentant une abondance de cations basiques forts, comme le sodium, le potassium et le calcium, et d'anions acides faibles, comme les carbonates et les borates, qui leur confèrent un pouvoir tampon. Des pH élevés sont habituellement mesurés dans les eaux superficielles en raison du rayonnement solaire. Celui-ci a un effet double sur le pH : il favorise la photosynthèse et accroît la température en surface, deux phénomènes qui réduisent la quantité d'acide carbonique libre et font donc augmenter le pH (Wetzel, 1983). Des fluctuations du pH en fonction des saisons ont été également observées (Thomas et *al.*, 1982).

Par ailleurs, ces variations sont peut-être dues aussi aux rejets (la charge des agglomérations) et les produits déversés (industrielle et agricole). Le pH alcalin favorise le développement de certains microorganismes tels que les vibrions. Les variations de pH peuvent également avoir une incidence considérable sur les formes chimiques et la toxicité d'autres substances. Dans l'eau, l'ammoniac existe sous deux formes : une espèce non ionique, le  $\text{NH}_3$ , et une espèce ionique, le  $\text{NH}_4^+$ . La toxicité de l'ammoniac pour les organismes marins est intimement liée à la concentration de l'espèce non ionique de cette substance. La concentration relative de  $\text{NH}_3$  dans l'eau de mer est déterminée en partie par le pH; une baisse d'une unité de pH réduit par un facteur de 10 la teneur de l'eau en  $\text{NH}_3$  (Miller et *al.*, 1990). Les réactions des organismes

## Chapitre III: Résultats et discussion

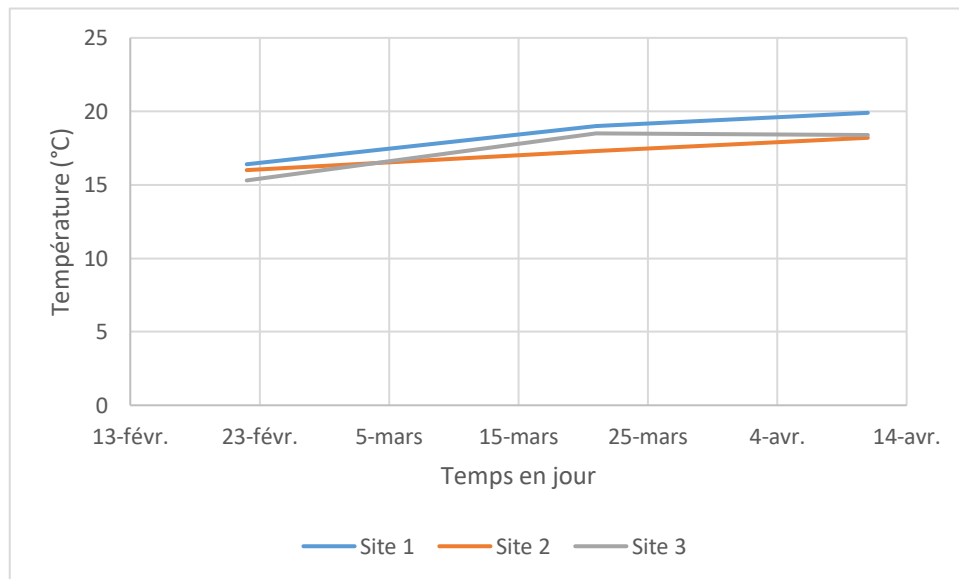
marins aux changements dans les concentrations ambiantes de  $\text{NH}_3$  causés par les variations de pH varient d'une espèce à l'autre. La spéciation des métaux et la solubilité de certains composés organiques sont également intimement liées au pH (Drever, 1988).

En l'absence d'une limite relative aux variations de pH d'origine anthropique, les organismes à faible intervalle de tolérance de pH pourraient ne pas être bien protégés. Afin de réduire le risque d'effets sur les organismes marins, on a recommandé que les variations induites de pH à l'intérieur de la gamme prescrite ne dépassent pas 0,2 unité (Conseil canadien des ministres de l'environnement, 1999)

Enfin, ces valeurs enregistrées dans le cadre de cette étude restent globalement dans la plage normale du pH de l'eau de mer, indiquant que les conditions générales de l'eau de mer dans les sites étudiés sont relativement proches des conditions naturelles. Cependant, les fluctuations du pH observées dans les sites 1 et 2 pourraient nécessiter une attention particulière pour comprendre les facteurs locaux qui pourraient les influencer.

### III.3.2. Température

La figure (III.51) présente les résultats de variation de la température des eaux de surfaces aux niveaux des trois plages (Sidi Fredj, Corne d'Or et Anse de Kouali )



**Figure III.51: Variations de la température des eaux de mer de surface (°C) aux niveaux de Sidi Fredj, de La Corne d'Or et d'Anse de Kouali.**

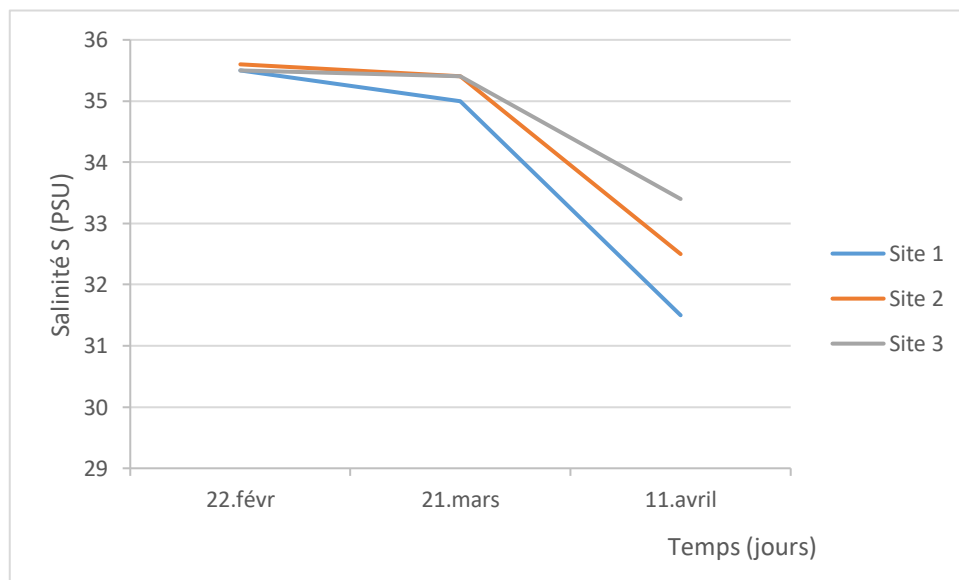
Les variations de température des eaux de surfaces dans les trois sites d'étude révèlent des fluctuations saisonnières qui sont influencées par celle de l'air. Le site 1 présente les températures les plus élevées avec une moyenne de  $18,1 \pm 1,3^\circ\text{C}$ . Le site 2 et le site 3 affichent des températures légèrement plus basses et sont respectivement de  $17,5 \pm 0,6^\circ\text{C}$  et  $17,4 \pm 1,5^\circ\text{C}$ .

## Chapitre III: Résultats et discussion

La prise de mesures à une profondeur de 10 à 60 cm de la surface de l'eau donne une indication de la température de la couche supérieure de l'eau. Il est important de noter que la température peut varier à différentes profondeurs, notamment en raison de l'influence des courants océaniques et de la stratification thermique. Des relevés effectués à différentes profondeurs pourraient fournir une image plus complète du profil de température dans les sites étudiés. Les sites 1, 2 et 3 affichent des moyennes de température qui se situent généralement dans les plages normales de l'eau de mer (JORADP, 1993)

### III.3.3. Salinité

La salinité reflète la nature salée de l'eau ; la salinité varie considérablement selon les saisons et les régions. La figure (III.52) représente la variation de la salinité dans les eaux pour les différents sites.



**Figure III.52: Variations de la salinité des eaux de mer de surface (PSU) aux niveaux de Sidi Fredj, de La Corne d'Or et d'Anse de Kouali.**

En comparant les trois sites, on peut noter que la salinité est relativement stable dans le site 1, avec des variations mineures. Les sites 2 et 3 présentent des variations similaires, avec une légère diminution de la salinité au fil du temps.

Le site 1 présente une moyenne de salinité de  $34,0 \pm 0,5$  PSU. Le site 2 présente une moyenne de salinité de  $34,5 \pm 0,3$  PSU. Le site 3 présente une moyenne de salinité de  $34,8 \pm 0,3$  PSU. En outre, nous pouvons observer que les sites 2 et 3 ont des moyennes de salinité relativement proches, tandis que le site 3 présente une salinité légèrement plus basse.

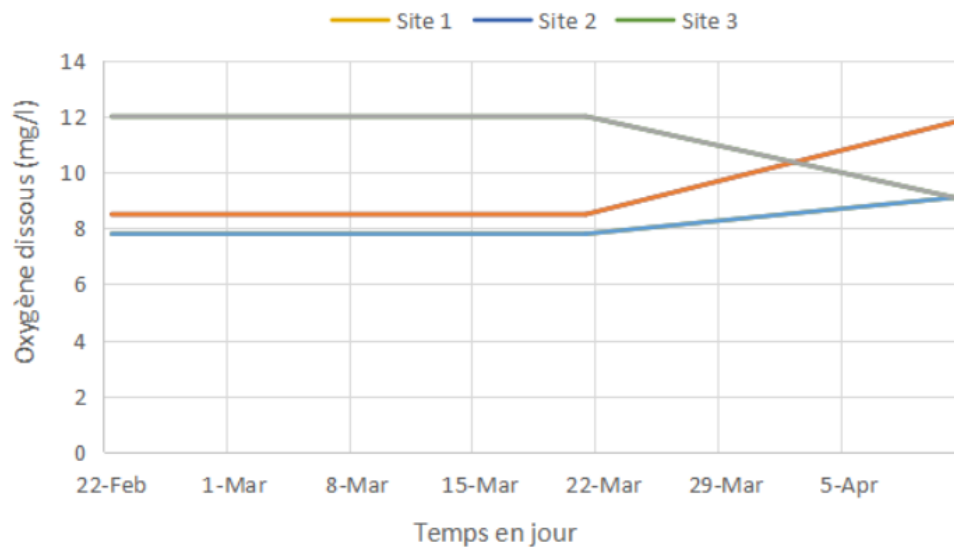
L'eau de mer présente une grande concentration de sels dissous. Sa salinité varie à la surface du globe terrestre, en fonction de la latitude, de l'ouverture des mers vers les océans, de leurs dimensions, des apports terrestres, des courants... En tenant compte de la salinité de l'eau de mer naturelle, généralement entre 33 et 37 PSU. Ces résultats indiquent que les sites étudiés présentent des valeurs de salinité qui sont conformes à celles de l'eau de mer naturelle. Cela

## Chapitre III: Résultats et discussion

suggère que les variations de salinité observées dans chaque site sont relativement proches des conditions normales de l'environnement marin.

### III.3.4. Oxygène dissous

Les niveaux d'oxygène dissous dans les eaux de surface des trois sites, exprimés en mg/l, sont présentés dans la figure III.47ci-dessous.



Oxygène dissou

**Figure III.53: Variation de l'Oxygène dissous (mg/l) des eaux de surface des plages de Sidi Fredj, Corne d'Or et d'Anse de Kouali.**

Au regard de la figure III.53, on peut observer des variations dans les concentrations en oxygène dissous des eaux de surfaces. Le site 1 présente des valeurs relativement stables avec une légère diminution lors de la dernière sortie. Le site 2 affiche également des valeurs constantes, mais avec une augmentation notable à 11,8 mg/l lors de la troisième mesure. Le site 3 présente les valeurs les plus élevées d'oxygène dissous, atteignant 12 mg/L lors des deux premières mesures, mais une diminution importante à 9,1 mg/l lors de la troisième mesure.

Nous pouvons observer que les sites 1 et 3 ont des moyennes d'oxygène dissous relativement similaires  $8,23 \pm 0,2$  mg et  $9,60 \pm 0,5$  mg/L respectivement, tandis que le site 2 présente une moyenne légèrement plus basse  $11,03 \pm 0,3$  mg/L.

En comparant ces valeurs moyennes avec les normes d'oxygène dissous dans l'eau de mer, qui sont généralement d'environ 8 à 12 mg/L (JORDP, 1993), nous pouvons évaluer que les sites 1, 2 et 3 affichent des moyennes d'oxygène dissous dans l'intervalle aux normes d'oxygène dissous dans l'eau de mer naturelle.

Cependant, il convient de noter que la teneur en oxygène dissous peut varier en fonction de divers facteurs, tels que la température, la photosynthèse, la respiration des organismes marins et la circulation des courants océaniques.

## Chapitre III: Résultats et discussion

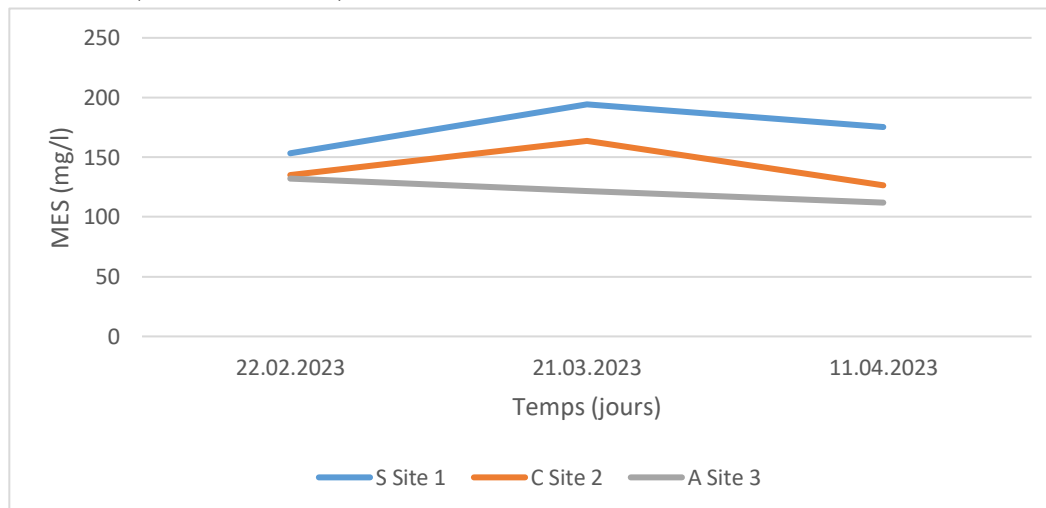
Des valeurs d'oxygène dissous plus élevées peuvent être attribuées à des conditions spécifiques à chaque site, telles que des apports d'eau douce riches en oxygène ou une plus grande activité biologique dans la zone étudiée.

### III.3.5. Matières en suspension MES

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques insolubles dans l'eau. La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux.

Les normes nationales selon le JORADP (2006) et les normes internationales selon OMS/PNUE (1995) établissent une limite dans les concentrations des effluents liquides en MES qui ne doivent pas dépasser 35 mg/l, qu'ils soient d'origine domestique, industrielle ou agricole.

La figure ( III.54) illustre la variation de la concentration de matière en suspension dans les eaux de mer aux niveaux des sites d'étude suivants : Site 01 (Sidi Fredj), Site 02 (La Corne d'Or) et Site 03 (Anse de Kouali).



**Figure III.54: Variation des matières en suspensions dans des trois sites (Sidi Fredj , La Corne d'Or et Anse de kouali)**

Les concentrations en matières en suspension (MES) varient considérablement selon les sites analysés. Pour le site 01, à savoir Sidi Fredj, les concentrations varient de 194,3 à 153,35 mg/l, avec une moyenne de 174,23 mg/l. Pour le site 02, les concentrations varient entre 163,7 mg/l et 126,51 mg/l, avec une concentration moyenne de 140,15 mg/l. Quant au site 03, les valeurs se situent entre 132,15 mg/l et 112,01 mg/l, avec une moyenne de 121,93 mg/l.

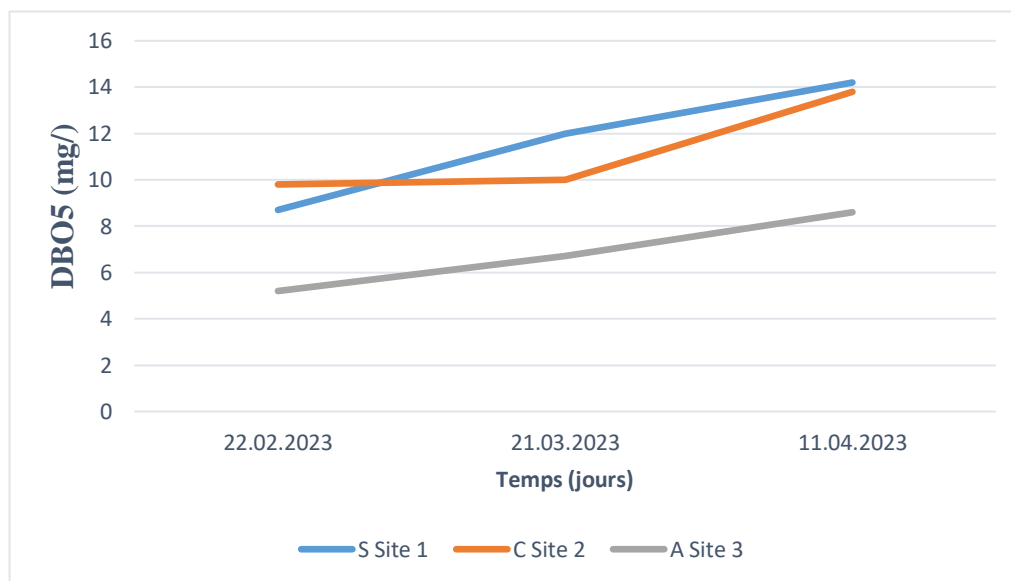
Ces niveaux élevés de MES sont principalement attribuables à l'agitation intense de la mer, provoquée par les vagues et les houles. De plus, les apports de particules terrigènes provenant des eaux de ruissellement lors de périodes pluvieuses et orageuses contribuent également à maintenir ces particules en suspension.

Il est important de noter que les résultats de cette étude révèlent que les concentrations de matières en suspension dans tous les sites analysés sont élevées

## Chapitre III: Résultats et discussion

### III.3.6. Demande biochimique en oxygène DBO5

Les niveaux de DBO5 varient considérablement d'une station à l'autre et même d'une répétition à l'autre. La station la plus élevée en termes de valeur moyenne, enregistrant 11,63 mg/l d'oxygène dissous, se situe à Sidi Fredj avec un débit d'eau de 400 ml (figure III.55 ). En revanche, la station présentant la valeur moyenne la plus basse, soit 6,83 mg/l de demande en oxygène, se trouve à Anse de Kouali .



**Figure III.55:Évolution de la BDO5 des eaux de surface des trois stations Sidi Fredj, La Corne d'Or et Anse de Kouali.**

Les courbes présentent une tendance similaire pour les trois sites, avec une consommation de l'oxygène importante croissante, comme illustré dans la Figure III.55.

Ceux-ci s'expliquent par la présence de la matière organique oxydable et de microorganismes. Les valeurs de DBO<sub>5</sub> enregistrées pour Sidi Fredj indiquent une mauvaise qualité de l'eau selon les critères de classement des eaux superficielles établis par l'ABH en 2009.

Le paramètre DBO<sub>5</sub> est une mesure standard employée pour évaluer la qualité des eaux et caractériser l'impact des matières organiques biodégradables sur leur environnement. Il dépend de plusieurs facteurs, notamment la composition et la population des micro-organismes, le pH, la température, ainsi que la concentration de nutriments dans l'eau.

# **CONCLUSION GENERALE**

## Conclusion Générale:

---

### ➤ Conclusion

L'objectif de cette étude est d'analyser divers paramètres et caractéristiques d'une algue verte du genre *Ulva lactuca* présente sur la côte algéroise, tout en cherchant à identifier les molécules qui pourraient servir de biomarqueurs précoces de la pollution de son environnement naturel. Pour ce faire, trois sites de prélèvement ont été sélectionnés en raison de leur abondance en cette algue. Deux de ces sites ( S1 Sidi Fredj et S2 La Corne d'Or) font face à une pollution évidente due aux rejets d'eaux domestiques, entraînant un stress d'origine humaine. Le troisième site, quant à lui, semble le moins exposé à la pollution et a été choisi comme site de référence(S3 Anse de Kouali).

Cette recherche comprend principalement une analyse de la composition chimique globale de l'algue *Ulva lactuca*, ainsi qu'une évaluation des molécules bioactives (polyphénols , polysaccharides et les pigments) extraites de cette algue prélevée sur les trois sites. En parallèle, une analyse physicochimique de l'eau échantillonnée est réalisée pour mettre en évidence les différences de contamination de l'eau entre les différents sites.

Ce travail révèle plusieurs points importants. Tout d'abord, l'algue verte étudiée présente une richesse notable en matière minérale, avec une teneur maximale en cendres atteignant 30,65% de la matière sèche (MS), et cette caractéristique ne montre aucune variation significative entre les différents sites d'études. En revanche, la teneur en lipides de cette algue est élevée, avec une valeur de 7,22 % de la MS, et des teneurs similaires ont été observés aux niveaux des trois sites d'études, sans différence significative. Ces taux élevés s'expliquent par le fait que les solvants utilisés pour l'extraction des lipides permettent aussi l'extraction des pigments chlorophylliens.

Par ailleurs, cette algue présente des niveaux appréciables de protéines totales, la valeur la plus élevée a été enregistrée au niveau du site S1 (Sidi Fredj) avec un taux de 18,86%. Cependant, il n'y a pas de différence significative avec le site de référence S3 (Anse de Kouali).

De même en ce qui concerne les polysaccharides et les matières minérales, cette algue présente des teneurs élevées, sans différence significative entre la teneur minimale enregistrée au site S3 (Anse de Kouali) et les deux autres sites, S1 (sidi Fredj) et S2 (La Corne d'Or).

En revanche, cette algue renferme des concentrations élevées en polyphénols, dont les niveaux varient en fonction des sites. La valeur la plus élevée est observée au niveau de S1 (Sidi Fredj), avec une estimation de 54,77 $\mu$ g mEq/mg de MS. Cette valeur diffère de manière significative de celle enregistrée au site S3 (Anse de Kouali), qui est seulement de 19,12  $\mu$ g mEq/mg de MS. Étant donné les propriétés antioxydantes des composés phénoliques, cette augmentation de la concentration en polyphénols est clairement attribuable à une réponse au stress oxydatif observé dans l'environnement altéré. Ces molécules pourraient ainsi servir d'indicateurs de perturbation environnementale dans le milieu marin étudié.

## Conclusion Générale:

---

Il a été constaté que *Ulva lactuca* contient des pigments chlorophylliens. Ces derniers sont, dans l'ordre décroissant, la chlorophylle a, la chlorophylle b, les xanthophylles et les carotènes. La phéophytine ou phéopigment correspondant à la chlorophylle dégradée a été isolée par chromatographie sur couche mince et chromatographie sur colonne de gel de silice.

Ces résultats. Malgré leur pertinence, ils ne représentent que des données partielles, et une initiation à un travail qui se doit d'être complétée.

Il serait intéressant à l'avenir de:

- Prolonger la période d'étude sur une durée plus longue, voir concevoir un suivi annuel pour prospecter à une comparaison saisonnière.
- Identifier et caractériser les composés phénoliques
- Identifier et caractériser les polysaccharides sulfatés par RMN et HPLC.
- Identifier et caractériser les protéines.
- Étudier les propriétés antioxydantes, antimicrobiennes (Antibiogramme), antifongiques, et anti-inflammatoires des composés à intérêt bioactif ; notamment les polysaccharides, les polyphénols, ainsi que explorer cette voie pour les protéines.
- Élargir la zone d'étude, à condition d'existence de cette même espèce d'algues sur ces sites visés.
- Évaluer la contamination métallique par différents xénobiotique (Cu, Pb et Zn essentiellement) de l'extrait brut de l'algue verte étudiée.
- Ajouter une troisième matrice, qu'est le sédiment.

# **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

---

### Références bibliographie:

#### A:

**Abd elaziz M, M. M. (2015).** Evaluation of seaweeds *Ulva rigida* and *Pterocladia capillacea* as dietary supplements in Nile tilapia fingerlings. *Journal of Aquaculture Research & Development*, 06(03). <https://doi.org/10.4172/2155-9546.1000312>

**Abdel-Fattah, A., & Edrees, M. (1973).** Seasonal changes in the constituents of *Ulva lactuca*. *Phytochemistry*, 12(3), p.p. 481-485. [https://doi.org/10.1016/s0031-9422\(00\)84432-5](https://doi.org/10.1016/s0031-9422(00)84432-5)

**Aissou C., 2019.** Manuel de travaux pratiques de nutrition et alimentation des espèces aquacoles. Document interne 30p.

**Aminot A. , Chaussepied M., (1983).** Manuel des analyses chimiques en milieu marin .Brest :CNEXO,395p.

**AFNOR, 1975.** Essais des eaux. Table de solubilité de l'oxygène dans l'eau. NF T 90-032. p.6 .

**Angelier E., 2003.** Ecologie des eaux courantes. Ed. Technique et documentation. Lavoisier, Paris. p.p199 .

**Atallah A.(2014).** Procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée par la station de dessalement de l'eau de mer de honaine. Mémoire Master. Alimentation et Nutrition. Tlemcen : Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.p.99.

**AOAC (2000).** Official Methods of Analysis. , Gaithersburg, MD, USA :17èmeEd, p.p.10-992.

**AOAC. (1999).** Official methods of analysis. Washington: 16ème Ed.

#### B:

**Bajaj T., Alim H., Ali A., Patel N. (2023).** Phytochemical and Bioactive compounds of green algae (Chlorophyta) and their applications. *Aquatic Medicinal Plants*, p.p.227-250. <https://doi.org/10.1201/9781003256830-14>

**Ballorain K ,(2010)** “Écologie trophique de la tortue verte *Chelonia mydas* dans les herbiers marins et algueraies du sud-ouest de l'océan Indien Katia Ballorain To cite this version : HAL Id : tel-00576264 Thèse de Doctorat Discipline : Biologie Ecologie trophique de la tort,” p.p. 298, 2010.

**Berri M., Slugocki C et al (2016).** Marine-sulfated polysaccharides extract of *Ulva armoricana* green algae exhibits an antimicrobial activity and stimulates cytokine expression by intestinal epithelial cells. *Journal of Applied Phycology*, 28(5).

**Berri M et al.(2017).** Ulvane, un polysaccharide sulfaté d'*Ulva armoricana*, stimule la réponse immunitaire intestinale par un mécanisme impliquant la voie de signalisation TLR4/Akt.Vol.49,p.p. 211-212.

## Références bibliographiques

---

- Ben Abdallah R., Farhat A., Abdallah D., Boina M., Didier T., Le-Nouen, Jean-François Stumbé (2020).** Physico-chemical characterization of sample marine tunisian *Padina pavonica* algae as a sustainable biomaterial. p.p.38- 45.
- Benjama O., Payap M.(2011).** Nutritional composition and physicochemical properties of two green seaweeds (*Ulva pertusa* and *U. intestinalis*) from the Pattani Bay in Southern Thailand, Songklanakarin. J. Sci. Technol. Vol.33, p.p.575–583.
- Benguedd-Raha, W., 2012 -** Contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les sédiments et différents maillons de la chaîne trophique du littoral extrême ouest algérien. Thèse Doctorat. Université de Telemcen, p.p.44-54 .
- Benmehidi .F(2017).** Contribution à l'étude de la composition chimique et nutritionnelle d'une algue verte (*caulerpa racemosa*) et rouge (*corallina elongata*) collectées au niveau de la côte mostaganémoise. Mémoire Master. Exploitation et protection des ressources marines vivantes. Mostaganem : Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem.p.48.
- Biofuels BF. 2015.** Catalogue of algae species with high growth rates and energy potentiel.
- Boufenara. K; Mermoul .K(2018).** Evaluation de l'activité antioxydante chez les deux espèces d'algues vertes (*Ulva lactuca*) et l'algue brune (*Sargassum vulgare*). diplôme Master. Sciences Biologiques. Biochimie de la nutrition et Santé. Constantine : Université des Frères Mentouri .
- Botany. 2001.** Algae: Native *Ulva lactuca* C Agardh 1823 : University of Hawaii at Manoa.
- Boutiba Z ; Taleb M.Z et Abi-Ayed S.M.(2003)** .*État de la pollution marine de la côte oranaise*. Oran :Dar El Gharb Ed, p.69.
- Bravo L. 1998.** Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. Nutrition Research 56:p.p.317–333.
- Bremond R., Vuichard R., 1973.** Paramètres de la qualité des eaux, OSPEPE, Paris.
- Briand X.(1997).** Anaerobic digestion of *Ulva* spp. 1. Relationship between *Ulva* composition and methanisation. Vol.9, p.p.511–526.
- Brisou J, and François A. Denis(1980).** Techniques de surveillance de l'environnement maritime. Vol.3.
- C:**
- Cabioc'h J., Floc'h JY., Le Toquin A., Boudouresque CF., Meinesz A., Verlaque M (1992).** Guide des algues des mers d'Europe. Ed. Delachaux et Niestlé. France, P. 231.
- Casabianca M.L. BN, Serrano O., Sfriso A. 2002.** Growth rate of *ulva rigida* in different mediterranean eutrophicated sites Bioresource Technology 82: p.p.27-31.
- Cabrita M.T VC., Rauter A.P. 2010.** Halogenated Compounds from Marine Algae. . Mar Drugs 8:p.p.2301-2317
- Chakdar, H., & Pabbi, S. (2017).** Algal pigments for human health and Cosmeceuticals. Algal Green Chemistry, p.p.171-188. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63784-0.00009-6>.

## Références bibliographiques

---

**Chakraborty, S., Bhattacharya, T., Singh, G., Maity, J.P., 2014.** Benthic macroalgae as biological indicators of heavy metal pollution in the marine environments: A biomonitoring approach for pollution assessment. *Ecotoxicology and environmental safety* 100, p.p. 61–68.

**Chaouay A, Okhrib R, Hilali M, Bazzi L, Chahid A, and Khiri F, (2016)** Contribution à l'étude de l'analyse physico-chimique et de la contamination métallique de l'eau de mer du littoral d'Agadir (Sud du Maroc)., *J. Mater. Environ. Sci.*, vol. 7, no. 8, p.p. 2748–2759.

**Choppin .T (1995).** Valorisation des algues pour les industries agro-alimentaires, pharmaceutiques et cosmétiques .

**Chouikhi et al., (1992).** Circulation des eaux et pollution des côtes Méditerranéenne des pays du MAGHREB. Edit. INOC, Izmir-Turquie. P.307.

**Crookes, M., Brooke, D., (2011).** Science Report, Estimation of fish bioconcentration factor (BCF) from depuration data, Environment Agency Europe. P.247 .

**Cubas C., Gloria Lobo M., González M. (2008).** Optimization of the extraction of chlorophylls in green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by n,n-dimethylformamide using response surface methodology. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(2), p.p.125-133.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2007.07.007>.

**Coastal areas, Kanyakumari, Tamil Nadu, India;(2014).** Evaluation of antibacterial activity of some selected green seaweed extracts from Muttam . *Journal of Coastal Life Medicine*.

**Costa C., Alves A., Pinto P. R., Sousa R. A., Borges da Silva E. A., Reis R. L., et Rodreigs A. E., 2012.** Characterization of ulvan extracts to assess the effect of different steps in the extraction procedure. *Carbohydrate polymers*. 88 (2):p.p.537-546.

**Conseil canadien des ministres de l'environnement. 1999.** Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique — pH (eau de mer), dans *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*, 1999, Winnipeg, le Conseil.

### D:

**Daby, D. (2006)** Coastal pollution and potential biomonitors of metals in Mauritius. *Water. Air. Soil. Pollution*, 174.p.p. 63-91.

**Degiorgi F., Benoit J., Bollard A., Badot P.M. (2016).** Étude de l'état de santé des rivières karstiques en relation avec les pressions anthropiques sur leurs bassins versants. Rapport de la tranche 2B VOLET : Suivi de la nature et de la dynamique des proliférations végétales ; Caractérisation des communautés de macrophytes ; Mesures du recouvrement et des biomasses algales ; Analyse de la dynamique spatiotemporelle des colmatages. P.50.

**De Villers J., Squilbin M., yourassowsky C. 2005.** Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface. Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement.

**DE LA LOIRE D. D. P., 2013.** Étude inter-régionale de connaissance des marées vertes du littoral atlantique sous influence de la Loire et de la Vilaine (secteur compris entre Quiberon et Ré). *Mer et milieux marins*.

## Références bibliographiques

---

**Delépine R, Boudouresque CF, Frada-Orestano C, Noailles MC, Asensi A(1987).** Algues et autres végétaux marins. Fisch W Bauchet ML Schneider Mrédacteurs Fiches FAO Identif Espèces Pour Besoins Pêche Révizio n 1 Méditerranée Mer Noire Zone Pêche[Enligne].[Consulté31mars2022];37.Disponiblesur:<ftp://193.43.36.93/docrep/fao/009/x0169f/X0169F02.pdf>.

**Deng L., Zhu X., Wang X., Su Y., Su., 2007.** Biosorption of copper (II) from aqueous solutions by green alga *Cladophora fascicularis*. *Biodegradation*, 18 : p.p. 393–402.

**DE REVIERS B .2002.**Biologie et phylogénie des algues. Tome 1.edt belin.p.315.

**Derdour A.,Guerine L et ALLALI M (2021).**Assessment of drinking and irrigation water quality using WQI and SAR method in Maâder sub-basin, Ksour Mountains, Algeria.Vol. 7,N°1,p.p.1-14.

**Demmig B., Winter K., Kruger A. et Czygan F.C. (1987),** “Photoinhibition and zeaxanthin formation in intact leaves : a possible role of the xanthophyll cycle in the dissipation of excess light energy”, *Plant Physiology*, 84(2):p.p. 218-224.

**Deming-Adams B., Gilmore A.M. et Adams III W.W. (1996).** “In vivo functions of carotenoids in higher plants”, *the FASEB Journal*, 10:p.p. 403-412.

**Djafar S et Mezerreg I.(2018).** Les activités biologiques des polysaccharides.Master.Toxicologie.Constantine: Université des Frères Mentouri .p. 37.

**Direction de L’environnement et de L’Aménagement Littoral.(1996).** L’Ecotoxicologie Appliquée du Milieu Marin.Rapport d’activité .Document non publié. Nante : IFREMER.

**DREAL , Direction Régionale de l’Environnement, de l’Aménagement et du Logement Franche-Comté (2010).** Note sur la qualité hydrobiologique (macro-invertébrés, macrophytes et diatomées) de la Loue - stations de Mouthier-Haute-Pierre et de la Piquette.p 24 .

**DOMONKOS I., KIS M., GOMBOS Z., et UGHY B., 2013.** Carotenoids, versatile components of oxygenic photosynthesis. *Progress in Lipid Research* 52 (4):p.p. 539-561.

**DONADIEU Y. et BASIRE J. (1985).** Les algues : thérapeutiques naturelles. Maloine.

**Douaa S.; (2019).**Formulations écocompatibles d'extraits de l'algue verte *Ulva Lactuca* pour la préservation des agrumes après récolte .thèse doctorat.Sciences de la Matière (SDM): Institut National Polytechnique de Toulouse.

**Drever, J.I. 1988.** The geochemistry of natural waters. 2e éd. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

**E:**

**Ebrahimzadeh H., Niknam V., Maassoumi A.A., 1999.** Nitro compounds in *Astragalus* species from Iran. *Biochem. Syst Ecol*, 27:p.p. 743-751

**El gamal A. A., 2010.** Biological importance of marine algae. *Saudi Pharmaceutical*

## Références bibliographiques

---

*Journal* 18 (1):p.p.1-25.

**Ebrahimzadeh H., Niknam V., Maassoumi A.A., 1999.** Nitro compounds in Astragalus species from Iran. *Biochem. Syst Ecol*, 27:p.p. 743-751

### F:

**Faller H. (2011).** Les applications et la toxicité des algues marines. Doctorat en pharmacie, Université de Limoges, France: P.131.

**Farasat M., Khavari-Nejad R.-A., Nabavi S. M. B., et Namjooyan F., 2014.** Antioxidant activity, total phenolics and flavonoid contents of some edible green seaweeds from northern coasts of the Persian Gulf. *Iranian journal of pharmaceutical research: IJPR* 13 (1):p. 163.

**Fareeha A., Atika A., Aliya R., 2013.** Protein extraction from *Ulva lactuca* and *Padina pavonica* found at Buleji coast, Karachi, Pakistan. *Int. J. Phycol. Phycochem.* 9: p.p. 49-52.

**Féret J.-B. 2009.** Paris [En ligne] Apport de la modélisation pour l'estimation de la teneur en pigments foliaires par télédétection:p. 6.

**Fleurence J., LE Coeur C., Mabeau S., Maurise M., et Landerine A., 1995.** Comparison of different extractive procedures for proteins from the edible seaweeds *Ulva rigida* and *Ulva rotundata*. *Journal of applied phycology* 7 (6):p.p. 577-582.

**Floreto E., Hirata H., Ando S., et Yamasaki S., 1993.** Fatty acid composition of *Ulva pertusa* Kjellman (Chlorophyta) and *Gracilaria incurvata* Okamura (Rhodophyta) in Japanese coastal waters. *Botanica Marina* 36 (3):p.p. 217-222.

**Floc'h J. Y. LV. 2010.** Les secrets des algues. :p.168.

### G:

**Garon-Ladiere S. 2004.** Etude structurale des polysaccharides pariétaux de l'algue rouge *Asparagopsis armata* (Bonnemaisoniales). :p.332.

**Godard M., Decorde K., Ventura E., Soteris G., Baccou J.C, Cristol J.P. et Rouanet J.M. (2009).** Polysaccharides from the green alga *Ulva rigida* improve the antioxidant status and prevent fatty streak lesions in the high cholesterol fed hamster, an animal model of nutritionally-induced atherosclerosis. *Food Chemistry*, 115(1), p.p. 176-180.

**Gaudry A., Zeroual S., Gaie-Levrel F., Moskura M., Boujrhah F.Z., El Moursli,R.C., Guessous A., Mouradi A., Givernaud T., Delmas R. (2007).** Heavy metals pollution of the atlantic marine environment by the Moroccan phosphate industry, as observed through their bioaccumulation in *Ulva lactuca*. *Water, Air, and Soil Pollution*, 178. p.p. 267-285.

**Gourlay-Francé C., Vincent-Hubert F., Tusseau-Vuillemin M.H., Sanchez W, Geffard A., Lévi Y., Ozio L., Labadie P., Mouchel J.M., Ragué M., Théry S. (2011).** Le risque écotoxicologique dans le bassin de la Seine : comprendre et diagnostiquer l'impact de la contamination sur les organismes.p. 49.

## Références bibliographiques

---

**Goudjil S .Guerouabi I .(2022)** .Etude de quelques paramètres physico-chimiques et ecotoxicologiques d'une algue verte du genre *Ulva* sur le littoral algérois. Mémoire de fin d'études. Biotechnologie Marine .Dely Brahim :ENSSMAL (école National Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral)p.p. 40-79.

**Gobas F. Morrison H A., 2000**, Bioconcentration and biomagnification in the aquatic environment. In: R.S. Boethling and D. Mackay Eds Handbook of Property Estimation Methods for Chemicals: Environmental and Health Sciences (Boca Raton: Lewis), p.p. 189–231.

**Gueye M. F., Bodian M. Y., Mbaye M. S., Sene G., Noba, K. (2019)**. Analyse de la flore des macroalgues de trois sites marins de Dakar (PNIM, Soumbédioune et Terrou-Bi) AU Senegal. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(2), p.634.

**Guschina I. A. and Harwood J. L(2009)**.: Algal lipids and effect of the environment on their biochemistry. Springer, New York, USA (2009).

**Guiry M. D., Guiry G. M. 2020**. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>: Ulvaceae JV Lamouroux ex Dumortier, 1822.

### H :

**He J., Xu Y., Chen H., Sun P., 2016**. Extraction, Structural Characterization, and Potential Antioxidant Activity of the Polysaccharides from Four Seaweeds. *International journal of molecular sciences* 17 (12):1988. Disponible sur le web: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27916796>

**Haryatfrehni R., Dewi S. C., Mellianda A., Rahmawati S., Sari I. Z. R., 2015**. Preliminary study the potency of macroalgae in yogyakarta: extraction and analysis of algal pigments from common gunungkidul seaweeds. *Procedia Chemistry* 14:p.p. 373-380.

**Holdt S.L., Kraan S. (2011)**. Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), p.p. 543-597.

**Hortense F. (2011)**. Les applications et la toxicité des algues marines. Doctorat en pharmacie. Université de Limoges, France, p.131.

**Ho Y. B. (1990)**.*Ulva lactuca* as bioindicator of metal contamination in intertidal waters in Hong Kong. *Hydrobiologia*.Vol.203,N°1, p.p.73-81.

### I:

**İrkin C. L. EH. 2014**. Chemical composition of *Ulva rigida* C. Agardh from the Çanakkale Strait (Dardanelles), Turkey. *J Black Sea/Mediterranean Environment* 20: p.p. 114-121

### J:

**Jha and X. Zi-Rong**, “Biomedical compounds from marine organisms,” *Mar. Drugs*, vol. 2, no. 3, pp. 123–146, 2004, doi: 10.3390/md203123.

**Jiménez-E; Antonio; Gómez-Ordóñez, Eva; et Rupérez, P (2011)**. Seaweed as a source of

## Références bibliographiques

---

novel nutraceuticals: sulfated polysaccharides and peptides. *Advances in food and nutrition research*.vol.64, p.p. 325-337.

**Jiao G., Yu G., Zhang J., Ewart S.H. (2011).** Chemical structures and bioactivities of sulphated polysaccharides from marine algae. *Marine Drugs*, 9(2), P.p. 196-223.

**JAULNEAU V., LAFITTE C., JACQUET C., Fournier S., SALAMAGNE S., BRIAND X., ESQUERRE-TUGAYE MT. et DUMAS B. (2010).** Ulvan, a sulphated polysaccharide from green algae, activates plant immunity through the jasmonic acid signaling pathway. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, p.p. 1-11.

**JORADP.:** Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique, n°46. Décret exécutif n°93-164. Du 14 juillet 1993. Définissant la qualité requise des eaux de baignade.

### K:

**Keng P S., Lee, S L., Ha S T., Hung Y T., Ong S T. (2013).** Cheap Materials to Clean Heavy Metal Polluted Waters. Chapter 8. in E. Lichtfouse et al. (eds.), *Green Materials for Energy, Products and Depollution, Environmental Chemistry for a Sustainable World 3*, DOI 10.1007/978-94-007-6836-9 8, Springer.

**Khaldi F. Z. et Melghit M., 2007.** Qualité physico-chimique, pollution organique et contamination métallique (Fe, Cu, Mn et Zn) de l'Oued Rhumel et des eaux des barrages Hammam Grouz et Beni Haroun. Mémoire d'ingénieur en Écologie et environnement. Université Mentouri, Constantine. P.102 .

**KHERRAF A. (2018).** Caractérisation physicochimique et évaluation du potentiel antioxydant, antimicrobien et anti-inflammatoire de la microalgue *Nannochloropsis gaditana*. Doctorat en Immunochimie alimentaire et santé. Sidi Bel Abbes, Algérie:Faculté des sciences de la nature et de la vie, Université Djillali Liabes.

**Kim M. JDJ, Giraud T.J., 1996.** Seasonal variations of triacylglycerols and fatty acids in *Fucus serratus*. *Phytochemistry Reviews* 43:p.p. 49–55.

**KIM J.-H., KIM S. A., EDWARDS M. S., et LEE I.-A., 2018.** Anti-inflammatory Effects of Polyphenol Extracts from *Ulva linza* (Ulvophyceae, Chlorophyta). *Toxicology and Environmental Health Sciences* 10 (3): p.p. 212-219

**Kochert G., Carbohydrate determination by the phenol-sulphuric acid method, in ., Ahellebust J., Craigie J., (Eds.) (1978),** Hand book of phycological methods: physiological and biochemical methods. Cambridge University Press, Cambridge.

**Ksouri R, Falleh H, Megdiche W, Trabelsi N, Mhamdi B, Chaieb K, Bakrouf A, Magné C et Abdely C (2009).** Antioxidant and antimicrobial activities of the edible medicinal halophyte *Tamarix gallica* L. and related polyphenolic constituents. *Food and Chemical Toxicology*, 47, p.p. 2083-2091.

## Références bibliographiques

---

**Ktari L, Ismail-Ben Ali A., Ben Redjem Y., Langar H., El Bour M, (2010)** “Antifouling activity and chemical investigation of the brown alga *Dictyota fasciola* (Dictyotales) from Tunisian coast,” *Cah. Biol. Mar.*, vol. 51, no. 2, p.p. 109–115, 2010.

**Kumar M., Kumari P., Gupta V., Anisha P.A., Reddy C.R.K., and Jha B., 2010,** Differential responses to cadmium induced oxidative stress in marine macroalga *Ulva lactuca* (Ulvales, Chlorophyta). *BioMetals* 23, p.p. 315–325. doi: 10.1007/s10534-010-9290-8

### L:

**L’Actus des algues (2021).** Qu’est-ce qu’une algue ? [Enligne].[Consulté le 10/07/ 2022] .

**Lahaye M. RB., Baumberg S., Qumener B., Axelos M.( 1995).** Natural Decoloration, ComDosition and Increase in Dietary Fibre & tent of an Edible Marine Algae, *UZva rigida* (Chlorophyta), Grown under Different Nitrogen Conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 68:p.p. 99-104.

**Lahaye M., Robic A.(2007).** Structure and functional properties of ulvan, a polysaccharide from green seaweeds. *Vol.8,N°6*, p.p. 1765-1774.

**Lakhdar F (2018),** Contribution à l’étude des potentialités antiproliférative et anti bactérienne des algues brunes et rouges de la côte d’El Jadida pour une valorisation médicale et environnementale,” *Thèse Dr. Univ. Nantes*, p.p. 1–190 .

**Lami R., Orignac J.** Fiche de *Ulva lactuca*. Université virtuelle environnement et développement durable.

**Laredj F (2018).** Evaluation de l’impact des rejets sur le littoral ouest algérien par l’utilisation des macroalgues *Ulva lactuca*, et *corallina officinalis* comme bioindicateurs de la pollution marine. Thèse doctorat. Science de la mer et de littorale. Oran : Université d’Oran.1.p. 166.

**Leston, S., Nunes, M., Viegas, I., Nebot, C., Cepeda, A., Pardal, M. Â., Ramos, F. (2014).** The influence of sulfathiazole on the macroalgae *Ulva lactuca*. *Chemosphere*, 100(0). p.p.105-110.

**Lu I.F., Sung M.S., Lee T.M. (2006).** Salinity stress and hydrogen peroxide regulation of antioxidant defense systems in *Ulva fasciata*. *Marine Biology*, 150. p.p 1-15

**Lu Q., Zenhli L., Graetz D.E., Stoffella P.J., Yang X., (2011),** Uptake and distribution of metals by water lettuce (*Pistia stratiotes* L.). *Environmental Science and Pollution Research* 18,p.p. 978–986. doi: 10.1007/s11356-011-0453-0

**Lynda B (2020),** “Algues & Activités,” .

### M:

**Markert, B.A., Breure, A.M. et Zechmeister, H.G., 2003.** Definitions, strategies and principles for bioindication/biomonitoring of the environment. *Bioindicators andbiomonitors: principles, concepts and applications*, B.A. Markert, A.M. Breure, H.G. Zechmeister, editors. (Oxford : Elsevier Science Limited), p.p. 3-39.

**Maisuthisakul, P., Suttajit, M., Pongsawatmanit, R. (2007).** Assessment of phenolic content and free radical-scavenging capacity of some Thai indigenous plants. *Food chemistry*,

## Références bibliographiques

---

100,p.p. 1409-1418

**MAO W., ZANG X., LI Y. et ZHANG H. (2006).** Sulfated polysaccharides from marine green algae *Ulva conglobata* and their anticoagulant activity. *Journal of Applied Phycology*. 18(1), p.p. 9-14.

**Marfaing, H., 2004.** Les algues dans notre alimentation : Intérêt nutritionnel et utilisations. *Revue de nutrition pratique*. Dietecom Bretagne.CEVA. P.p. 1-9.

**Mediterraneo AM. 2015.** *Ulva lactuca*

**Mébarki A., 1982.** Le bassin du Kébir-Rhumel (Algérie). Hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau. Thèse de doctorat 3ème cycle. Nancy II. P.304 .

**Mébarki A., 1984.** Ressources en eau et aménagement en Algérie. Le bassin du Kébir-Rhumel. *O.P.U.* Alger. p.302 .

**Merabet S.(2010).** Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et distribuées du barrage réservoir de béni-Haroun. Mémoire de magister. Université Mentouri de Constantine.

**Messyasz B. RA. 2010.** Abiotic factors affecting the development of *Ulva* sp. (Ulvophyceae, Chlorophyta) in freshwater ecosystems. . *Aquatic Ecology Jobs* 45:p.p.75-87.

**Mezdour H ;et Menad A.( 2018).** Potentiel antioxydant des algues des côtes de l'est Algérien. Thèse de doctorat . Constantine :Université des Frères Mentouri Constantine1:p. 99.

**Millot C et al., (1989).** La circulation générale en Méditerranée occidentale: Aperçu de nos connaissances et projets d'études. p.p. 497-515.

**Miller, D.C., S. Poucher, J.A. Cardin et D. Hansen. 1990.** The acute and chronic toxicity of ammonia to marine fish and a mysid. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 19:40-48

**Minist P et al.(2021),** “Application des procédés électrochimiques pour la désinfection des eaux usées de l’UDES.

**Moreau A., (2002).** Documentaliste scientifique et technique -Centre de ressources documentaires Estran cité de la mer dieppe 26/09/02.p. 5.

**Mouloud U and M. De Tizi-Ouzou,(2020)** “Etude bibliographique portant sur les activités biologiques des algues marines.

**Mouhoub-S C.** [Enligne]. [Consulté le 09/05/2022] disponible sur <http://fsnv.univ-bouira.dz/wp-content/uploads/2021/01/Cours-M-II-Phytopathologie-Ecotoxicologie-et-Analyse-des-r%C3%A9sidus.pdf>

**Mouritsen O.G.(2015).** Algues marines. Propriétés, usages, recettes.France :1<sup>ère</sup> Ed,p.304.

**Mouvet C., Pattee E., Cordebar P. (1986).** Utilisation des mousses aquatiques pour l'identification et la localisation précise de sources de pollution métallique multiforme. *Acta Oecologica*, 7(1). p.p.77-91.

**Moreau X.(2010).** Ecotoxicologie en milieux Aquatiques Méditerranéens & Santé Humaine. Utilisation de biomarqueurs animaux dans le diagnostic écotoxicologique précoce.

## Références bibliographiques

---

JournéesECCOREV.p. 30 ;

[https://www.eccorev.fr/IMG/pdf/2010\\_JECCOREV\\_1\\_Moreau.pdf](https://www.eccorev.fr/IMG/pdf/2010_JECCOREV_1_Moreau.pdf)

### N:

**Nakajima K., Yokoyama A., Nakajima Y., (2009).** Anticancer effects of a tertiary sulfonium compound, dimethylsulfoniopropionate, in green sea algae on Ehrlich ascites carcinoma-bearing mice. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*. 55, p.p. 434-438.

**Nasr A. H., Aleem A. A.(1949):** Ecological studies of some marine algae from Alexandria, *Hydrobiologia*, 1, p.p. 251-281.

**NAEGELE E., NAEGELE A. (1967).** Les algues. Presses universitaires de France. Paris, p. 126.

### O:

**Oucif H. (2019).** Valorisation des algues de la côte Ouest algérienne: potentiel antioxydant et hormonal. Thèse de Doctorat .Biotechnologie. Oran :Université d'Oran

**Oucif H., Benaissa M ;Mehidi A., Smaïl (2020).** Chemical composition and nutritional value of different seaweeds from the West Algerian Coast. vol. 29, N°1, p.p. 90-104.

**Oumaskour K, Boujaber N, Etahiri S, and Assobhei O (2013).** “Anti-inflammatory and antimicrobial activities of twenty-three marine red algae from the coast of Sidi Bouzid (El Jadida-Morocco),” *Int. J. Pharm. Pharm. Sci.*, vol. 5, no. 3, p.p. 145–149, .

### P:

**Padua M., GPS, Mathias L.A (2004).** Chemical composition of *Ulvaria oxysperma* (Kützinger) Bliding, *Ulva lactuca* (Linnaeus) and *Ulva fasciata* (Delile). *Brazilian Archives of Biology and Technology* 47:p.p. 49-55.

**PNUE/FAO/OMS/AIEA, 1990.** Évaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par les composés organohalogénés. MAP Tech. Rep. Ser., (39):p.p. 105–216

**Parrish, C. C., Abrajano, T. A, Budge, S. M., Helleur, R. J., Hudson, E. D. (2000).** Lipid and phenolic biomarkers in marine ecosystems : Analysis and applications. *The Handbook of Environmental chemistry Marine Chemistry*, 5. p.p. 193 223.

**Paul VJ and Fenical W. (1987).** Natural products chemistry and chemical defence in tropical marine algae of the Phylum chlorophyta. *Bioorganism Mar Chem*, 1: p.p.1-29

**Palpperumal, S., Harinathan, B., Sankaralingam, S., & Mahendran, S. (2021).** Study on Bioactive potential of Sulfated polysaccharide from green alga *Ulva lactuca* L. in Tuticorin from southeast coast of India. *Recent Progress in Microbiology and Biotechnology* Vol. 7,p.p. 29-40. <https://doi.org/10.9734/bpi/rpmb/v7/9915d>

**Payne J., Stewart J.(1988):** The chemical composition of the thallus wall of *Characiosophon rivularis* (Characiosiphonaceae, Chlorophyta), *Phycologia*, 27,p.p. 43-49 .

### Q:

## Références bibliographiques

---

Quizlet.com : plateforme d'apprentissage en ligne.

### R:

**Ramade F., 1982.** Éléments d'écologie (écologie appliquée), DULOD, Paris.

**Ramade F., 2002.** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Paris, Dunod, p.1075 .

**Ramade, F. (2005).** Eléments d'écologie, écologie appliquée. 6eme édition, Dunod, Paris, p. 864 .

**Rodier J., 1984.** L'analyse de l'eau, Eaux naturelles, Eaux résiduaires et Eaux de mer, Paris:7ème édition, DULOD.

**Rodier J., 2005.** L'analyse de l'eau, Eaux naturelles, Eaux résiduaires et Eaux de mer, Paris: 9ème édition, DULO, .

**ROMAY C., ARMESTO J., REMIREZ D., GONZALEZ R., LEDON N. et GARCIA I. (1998).** Antioxidant and anti-inflammatory properties of C-phycoyanin from blue green algae. *Inflammation Research*, 47(1), p.p. 36-41.

### S:

**Saymard E (2010),** "Mémoire De Fin D ' Études Mémoire De Fin D' Études," p. 2013.

**SARNI-MANCHADO P., et CHEYNIER V. 2006.** *Les polyphénols en agroalimentaire:* Éditions Tec & Doc.

**Satpati G G., et Parl. 2011.** Biochemical composition and lipid characterization of marine green alga *Ulva rigida*- a nutritional approach

**Stankovic S., Kalaba P., Stankovic A R. (2014).** Biota as toxic metal indicators. *Environmental Chemistry Letters*, 12(1). p.p. 63 84.

**Snoussi N ; Chiban F .(2018).** contribution à l'étude de quelques paramètres biochimiques et écotoxicologiques d'une algue verte (*ulva lactuca*).Mémoire de fin d'études .BIORESSOURCES MARINES :Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem.p.p. 40-67.

### T:

**Tang Z.; Yu Z.; Zhao W.; Guo J.; Gao L.; Qin S.(2011).** Ultrasonic extraction of polysaccharides from *Enteromorpha*. *Mod. Technol.* Vol.27, p.p. 56–59.

**Ti, "Dessalement de l' eau de mer,(2012)"** *Tech. l'Ingénieur*, vol. 33, no. 0, p.p. 1–2.

**Trigui M., Gasmil., Zouari I. et Tounsi S. (2013).** Seasonal variation in phenolic composition, antibacterial and antioxidant activities of *Ulva rigida* (Chlorophyta) and assessment of antiacetylcholinesterase potential. *Journal of Applied Phycology*, 25(1), p.p. 319-328.

**Thomas D J., R.W. MacDonald et A.B. Cornford. (1982).** Arctic data compilation and appraisal. Vol. 2. Beaufort Sea: Chemical oceanography. Rapport statistique canadien sur l'hydrographie et les sciences océaniques. No. 5. Ministère des Pêches et des Océans Canada

## Références bibliographiques

---

### V:

**Vanparys C., Dauwe T., Van Campenhout K., Bervoets L., De Coen W., Blust R., Eens M. (2008).** Metallothioneins (MTs) and delta-aminolevulinic acid dehydratase (ALAd) as biomarkers of metal pollution in great tits (*Parus major*) along a pollution gradient. *The Science of the total environment*, 401. p.p. 184-193.

**Vanderlei S O., Patoil K K et al (2010).** Antinociceptive and anti-inflammatory activities of lectin from the marine green alga *Caulerpa cupressoides*. *International immunopharmacology* 10 (9):p.p. 1113-1118.

**Van der Oost R; Beyer J.; Vermeulen N. (2003).** Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. , 13(2), p.p. 0-149. doi:10.1016/s1382-6689(02)00126-

### W:

**Wahsha A.M., Juhmanib A., Buosib A., Sfrisob A., and Sfrisob A., (2017),** Assess the environmental health status of macrophyte ecosystems using an oxidative stress biomarker. Case studies: the Gulf of Aqaba and the Lagoon of Venice. *Energy Procedia* 125,p.p. 19- 26. doi: 10.1016/j.egypro.2017.08.041

**Wariaghli F., El ghzaoui G., al amouri M., (2004).** Les algues et leur Intérêt en ecotoxicologie. Université Mohamed V. UFR, biodiversité du littoral marocain, Module, Ecotoxicologie, p. 92.

**Wetzel R.G. (1983).** *Limnology*. 2e éd. CBS College Publishing, Philadelphia

**WOLF M A., SCIUTO K., ANDREOLI C., MORO I., (2012).** *Ulva* (Chlorophyta, Ulvales) Biodiversity in the North Adriatic Sea (Mediterranean, Italy): Cryptic Species and New Introductions. *Journal of Phycology* 48 (6):p.p. 1510-1521. Disponible sur le web: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jpy.12005>

**Yan X., Chuda Y., Suzuki M., Nagata T,(1999)** "Fucoxanthin as the major antioxidant in *hijikia fusiformis*, a common edible seaweed," *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, vol. 63, no. 3, p.p. 605-607, 1999, doi: 10.1271/bbb.63.605.

### Y:

**Yoo C., Jun S., Lee J., Ahn C., Oh, H. (2010):** Selection of microalgae for lipid production under high levels carbon dioxide, *Bioresour. Technol.*, 101, 71e74 2010.

**YAICH H., GARNA H., BESBES S., PAQUOT M., BLECKER C., ATTIA H., 2011.** Chemical composition and functional properties of *Ulva lactuca* seaweed collected in Tunisia. *Food chemistry* 128 (4):p.p. 895-901

## Références bibliographiques

---

**Yang Y J., Shan F., Zhaopeng S., Wenwen Z., Zhongning X., Z Zhan ., Xiaolu J.(2021).**

Protective Effects of *Ulva lactuca* Polysaccharide Extract on Oxidative Stress and Kidney Injury Induced by D-Galactose in Mice Qian. Vol.19, N°10, p. 539.

**Yorick R ., Spyratos ., Basilico L.(2013).** Bioindication : des outils pour évaluer l'état écologique des milieux aquatiques Perspectives en vue du 2e cycle DCE – Eaux de surface continentales : Rapport d'activité . Document non publié. France : Véronique Barre (Onema/Dast).

### **Z:**

**Zehlila A.,(2017).** Caractérisation structurale et fonctionnelle des métabolites de l'algue verte *Ulva rigida* au moyen d'une approche protéomique . thèse de doctorat. Sciences biologiques : université TUNIS EL MANAR.

**Zitouni H ., Arhab R., Boussboua H ., Boudry C., Beckers Y (2013).** Valeur alimentaire d'une Algue verte marine du littoral Algérien chez le ruminant Nutritive value of marine green Seaweed of the Algerian coast in ruminants. 2013, 20

**Zuykov M., Pelletier E., Harper, D. A. T. (2013).** Bivalve mollusks in metal pollution studies: from bioaccumulation to biomonitoring. *Chemosphere*, 93(2). p.p. 201-208.

# **Les annexes**

# **Les annexes**

# Les annexes

---

## Annexe 01 : Matériel et réactifs utilisés

### Appareillage

- ❖ Balance à précision  $10^{-5}$
- ❖ Mortier
- ❖ Vortex
- ❖ Agitateur avec plaque chauffante
- ❖ Pipette
- ❖ Micropipettes (10, 20, 50, 100 et 1000  $\mu$ l)
- ❖ Centrifugeuse
- ❖ Etuve
- ❖ Spectrophotomètre UV-visible
- ❖ Microscope optique
- ❖ Microscope Photonique
- ❖ Dessiccateur
- ❖ Four à moufle
- ❖ Extracteur de Soxhlet
- ❖ Cartouche de cellulose
- ❖ Rota vapeur
- ❖ Papier filtre
- ❖ Burette
- ❖ Flacons hermétiques bruns
- ❖ Tube à visse
- ❖ Pompe à vide
- ❖ Hotte d'aspiration chimique

### Réactifs

- ❖ Ether éthylique
- ❖ Ether de pétrol
- ❖ Sérum albumine bovine (BSA) à 1 %
- ❖ Hydroxyde de sodium NaOH
- ❖ Réactif de Biuret
- ❖ Acétate d'éthyle
- ❖ Réactif de Folin (0.2N)
- ❖ Carbonate de sodium  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  à 2%
- ❖ Acétone (100 %)
- ❖ Ethanol absolu
- ❖ Phénol
- ❖ Acide sulfurique (98%)
- ❖ Acide gallique

## Les annexes

---

### Annexe 02 : Photos de quelques étapes d'extraction des molécules



Figure (A2) 1:lavage des algues



Figure (A2) 2:Broyage d'algue

## Les annexes

---

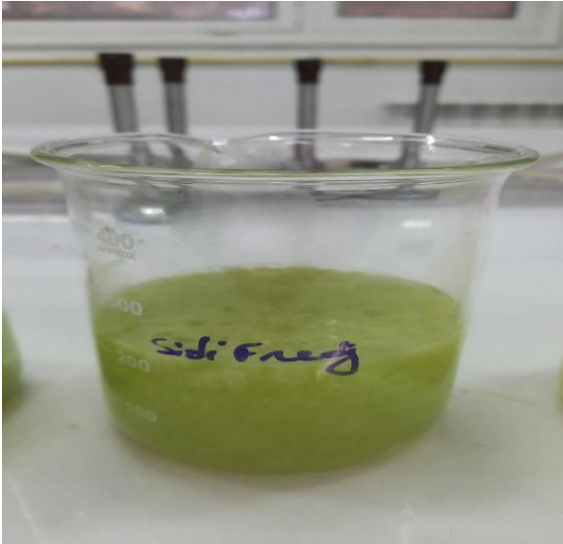


Figure (A2) 3:Précipitation des polysaccharides à l'alcool



Figure (A2) 4: pelote de polysaccharide



Figure(A2) 5:broyage des polysaccharides

## Les annexes

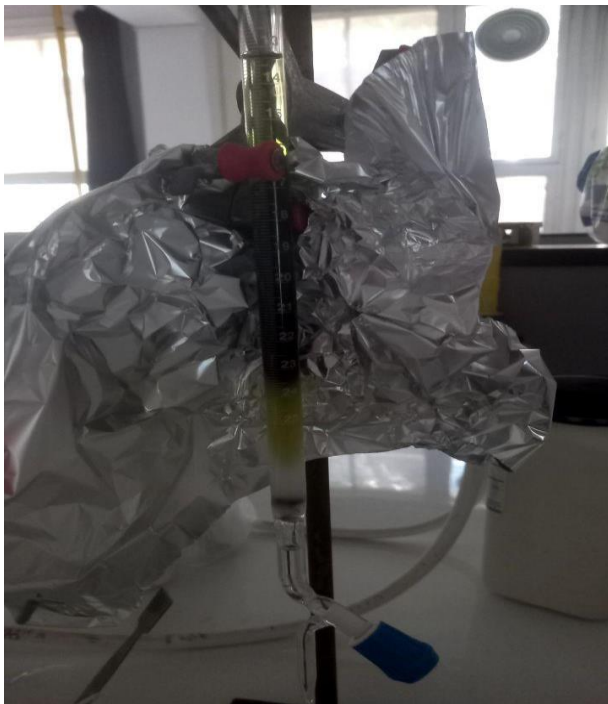
---



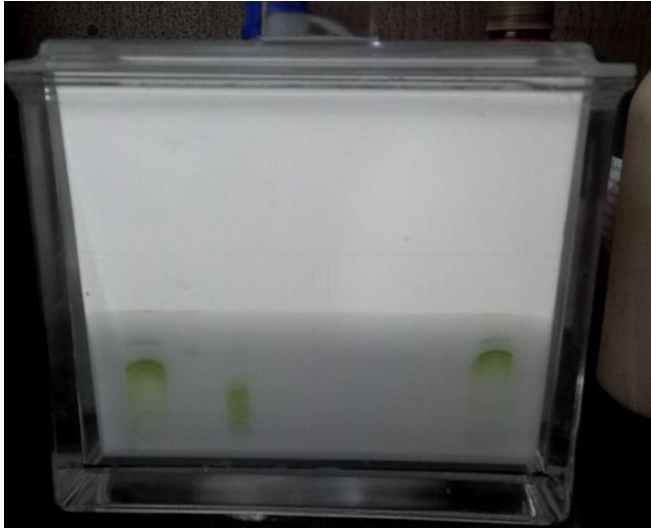
Figure(A2) 6: Test de mise en évidence des polysaccharides méthode de Dubois



Figure(A2) 7: Dosage des polyphénols méthode de BENARIBA *et al.* (2013) modifiée.



Figure(A2) 8: Séparation des pigments par chromatographie sur colonne (gel de silice)



Figure(A2) 9 : Isolement et identification des pigments par CCM

### المخلص:

البحتمتعلقبدراسةوتقييمالخصائصالفيزيوكيميائيةوالتلوثالبيئي للطحالبالخضراء، خاصةمنوع *Ulva lactuca* ، أدركتعلباساحالجزائر يأنهاقليلة. بلاإستخدامهأقلمجالرصدالتلوثالبيئي ، الذيثبتأنهاالأكثرإحاحالتطبيقعلباساحالجزائر بالذبيواجهبشكلمتزايدضغوطامنازلزيادةالسريعةالتحضر والتوسع العمراني، فضلاعنالموثاتالمختلفةذاتالأصولالمتعددة.

وفيضوءذلك، يهدفالعملالحاليوالإلتحديدالتركيبالكيميائيالعاملطحالبالخضراء (*Ulva lactuca*) التيتمجمعهاعلباساحالجزائر بالعاصمةفيثلاثةمواقعسيديفرج ، مركبالقرنالذهبيوونسدوكوالي (Anse de Kouali, Sidi Fredj , Corne d' or)، والتيتعتبرمؤشرحيويالتلوثالبيئي. منخلالتقييموتقديرالمركباتالنشطةبيولوجياً، أيمتعددالسكريات(les polysaccharides) ومتعددالفينولات(les polyphénols) فيالمواقعالثلاثةالتيتمتدراستها. ولتأكيدمصدرالاختلافاتفيهذاالمعدلاتبينالمواقعالمختلفة، يجرىتقييمفيزيوكيميائيللمياهالساحليةالتييتمحصادها فيكل موقع.

نتائجتحليلصوفوةالنباتالتيهي *Ulva lactuca*.

يرجبالإشارةإلىأنهذها لأخيرةلديهامعدلمرتفعجداًمنالموادالمعدنيةوبالأخصفيالموقعالأول(سيديفرج ج. )

محتوالبدهونمنخفضعموماًعند *ulva spp*

يحتويأيضاًعلكميةملحوظةمنالبروتين، تختلفقيمتهمنموقعإلىآخربحداًأقصيمسجلعندمستوى (S1 Sidi Fredj) سيديفرج، وهومكانيواجهتصريفالمياهالصرفالصحي، دونأيمعالجةمسبقة.

يشيرهذاالوجودخصائصنشطةبيولوجياًمحتملةلهذهالجزئيات. وبالمثل، فإنمستوياتالسكرياتالكبريتية

(les polysaccharides sulfates) المسجلةلهذاالطحالبمرتفعةالتقديرتب % 23.54 منالوزنالجافللطحالب ؛

معترأيالمعدلاتحسبتتركيزالتلوثفيالمواقع. كماتمتسجيلمستوياتعاليةجداًمنالبولي فينول فيموقعسيديفرج ج، و هي في حدود  $54.79\mu\text{g}$

mEq/mg منالوزنالجاف.

### Abstract:

Studies analyzing the physicochemical and ecotoxicological characteristics of green algae, particularly of the *Ulva lactuca* genus, on the Algerian coast are rare. Moreover, their use in biomonitoring is still limited, which is particularly worrying given the increasing urbanization, anthropogenic impact and various sources of pollution with which the Algerian coastline is increasingly confronted. In this context, this study aims firstly to determine the overall chemical composition of *Ulva lactuca* algae harvested at three sites on the west coast of Algiers (Anse de Kouali, SidiFredj and Corne D'or). It also seeks to assess the capacity of this alga to act as a bioindicator and biomarker of pollution by examining bioactive compounds such as polysaccharides, proteins and polyphenols at these three sites. To better understand the variations in these levels between sites, a physicochemical analysis of the coastal waters sampled at each site was also carried out. The results of the *Ulva lactuca* algal analysis show that it has a high mineral content, while its lipid content is relatively low. Total protein levels varied from site to site, with a peak observed at Sidi Fredj (S1) 18.86% DM, a location directly exposed to untreated wastewater, suggesting the potential presence of bioactive properties of these molecules. In addition, the sulfated polysaccharide content of this alga is high and increases with the level of contamination at the sites. In addition, very high concentrations of polyphenols were recorded at Sidi Fredj, reaching 54.77ug mEq/mg dry matter. *Ulva lactuca* was found to contain chlorophyll pigments. These are, in descending order, chlorophyll a, chlorophyll b, xanthophylls, carotenes and phaeopigments.

**Keywords:** *Ulva lactuca*, pollution, Algiers beaches, Biomarker, Bioindicator, polyphenols, Polysaccharides, overall chemical composition, pigments

### Résumé:

Les études portant sur l'analyse des caractéristiques physicochimiques et écotoxicologiques des algues vertes, en particulier du genre *Ulva*, sur les côtes algériennes sont rares. De plus, leur utilisation dans le domaine de la biosurveillance est encore limitée, ce qui est particulièrement préoccupant compte tenu de l'urbanisation croissante, de l'impact anthropique et de diverses sources de pollution auxquels le littoral algérien est de plus en plus confronté. Dans ce contexte, cette étude vise d'abord à déterminer la composition chimique globale de l'algue *Ulva lactuca* récoltée aux niveaux de trois sites de la côte ouest d'Alger (Anse de Kouali, Sidi Fredj et Corne D'or). Elle cherche également à évaluer la capacité de cette algue à servir de bioindicateur et de biomarqueur de la pollution en examinant les composés bioactifs tels que les polysaccharides, les protéines et les polyphénols sur ces trois sites. Pour mieux comprendre les variations de ces taux entre les sites, une analyse physicochimique des eaux côtières prélevées sur chaque site a également été effectuée. Les résultats de l'analyse de l'algue *Ulva lactuca* montrent qu'elle présente une teneur élevée en matière minérale, tandis que sa teneur en lipides est relativement faible. Les niveaux de protéines totales varient d'un site à l'autre, avec un pic observé à Sidi Fredj (S1) 18,86% de MS, un endroit directement exposé aux eaux usées non traitées, ce qui suggère la présence potentielle de propriétés bioactives de ces molécules. De plus, les teneurs en polysaccharides sulfatés de cette algue sont élevées et augmentent en fonction du niveau de contamination des sites. En outre, des concentrations très élevées de polyphénols ont été enregistrées à Sidi Fredj, atteignant 54,77 µg mEq/mg de matière sèche. Il a été constaté qu'*Ulva lactuca* contient des pigments chlorophylliens. Ces derniers sont, dans l'ordre décroissant, la chlorophylle a, la chlorophylle b, les xanthophylles, les carotènes et phéopigments.

**Mots clés :** *Ulva lactuca*, pollution, plages d'Alger, Biomarqueur, Bioindicateur, polyphénols, Polysaccharides, composition chimique globale, pigments.

## Communication affichée dans séminaire national :

First national seminar on oxidative stress in plants.

Le 07 juin 2023 Tiaret .

Amrouche Lynda ,Refes Wahid , Guerouabi Ibtissem , Goudil Sarah , Mansour Nebia , Sassi Meriem, Guerroumi Houda , Bahri Nabila et Bensouici Chawki



## **Références bibliographiques**

---

---