



DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'AQUACULTURE

## MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

**M<sup>elle</sup> Tamesquelte Lamia**

**M<sup>elle</sup> Bakhti Khawla .**

Pour l'obtention du diplôme de

**MASTER EN HYDROBIOLOGIE MARINE ET CONTINENTALE**

**Spécialité:(Bio-ressources marines)**

### THÈME

**Etude des paramètres biochimique et de l'activité anti-oxydante de quelques algues (algues verte, algues brune et algues rouge) de la côte de Mostaganem.**

Soutenue le : 2020

#### DEVANT LE JURY

Président	Dr Bekada. D	Maitre de conférences b	U. Mostaganem
Encadreur	Dr Borsali. S	Maitre de conférences b	U. Mostaganem
Co-encadreur	Dr Ait-Amer. L	Maitre de conférences b	U. Mostaganem
Examineur	Dr Terbeche. M	Maitre de conférences b	U. Mostaganem

*Thème réalisé au Laboratoire d'halieutique. (Université de Mostaganem)*



Nos remerciements vont tout d'abord au bon dieu pour la volonté et la patience qu'il nous a donné durant ces longues années d'étude afin qu'on puisse arriver à ce stade, du fond de notre cœur.

Nos remerciements vont aussi aux membres de notre jury :

Nous remercions le président du jury Dr. Bekkada

Nous remercions notre encadreur Dr. Borsali Sofia pour ses directives et ses orientations.

Nous remercions le co-encadreur Dr Ait-AMER pour son assistance pendant notre travail.

Nous remercions l'examineur Dr. Terbeche.

Nos remerciements vont également aux membres de nos familles et nos amis.

On dédie ce travail à :

**A nos chers parents**, que dieu les préserve et leur accorde la santé.

**A nos frères et sœurs.**

**A tous nos enseignants**, car on a eu le privilège de profiter de leurs vastes connaissances, ainsi que leur profond savoir.

## Résumé

Dans le cadre de la valorisation de la biomasse algale marine des côtes algériennes, nous nous sommes intéressés dans ce travail à l'étude de l'évaluation de l'activité anti-oxydante et de la composition biochimiques des extraits brut de fraction de quelques algues de la côte Ouest algérienne (Algues vertes : *Ulva lactuca*, *E. compressa*, Algues brunes: *Sargassum vulgare*, *Cystoseira stricta*, *C. compressa* et Algues rouges: *C. elongata*, *Coralline officinale*).

L'objectif de ce travail était de quantifier les teneurs en composés phénoliques et flavonoïdes des différents extraits brut obtenus d'algues récoltée de la cote de Mostaganem, mais suite a la contrainte majeur de la pandémie du Covid-19, nous nous sommes vue obligé de faire une synthèses de différents travaux déjà fait sur notre thématique au niveau du littoral Ouest Algérien (Mermoul K et al. 2018, Oucif. H, 2019, Benyekkou A et al. 2019, Berrabah. Y et al., 2018, Chibani. F et al, 2018), nous avons résumé les différentes méthodes utilisés pour l'évaluation de l'activité anti-radicalaire des extraits bruts aqueux, méthanolique et chlorformique des différents algues pris en considération, ainsi que l'étude de leurs composition biochimique.

L'évaluation de la capacité anti-radicalaire totale, a révélé la présence des propriétés anti-oxydantes à différents niveaux pour tous les extraits étudiés. Ce pouvoir antioxydant est dû à la présence de polyphénols et de flavonoïdes dans les différentes espèces prise en considération, ce qui incite l'étude in vivo de l'effet des extraits de ces algues sur le stress oxydatif.

La détermination de la composition biochimique (humidité, cendre, protéines et lipides) a révélé que ces espèces constituent une excellente source de minéraux, protéines, et d'antioxydants alternatifs.

**Mots clés :** Activité anti-oxydante, *C. compressa*, *C. elongata*, *Coralline officinale*, côte Ouest algérienne, *Cystoseira stricta*, *E. compressa*, *Sargassum vulgare*, *Ulva lactuca*,

### ***Abstract***

As part of the valuation of the marine algal biomass of the Algerian coasts, we are interested in this work in the study of the evaluation of the antioxidant activity and the biochemical composition of crude extracts of a fraction of some West Coast algae Algerian (Green algae: *Ulva lactuca*, *E. compressa*, Brown algae: *Sargassum vulgare*, *Cystoseira stricta*, *C. compressa* and Red algae: *C. elongata*, *Coralline officinale*). The objective of this work was to quantify the levels of phenolic compounds and flavonoids different raw extracts obtained from seaweed harvested from the coast of Mostaganem, but following major constraint of the Covid-19 pandemic, we were forced to make a syntheses of various works already done on our theme at the level of the West coast Algerian (Mermoul K et al. 2018, Oucif. H, 2019, Benyekkou A and al. 2019, Berrabah. Y and al., 2018, Chibani. F et al, 2018), we have summarized the different methods used to the evaluation of the anti-free radical activity of the crude aqueous, methanolic and chlorformic acid of the various algae taken into consideration, as well as the study of their biochemical composition.

The evaluation of the total anti-free radical capacity revealed the presence of antioxidant properties at different levels for all the extracts studied. This antioxidant power is due to the presence of polyphenols and flavonoids in the different species taken into account consideration, which prompts the in vivo study of the effect of extracts of these algae on stress oxidative. Determination of the biochemical composition (moisture, ash, proteins and lipids) found that these species are an excellent source of minerals, proteins, and alternative antioxidants.

**Key words:** Antioxidant activity, *C. compressa*, *C. elongata*, *Coralline officinale*, rib Western Algeria, *Cystoseira stricta*, *E. compressa*, *Sargassum vulgare*, *Ulva lactuca*.

## ملخص

كجزء من تقييم الكتلة الحيوية الطحلبية البحرية من السواحل الجزائرية اهتمنا بهذا العمل بدراسة تقييم النشاط المضاد للأكسدة والتركيبي البيوكيميائي للمستخلصات الخام لجزء من بعض الطحالب من الساحل الغربي الجزائري(الطحالب الخضراء: *E. compressa* ، *Ulva lactuca* ، الطحالب البنية: *Sargassum vulgare* ، *C. Compressa* ، *Cystoseira stricta* والطحالب الحمراء: *Coralline officinale* ، *C. elongata*) كان الهدف من هذا العمل هو تحديد مستويات مركبات الفينول والفلافونويد في المستخلصات الخام المختلفة تم الحصول عليها من الأعشاب البحرية التي تم جمعها من ساحل مستغانم، ولكن بعد القيد الرئيسي لوباء Covid-19 ، اضطررنا إلى عمل توليفة من الأعمال المختلفة التي تم القيام بها بالفعل حول موضوعنا على مستوى الساحل الغربي الجزائري (Mermoul K et al. 2018, Oucif. H, 2019, Benyekkou A et al. 2019, Berrabah. Y et al., 2018, Chibani. F et al, 2018)

قمنا بتلخيص الطرق المختلفة المستخدمة لتقييم النشاط المضاد للجذور الحرة للمستخلصات المائية والميثانولية والكحولية الخام لمختلف الطحالب التي تم النظر فيها ، وكذلك دراسة التركيب الكيميائي الحيوي لها

أظهر تقييم القدرة الكلية لمضادات الجذور الحرة وجود خصائص مضادة للأكسدة بمستويات مختلفة لجميع المستخلصات المدروسة. ترجع هذه القوة المضادة للأكسدة إلى وجود البوليفينول والفلافونويد في الأنواع المختلفة التي تم النظر فيها ، مما يحفز الدراسة في الجسم الحي لتأثير مستخلصات هذه الطحالب على الإجهاد التأكسدي. كشف تحديد التركيب الكيميائي الحيوي (الرطوبة ، والرمد ، والبروتين ، والدهون) أن هذه الأنواع هي مصدر ممتاز للمعادن والبروتينات ومضادات الأكسدة البديلة

**الكلمات المفتاحية:** نشاط مضادات الأكسدة ، *C. elongata* ، *Coralline officinale* ، الساحل الغربي الجزائري ، *Cystoseira stricta* ، *E. Compa* ، *Sargassum vulgare* ، *Ulva lactuca*

## Liste des Figures

<b>Figure 1</b> : Algues vertes (Chlorophycées)	03
<b>Figure 2</b> : Algues brunes (Phéophycées)	03
<b>Figure 3</b> : Algues rouges (Rhodophycées)	04
<b>Figure 4</b> : Algues bleues (Cyanobactéries)	04
<b>Figure 5</b> : Algues vertes <i>Ulva lactuca</i> (échantillon prélevé)	05
<b>Figure 6</b> : Carte représentative de la distribution mondiale de l'algue verte <i>U. lactuca</i>	06
<b>Figure 7</b> : <i>Cystoseira amentaceae var. stricta</i>	07
<b>Figure 8</b> : Carte des localisations historique et actuelle de <i>C. amentaceae var. stricta</i> en Corse	08
<b>Figure 9</b> : Carte des localisations de <i>Cystoseira amentaceae var. stricta</i> en région Paca.	09
<b>Figure 10</b> : <i>Corallina Officinalis</i>	10
<b>Figure 11</b> : Répartition géographique de <i>Coralline Officinallis</i> Atlantique	11
<b>Figure 12</b> : Situation géographique de mostaganem	27
<b>Figure 13</b> : Situation géographique du site de prélèvement (commune Khadra , plage sidi Ladjel)	31
<b>Figure 14</b> : Les étapes de préparations des différentes algues	35
<b>Figure 15</b> : dosage de polyphénols totaux	36
<b>Figure 16</b> : Structure Chimique de radical libre et non radical (Molyneux, 2004)	37
<b>Figure 17</b> : Mécanisme réactionnel du test DPPH (Molyneux, 2004)	38
<b>Figure 18</b> : Les étapes qui expriment le pouvoir réducteur du Fer de test <i>FRAP</i>	39
<b>Figure 19</b> : La structure de la BHA	40
<b>Figure 20</b> : La réaction chimique de l'ABTS (adapter par Pannala et <i>al.</i> , en 2011)	41
<b>Figure 21</b> : Réduction du complexe chromogène de Cu <sup>+2</sup> -	42
<b>Figure 22</b> : pesée et filtration du mélange	42
<b>Figure 23</b> : la séparation des deux phases	43
<b>Figure 24</b> : Le poids des ballons vide et plein	43
<b>Figure 25</b> : Appareil de KJELDAHL	45
<b>Figure 26</b> : Etape de minéralisation de la matière organique	45
<b>Figure 27</b> : Distillation de l'ammoniaque	46

<b>Figure 28 :</b> Titration de distillation	48
<b>Figure 29 :</b> poids des ballons d'extraction	52
<b>Figure 30 :</b> la microplaque de test d'activité anti radicalaire ABTS	52
<b>Figure 31:</b> Taux d'inhibition de l'ABTS par différents extraits d'algue verte <i>Ulva lactuca</i>	53
<b>Figure 32 :</b> IC50 de l'algue verte l' <i>Ulva lactuca</i>	54
<b>Figure 33 :</b> Taux d'inhibition de l'ABTS par différents extraits d'algue brune <i>Sargassum vulgare</i>	54
<b>Figure 34 :</b> IC50 algue brune <i>Sargassum vulgare</i>	55
<b>Figure 35 :</b> La microplaque de test CUPRAC	55
<b>Figure 36 :</b> Taux d'inhibition de l'activité réductrice des ions cuivre d'algue verte <i>Ulva lactuca</i>	56
<b>Figure 37 :</b> IC50 algue verte <i>Ulva lactuca</i>	56
<b>Figure 38 :</b> Taux d'inhibition de l'activité réductrice des ions de cuivre d'algue brune <i>Sargassum vulgare</i>	57
<b>Figure 39 :</b> IC50 d'algue brune <i>Sargassum vulgare</i>	58
<b>Figure 40:</b> Courbe étalon d'acide ascorbique	59
<b>Figure 41 :</b> Effet anti-radicalaire des extraits eau-méthanol d'algue ' <i>C. officinalis</i> ' sur la réduction du DPPH effet de l'acide ascorbique	60
<b>Figure 42:</b> Evolution du pourcentage d'inhibition des extraits d'algues (EM et EAQ) extrait au Soxhlet et des antioxydants standards (BHT, Vit C et Vit E)	63

## Liste des Tableaux

<b>Tableau 1</b> : Contenu en protéines de différentes algues marines utilisées en industries alimentaires	14
<b>Tableau 2</b> : La teneur en iode de quelques algues (CEVA, 2014)	16
<b>Tableau 03</b> : pigmentation des 3 types d'algues	17
<b>Tableau 4</b> : Les applications potentielles des composés détectés	25
<b>Tableau 5</b> : Préparation de la gamme d'étalonnage de l'acide gallique	31
<b>Tableau 6</b> : Le protocole de dilution pour les extraits et les standards	34
<b>Tableau 7</b> : résultats de dosage de phénols totaux	47
<b>Tableau 8</b> : résultats de dosage des flavonoïdes	49
<b>Tableau 9</b> : Les pourcentages d'inhibition de l'extrait méthanolique	47
<b>Tableau 10</b> : Concentration d'inhibition (IC50) des extraits d'algues, BHT, vit c et vit E	49
<b>Tableau 11</b> : Les pourcentages d'inhibition de l'extrait méthanolique (test FRAP)	63
<b>Tableau 12</b> : Synthèse de quelques teneurs trouvés chez les algues étudiés.	69

## Liste d'abréviations

**ABTS** : 2,2'-azinobis-(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique).

**CEVA** : Centre d'Études et de Valorisation des Algues

**CUPRAC** : Cupric Reducing Antioxidant Capacity. IC50 : Concentration d'inhibition 50.

**TP** : Phénols totaux

**µg** : Micro-gramme

**EA** : Équivalent d'acide gallique.

**EAA**: Équivalent d'acide ascorbique. **EQ** : Équivalent de quercétine.

**FRAP** : Ferric ion Reducing Antioxydant Power.

**Rdt** : Rendement

**T°** : Température.

**(%)** : Pourcentage.

**NADPH** : Nicotinamide adénine dinucléotide phosphate

## Table des matières

**Remerciements**

**Remerciements**

**Dédicace**

**Résumé**

**Liste des Figures.**

**Liste des Tableaux.**

**Liste des abréviations**

Introduction générale 1

### **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

#### **Partie 1 :**

#### Biologie des Algues

I -1- Introduction	3
I -2- Les algues	3
I -2-1- Les grands groupes des algues marines	4
I -3- Présentation des espèces étudiées	7
I -3-1- <i>Ulva lactuca</i>	7
I -3-1-1- Description Botanique	7
I -3-1-2- Distribution Géographique	7
I -3-1-3- Biotope	7
I -3-1-4- Alimentation	8
I -3-1-5- Reproduction	8
I -3-2- <i>Cystoseira amentaceae var. stricta</i>	8
I -3-2-1- Description Botanique	9
I -3-2-2- Distribution Géographique	9
I -3-2-3- Biotope	10
I -3-2-4- Alimentation	11
I -3-3- <i>Coralline officinale</i>	11
I -3-3-1- Description Botanique	12
I -3-3-2- Distribution Géographique	12
I -3-3-3- Biotope	12

I -3-3-4- Alimentation	13
I -3-3-5- Reproduction – Multiplication	13
I -4- Intérêt nutritionnel	13
I -5- Composition et statut biochimique des algues	13
I -5-1- Polysaccharides	14
I -5-1-1- Polysaccharides de réserve	14
I -5-1-2- Polysaccharides pariétaux	14
I -5-3- Protéines	15
I -5-4- Lipides	15
I -5-5- Minéraux	15
I -5-6- Calcium	16
I -5-7- Iode	16
I -5-8- Les pigments et les composés phénoliques	17
I -5-9- L'eau	17
I -5-10- Les cendres	19
I -5-11- Caroténoïdes	19
I -5-12- Tanins	19
I -5-13- Polyphénols	19
I -6- Intérêt des algues marines dans le monde	20
I -6-1- En alimentation humaine	20
I -6-2- En alimentation animales	21
I -6-3- Dans l'industrie alimentaire	21
I -6-3-1- Dans le domaine pharmaceutique et médical	22
I -6-3-2- Dans la biotechnologie	22
I -7- L'oxydation et l'anti-oxydation d'origine algale	22
I -7-1- L'oxydation	23
I -7-2- Les antioxydants	23
I -7-2-1- Antioxydants naturels d'origine marine	23
I -7-2-2- Antioxydants et systèmes de défense	24
I -8- Evaluation in vitro de l'activité anti-oxydante d'extraits d'algues	25
I -8-1- Préparation des extraits bruts	25
I -8-2- Applications potentielles des espèces ciblent	25

## **Partie 2 :**

### Zone d'étude

II-1- Présentation du cadre d'étude : la wilaya de Mostaganem	27
II -1-1- Le plateau de Mostaganem	27
II -1-2- Les reliefs appartenant aux Monts Dahra	28
II-2- Caractéristiques de la zone	28
II -2-1- Hydrodynamisme:	28
II -2-2- Température	28
II -2-3- Précipitation	29
II -2-4- La salinité	29
II -2-5- Les vents	29
II -3- Présentation du site échantillonnage	29

## **Chapitre II :**

### Matériel et méthodes

I - Sélection et identification des espèces ciblent	31
II- Traitement des échantillons	31
II -1- Extraction de l'extrait d'algue	32
II -1-1- Préparation des extraits Brut	32
II 1-1-1- Extraction par macération	32
II -1-1-2- Extraction par Soxhlet	33
II -1-2- Calcul des rendements des extraits secs	34
III - Dosage des composés phénoliques totaux	34
III -1- Principe	34
III -2- Méthode	34
III -3- Préparation de la gamme d'étalon de l'acide gallique	35
IV- Mesure du pouvoir antioxydant	35
IV -1- Évaluation de l'activité Anti-radicalaire du radical libre DPPH	36
IV -1-1- Mode Opératoire	36
IV-2- Évaluation de l'activité anti-radicalaire par la méthode FRAP	37
IV -2-1- Mode Opératoire	37
IV -3- Dosage de l'activité anti-radicalaire par le test ABTS	39
IV -3-1- Principe du test	39
IV -3-2- Préparation de la solution d'ABTS	40

IV -4- Test de la capacité anti-oxydante par réduction de cuivre (CUPRAC)	40
IV -4-1- Principe du test	40
IV -4-2- Procédure	41
V- Etude qualitative et nutritionnelle	41
V -1- Dosage des lipides totaux	41
V -1-1- Principe	41
V -1-2- Mode opératoire	42
VI- Détermination des protéines brutes (méthode de KJELDHAL)	43
VI -2-1- Principe de la méthode	44
V I-2-2- Mode opératoire	44
V -2-2-1- Minéralisation de la matière organique	44
V -2-2-2- Distillation de l'ammoniaque	45
V -2-2-3- Titrage	46
V -2-3- Calcul de la teneur en azote	46
V -3- La teneur en eau	46
V -3-1- Principe de la méthode	46
V -3-2- Mode opératoire	47
V -4- Détermination des cendres brutes	47
V -4-1- Principe de la méthode :	47
V -4-2- Mode opératoire	47

### **Chapitre III :**

#### Résultats et discussion

1-Rendement des extraits	48
2-Dosage des Composés Phénolique	49
2-1- Taux de Poly-phénols totaux dans l'extrait d'algue	49
2-2- Flavonoïdes totaux	50
3-Évaluation de l'activité anti-oxydante	51
3-1- Activité anti-radicalaire par le test ABTS	52
3-1-1- Algue verte <i>Ulva lactuca</i>	52
3-1-2- Algue brune <i>Sargassum vulgare</i>	53
3-2- Activité anti radicalaire évaluée par la réduction des ions de cuivre CUPRAC	54
3-2-1- Algue verte <i>Ulva lactuca</i>	55
3-2-2- Algue brune <i>Sargassum vulgare</i>	56

3-3- Test de réduction du radical libre le DPPH	57
3 -3-1- <i>C. officinalis</i>	58
3-3-1-1- Calcul des pourcentages d'inhibitions	58
3-3-1-2- Evaluation de l'IC50	59
3-3-2- <i>C. compressa, C. stricta, C. elongata, E.compressa, U. lactuca</i>	60
3-4- Test de la réduction du fer FRAP	62
4- La composition biochimique	63
4-3- Les protéines	63
4-4- Les lipides	64
4-5- Les pigments	64
4-6- L'eau	65
<b>Conclusion.</b>	<b>66</b>

## **Références bibliographiques.**

**en français.**

**Résumé en anglais.**

**Résumé en arabe .**



# INTRODUCTION

## Introduction générale

---

Le domaine marin constitue une piste privilégiée de recherche sur les antioxydants et un champ immense d'investigation pour les chercheurs (Farid *et al.*, 2012), pour cela un grand intérêt est porté aux produits naturels obtenus à partir d'organismes marins, et en particulier les algues.

Ces algues marines se présentent parmi les végétaux les plus productifs de la planète. Pour faire face à l'absence de racines, ces végétaux marins ont dû développer des stratégies de développement et de nutrition particulièrement performantes. Leur ingéniosité biochimique les a ainsi amenées à développer différentes stratégies d'adaptation et de lutte tout à fait exceptionnelles, pour résister et survivre aux différents stress abiotiques (hydrique, osmotique, thermique, ...) et biotiques (herbivores, champignons, ...), elles ont aussi une faculté extraordinaire à concentrer les principes actifs présents dans l'eau de mer (jusqu'à 50000 fois) (Mérigout, 2006).

Parmi ces biomolécules algales, on trouve : des caroténoïdes, des fibres, des vitamines et des minéraux; et plusieurs substances actives telles que les protéines, les acides gras essentiels, les polysaccharides et les polyphénols (Meenakshi *et al.*, 2011). Ces dernières offrent un éventail d'activités biologiques, notamment le pouvoir anti-inflammatoire, antimicrobien, anticancéreux, antiviral, anti-protazoaire, anti-coagulant, antifongique, antioxydant, etc (Hellio *et al.*, 2004 ; Cox *et al.*, 2010 ; Taboada *et al.*, 2012).

Les composés bioactifs d'algues peuvent agir comme des alternatives aux molécules médicamenteuses (Mohamed et Hashim, 2012), disposant d'un grand avantage par rapport aux médicaments classiques avec une biodisponibilité élevée et souvent une meilleure spécificité (Samarakoon K. 2012). Récemment, plusieurs composés d'algues, y compris les polyphénols, les polysaccharides et les protéines, ont été présentés comme des antioxydants puissants qui protègent les cellules contre les radicaux libres et retardent la progression de nombreuses maladies chroniques (Yildiz G. 2012).

Actuellement, un intérêt particulier est porté à la recherche d'antioxydants naturels, pour la lutte contre le stress oxydatif responsable du vieillissement, et de nombreuses maladies tels que le cancer, les accidents cardiovasculaires et les maladies inflammatoires et neuro-dégénératives (Favier, 2003), les algues pour cela forment une source potentielle d'antioxydants naturels, comme les acides phénoliques, les flavonoïdes et les tannins; qui possèdent la capacité d'éliminer les espèces réactives de l'oxygène (ERO) et minimisent ainsi, les dommages oxydatifs causés aux cellules vivantes (Cornish & Garbary, 2010).

## Introduction générale

---

L'extraction de principes actifs à haute valeur ajoutée à partir de matière végétale, notamment les antioxydants et les hormones de croissance, suscitent actuellement beaucoup d'intérêt. Néanmoins, les méthodes utilisées pour la préparation des extraits d'algues sont variées. Elles font souvent l'objet d'un dépôt de brevets et ne sont décrites dans les publications que de manière sommaire et incomplète. Le processus industriel qui prend en compte les spécificités physiques et biochimiques des algues, fait intervenir différentes technologies dans le domaine de l'extraction végétale et de la purification. Le matériel végétal peut être soumis à l'action de différentes températures, d'un milieu alcalin, ou de pressions variées. La nature des extraits commerciaux peut dans certains cas, être très différente de la composition originelle des algues qui ont servi à leur préparation. Plusieurs usines en ont fait leur activité principale. Il y a là encore, une voie de recherche très intéressante qui doit conduire à la mise en service de produits plus performants.

En Algérie, avec une face maritime s'étalant sur 1600 km constitue une source riche en algues marines restant inexploitée, le domaine offre une piste privilégiée de recherche sur les antioxydants et un champ immense d'investigation pour les chercheurs (Farid et *al.*, 2012). Un grand intérêt est porté aux produits naturels obtenus à partir d'organismes marins, et en particulier les algues. Fait intéressant : Les algues d'origine marine occupent une place importante en pharmacologie et en médecine (Mohamed et Hashim, 2012). Elles sont considérées comme une source d'application potentielle dans de nombreux secteurs industriels : cosmétologie, agriculture, élevage (Kornprobst, 2015).

C'est dans cet axe que s'oriente notre étude ; cependant la contrainte de la pandémie du Covid-19 nous a obligé à faire une synthèse des différents travaux sur l'évaluation de l'activité antioxydante des extraits d'algues vertes, brunes et rouges, ainsi que leur composition biochimique.

Ce mémoire s'articule en trois chapitres:

- Le premier chapitre, composé en deux parties, la première consacrée à une synthèse bibliographique sur les algues et leurs intérêts, la seconde présentera notre zone d'étude
- Le second chapitre présentera une synthèse des différentes méthodes utilisées pour l'évaluation de l'activité anti-oxydante et de la composition biochimique des algues étudiés.
- Le troisième chapitre traitera la synthèse de quelques résultats de différentes études déjà faites dans ce domaine avec leurs interprétations.

CHAPITRE I :  
SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

PARTIE 1 :  
BIOLOGIE DES ALGUES

### I -1- Introduction :

Les océans et les mers représentent près des trois-quarts de la surface du globe. La vie sur Terre est apparue dans le milieu marin il y a environ 3,8 milliards d'années alors que les premières espèces terrestres remontent, quant à elles, à 400 millions d'années. Cette différence se traduit aujourd'hui par une plus grande diversité des espèces dans le milieu marin. Cette biodiversité que l'on retrouve dans les mers et les océans se traduit naturellement par une chimio-diversité tout aussi importante ; Celle-ci est d'ailleurs très spécifique en raison des particularités physico-chimiques du milieu marin. Néanmoins, sur près de 220 000 substances naturelles répertoriées, seules 10 % sont d'origine marine.

L'Algérie est un pays avec une face maritime s'étalant sur 1600 km et qui constitue une source riche en algues marines, qui reste cependant inexploitée, alors que les algues constituent un enjeu de développement économique. La Méditerranée renferme plus de huit cents espèces et la flore algale du littoral algérien reste largement inexplorée. Cependant, en regroupant tous les taxons et stades d'algues signalés sur les côtes algériennes (d'Ouest en Est), plus de 468 taxons ont été inventoriés (Perret-Boudouresque et Seridi, 1989). D'autres travaux ont enrichis la diversité spécifique de cette flore de 26 espèces (Seridi, 1990 ; Kadari-Meziane, 1994 ; Ould-Ahmed; 1994), auxquelles s'ajoutent des mentions nouvelles sur la présence d'un taxon invasif en l'occurrence *Caulerpa racemosa* devant le port d'Alger et de Mostaganem (Ould-Ahmed et Meinesz, 2007 ; Bachir-Bouiadjra et *al.*, 2010 ; Bachir-Bouiadjra, 2012). Selon Seridi (2007), la flore algale de l'Algérie reste peu étudiée et en adoptant la méthode phyto-sociologique, cet auteur signale que le nombre d'algues a légèrement augmenté (497 espèces) (Zitouni, 2015).

Compte tenu, des quelques contributions d'ordre chimique sur la flore algale algérienne, qui ont porté essentiellement sur la caractérisation chimique partielle de quelques espèces (Benchabane, 1988 ; 1989; Zitouni et *al.*, 2014 ; Nil et *al.*, 2016 ; Mellouk et *al.*, 2017) et leurs activités biologiques : anti-oxydante, antimicrobienne, antifongique, anti-parasitique et cytotoxique (Saidani et *al.*, 2012 ; Metidji et *al.*, 2015 ; Aissaoui et *al.*, 2017); l'exploration plus approfondis des potentialités de cette flore marine s'avère nécessaire, dans la perspective d'une valorisation.

### I -2- Les algues

Ce sont des végétaux marins, d'eau douce ou des lieux humides. Le milieu aqueux dans lequel ils vivent ne leur impose pas les mêmes contraintes que le milieu terrestre : ils baignent dans une eau qui leur apporte directement les sels minéraux et le gaz carbonique nécessaires à leur

croissance et la lumière leur fournit l'énergie pour la synthèse chlorophyllienne. Ils n'ont donc besoin ni de racines pour puiser dans le sol les éléments indispensables, ni de vaisseaux pour les faire remonter jusqu'aux extrémités, ni de fleurs pour attirer des pollinisateurs : les courants suffisent pour disperser leurs gamètes.

Les algues marines sont les plus développées. A quelques exceptions près, les algues d'eau douce sont beaucoup plus discrètes. Chaque espèce exige des conditions de vie particulières. Il lui faut donc un support pour se fixer dans le lieu qui lui convient. C'est tantôt un rocher ou un caillou, tantôt une coquille ou une autre algue.

Le niveau joue un rôle de sélection très important : des plus hautes aux plus basses mers, on observe un étagement très net; certaines espèces ne sont atteintes qu'aux grandes marées, d'autres ne supportent pas d'être découvertes et se réfugient dans les cuvettes rocheuses, les flaques, les écoulements permanents ou en profondeur. Entre ces extrêmes, la plupart des espèces supportent ou même parfois exigent une émergence périodique au rythme des marées. Les zones très agitées conviennent aux espèces robustes solidement fixées; les plus fragiles préfèrent les zones calmes, mais les courants, même modérés sont favorables, car ils renouvellent le milieu nourricier.

### **I -2-1- Les grands groupes des algues marines**

En général, les algues regroupent quatre groupes qui sont différenciées par rapport à la couleur, Chaque groupe contient des classes, et chaque classe contient des centaines d'espèces (Garon-Lardiere, 2004).

- Les algues vertes (Figure 1) ou Chlorophycées : Elles sont de formes très variées, uni- ou pluricellulaires. Leurs plastes sont colorés en vert par les chlorophylles a et b, auxquelles sont associés des carotènes et des xanthophylles. La photosynthèse permet la formation d'amidon, comme pour les plantes supérieures, la plupart des algues vertes vivent en eau douce ou en milieux marins, mais certaines espèces peuvent également se développer sur terre. Elles jouent un rôle important dans l'oxygénation des eaux, favorisant ainsi la vie animale (Garon-Lardiere, 2004).



**Figure 1 :** Algues vertes (Chlorophycées).

- Les algues brunes (Figure 2) ou Phéophycées : La couleur brune de ces algues résulte de la dominance du pigment xanthophylle, la fucoxanthine, qui masque les autres pigments (chlorophylle a et c, ainsi que le bêta-carotène). Toutes possèdent une structure pluricellulaire, mais leurs dimensions varient depuis les éléments microscopiques jusqu'aux très grands spécimens. La grande majorité des algues brunes sont marines (Garon-Lardiere, 2004).



**Figure 2 :** Algues brunes (Phéophycées).

- Les algues rouges (Figure 3) ou Rhodophycées : Les rhodophytes ou algues rouges forment un groupe très diversifié. Ces algues doivent leur couleur à la présence de plastides roses dans lesquels un pigment rouge, la phycoérythrine, est associé à plusieurs autres pigments dont les chlorophylles. La plupart de ces algues rouges sont pluricellulaires et marines, mais il existe quelques formes unicellulaires et quelques unes vivent également en eau douce. Les algues rouges sont divisées en deux groupes:

celui des Bangiophycées (qualifiées de primitives) et celui des Floridéophycées (plus complexes). Elles se distinguent généralement par leur cycle de reproduction particulièrement complexe (Garon-Lardiere, 2004).



**Figure 3 :** Algues rouges (Rhodophycées).

- Les Cyanobactéries ou les algues bleues (Figure4), sont constituées des colonies de taille, de forme et de couleur très variables. Comme les algues rouges, elles possèdent des pigments surnuméraires bleus (Phycocyanines) et rouges (Phycoérythrines) qui masquent la chlorophylle a. En dépit de leur nom ancien d'algues bleues, elles sont rarement bleues mais plus souvent rouges, vertes avec des reflets bleutés, violets, bruns, jaunes ou orangés. La plupart d'entre elles ont une consistance gélatineuse voire gluante en raison des mucilages qu'elles sécrètent (GaronLardiere, 2004).



**Figure 4 :** Algues bleues (Cyanobactéries).

**I -3- Présentation des espèces étudiées :****I -3-1- *Ulva lactuca* :**

**Position systématique :** Selon la classification Linéenne (Carl Von Liné, 1758)

Règne	Plantae
Embranchement	Chlorophyta
Classe	Ulvophyceae
Ordre	Ulvales
Famille	Ulvaceae
Genre /Espèce	<i>Ulva Lactuca</i> (Carl von linéé, 1753)

**I -3-1-1- Description Botanique**

Algue foliacée d'un vert brillant ou jaune clair (Figure 5), fixée par un disque  
Lames très minces, translucides a marge lisse et d'une taille de l'ordre de 30 à 50 cm de diamètre ; c'est une espèce vivant en eaux peu profondes bien éclairées.

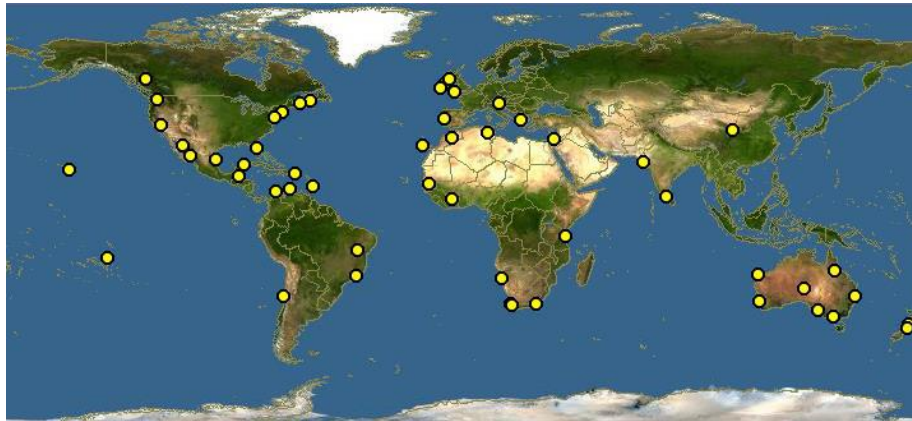


**Figure 5 :** *Ulva lactuca* (échantillon prélevé)

**I -3-1-2- Distribution Géographique**

Elle vit dans l'océan Atlantique et les mers attenantes (mer Baltique, mer du Nord, Manche, mer Méditerranée), en mer Noire et dans l'océan Pacifique (Figure 6).

Sa distribution est commune et elle est largement présente dans le monde. Au niveau de la mer Méditerranée *U. lactuca* est la plus répandue des espèces du genre *Ulva* (mediterraneo 2015).



**Figure 6 :** Carte représentative de la distribution mondiale de l'algue verte *Ulva lactuca*. (facility 2013)

### **I -3-1-3- Biotope**

La laitue de mer est une espèce cosmopolite qui pousse généralement au niveau de l'étage supra-littoral, mais elle peut se développer jusqu'à 10 mètres de profondeur. Elle peut se fixer sur n'importe quel substrat solide : rocher, digue, jetée, coquille voire sur la carapace d'un crabe.

### **I -3-1-4- Alimentation**

L'activité photosynthétique fournit l'énergie. L'assimilation des nutriments se fait par les frondes, qui étant constituées de 2 feuillets de cellules permettent une très bonne assimilation. La quasi-totalité des algues, y compris les ulves, assimilent l'azote nécessaire sous la forme d'ions  $\text{NH}_4^+$  (ammonium), mais les ulves présentent la remarquable particularité de pouvoir assimiler les ions  $\text{NO}_3^-$  (nitrates), ce qui explique l'implication de nombreuses espèces dans les phénomènes de marées vertes.

### **I -3-1-5- Reproduction**

Leur durée de vie est de quelques mois, mais on en trouve toute l'année, car ces individus se renouvellent, surtout au printemps et en été.

La laitue de mer présente un cycle digénétique haplodiplophasique isomorphe. Les sporophytes et gamétophytes sont morphologiquement proches. L'adulte diploïde produit des zoospores haploïdes par méiose. Ceux-ci deviennent des algues haploïdes mâles ou femelles similaires à l'algue d'origine. Une fois relâchées, les gamètes flagellées sont mobiles : il y a planogamie. Ces gamètes s'unissent pour former un zygote dont la germination aboutit à une algue diploïde. Lors de la fécondation, les flagelles des deux gamètes sont conservés.

*Ulva lactuca* fait traditionnellement partie des algues vertes utilisées comme engrais naturels sur les cultures agricoles bretonnes à cause de sa forte teneur en azote et en phosphore. Les

ulves sont de manière générale comestible et traditionnellement utilisées dans l'alimentation en Extrême Orient et en Irlande, et plus récemment en France dans différentes préparations agro-alimentaires, souvent sous la forme de paillettes. La laitue de mer fraîchement cueillie peut être consommée crue ou cuite.

### I -3-2- *Cystoseira amentacea var.stricta* :

#### Position systématique :

Règne	Chromista
Embranchement	Ochrophyta
Classe	Phaeophyceae
Ordre	Fucales
Famille	Sargassaceae
Genre /Espèce	<i>Cystoseira amentaceae var.stricta</i> (C.Agardh) Bory, 1832

#### I -3-2-1- Description Botanique

Les cystoseires, est un genre d'algues brunes (Figure 7), Thalles érigés de couleur brune pouvant atteindre 40 cm de hauteur, a base encroûtante étendue, d'où partent plusieurs axes dressés, des rameaux primaires cylindriques souvent sinueux et des rameaux secondaires courts et disposés irrégulièrement ; ces rameaux couverts de ramules spiniformes iridescence bleu-vert de la surface à 30 cm de profondeur ou Sur roche éclairée en mode battu

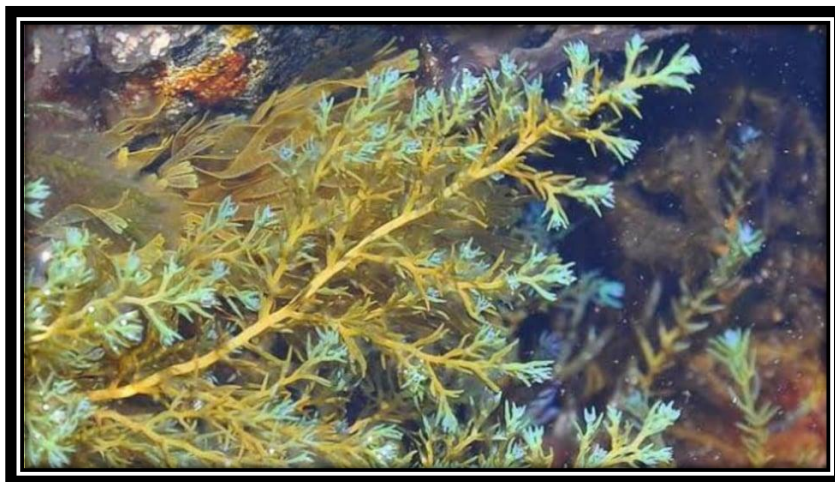


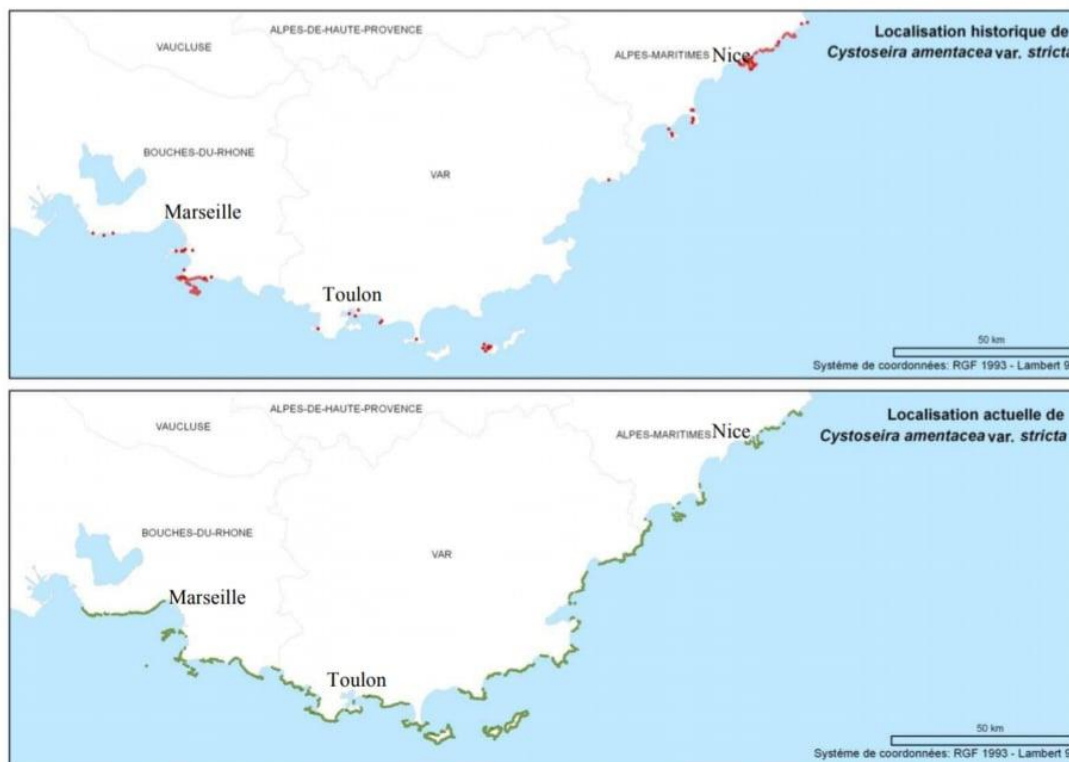
Figure 7 : *Cystoseira stricta*

## I-3-2-2- Distribution Géographique

La *cystoseira stricta* se rencontre en Méditerranée (Figure 8, 9): dans le bassin nord-occidental (en Provence - Côte d'Azur), aux Baléares, en Corse, en Sicile, dans l'Adriatique, en Grèce et en Afrique du Nord.



**Figure 8** : carte des localisations historiques à gauche et actuelle à droite de *C. amentaceae var. stricta* en Corse.



**Figure 9** : Carte des localisations historiques (en haut) et actuelles (en bas) de *Cystoseira amentaceae var stricta* en région Paca.

**I -3-2-3- Biotope**

Cette algue se rencontre sur les substrats rocheux superficiels bien éclairés et exposés aux vagues (mode battu). Elle marque la limite supérieure de l'infralittoral (le zéro biologique) et peut se développer jusqu'à 30 cm de profondeur environ. Localement elle peut former une ceinture mono-spécifique continue.

**I -3-2-4- Alimentation**

Ces algues fabriquent les sucres de leur biomasse par photosynthèse. Ce processus de transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique grâce à des pigments de type chlorophylle\*, n'est possible que dans une situation d'éclairement. Cependant la quantité de lumière nécessaire est très variable selon l'espèce.

Les cystoseires sont considérées comme des « espèces ingénieurs » de leur habitat, ce qui leur confère une importance écologique considérable. La plupart des cystoseires supportent mal les variations de leur environnement ce qui les rend très vulnérables aux perturbations.

La *cystoseire stricte* est particulièrement menacée par la destruction de son habitat (aménagements littoraux), la pollution et les proliférations de moules.

**I -3-3- *Coralline officinale* :****Position systématique**

Règne	Plantae
Embranchement	Rhodophytae
Classe	Florideophyceae
Ordre	Corallinales
Famille	Corallinaceae
Genre /Espèce	<i>Corallina officinalis</i> (Linnaeus, 1758)

**I -3-3-1- Description Botanique**

La *Corallina officinalis*, est une espèce d'algue rouge de la famille des Corallinaceae (Figure 10), c'est une algue calcifiée. Le thalle est dressé à ramification régulièrement pennée. Il est composé d'articles (segments) calcifiés et d'articulations non calcifiées flexibles (Cuvier et al, 1817). Les segments sont en forme de losange, plus longs que larges. La partie supérieure du segment est élargie. Le thalle se fixe par une croûte basale (Poirier et Nadeau, 1998).

La croissance du thalle est apicale. Les extrémités en croissance apparaissent plus claires. Les thalles sont de couleur variable : rose clair à rouge lilas, mais aussi gris violacé.

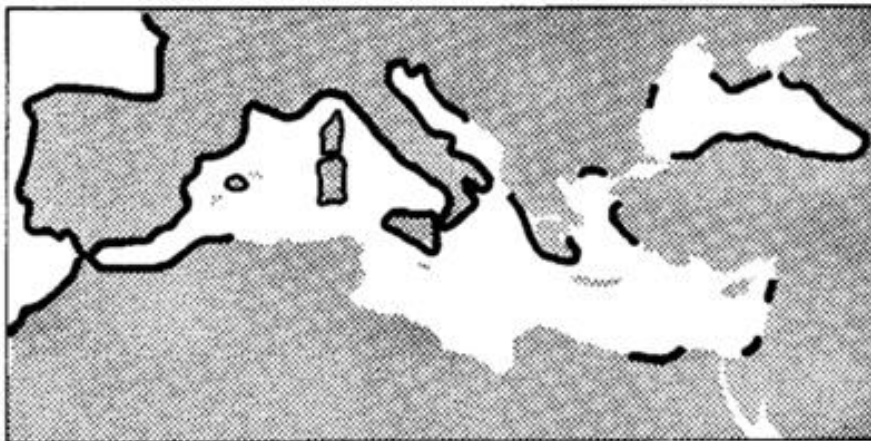


**Figure 10 :** *Corollina officinalis*

### I -3-3-2- Distribution Géographique

La distribution réelle de ces espèces a été révisée à la lumière des analyses génétiques, mais doit encore être précisée par de nouvelles analyses. *C. officinalis* est plutôt une espèce des eaux froides à tempérées, présente en Atlantique Nord-Est (a priori jusqu'au nord de l'Espagne) et le Pacifique Nord (Figure 11).

*C. caespitosa* est une espèce des eaux plutôt chaudes, présente dans de nombreuses mers du monde. Sa limite nord-atlantique pourrait être au nord de l'Angleterre. Elle semble être la seule coralline présente en Méditerranée et en mer Noire.



**Figure 11:** Répartition géographique de *Coralline Officinale* en Atlantique

### I -3-3-3- Biotope

On rencontre les corallines sur les zones rocheuses à faible profondeur (de la surface jusqu'à 5 m environ) où elles peuvent former des ceintures denses ; elles sont photophiles.

Elles vivent sur les rochers de mode battu, dans les cuvettes exposées dans la partie inférieure du médiolittoral et dans l'infralittoral en Atlantique où *C. officinalis* est présente dans la zone intertidale et l'infralittoral

### I -3-3-4- Alimentation

Les différents pigments des corallines dont le pigment rouge (phycoérythrine), la chlorophylle (vert) et les caroténoïdes (jaune/brun) permettent à ces algues d'effectuer la photosynthèse et de constituer leur biomasse à partir de lumière et de sels minéraux.

### I -3-3-5- Reproduction - Multiplication

La reproduction a lieu en hiver. Les corallines ont un cycle trigénétique isomorphe (caractérisé par trois générations sans changement de morphologie).

Les organes reproducteurs se développent dans des cryptes spécialisées appelées conceptacles. Chez les corallines, les conceptacles sont de forme pyriforme ou arrondie, et ont une ouverture apicale ou ostiole (conceptacles unipores). Ils sont toujours situés à l'extrémité des thalles en position latérale. Au niveau des conceptacles femelles, on décrit la présence de ramules formant des cornicules. Ceux-ci sont fragiles et sont souvent absents sur le thalle rendant l'identification délicate. (Ficher et *al.*, 1987; Ozenda, 1990)

Les corallines présentent une activité anti-inflammatoire. *Corallina* est une des algues récoltées traditionnellement sous le nom de « mousse de Corse » pour ses propriétés vermifuges (Milan, 2004 ; Van Antwerpen, 2006).

L'activité vermifuge a été décrite chez *Corallina officinalis* (fraction active acide kanaïque). Cette même espèce est utilisée comme biomatériau pour la chirurgie osseuse (hydroxylapatite). Elle est également utilisée pour ses propriétés anticoagulantes, hypocholestérolémiantes et hypoglycémiantes (Hillson, 1977).

### I -4- Intérêt nutritionnel :

Les algues ont un excellent intérêt nutritionnel depuis l'antiquité en raison des glucides à faible teneur en calories, acides gras polyinsaturés, riches en vitamines, minéraux et fibres alimentaires ainsi que la présence de composés bioactifs importants de valeurs pharmaceutiques tels que les phlorotannins et les polysaccharides qui ne se trouvent pas dans les plantes terrestres, ce qui peut jouer un rôle dans la modulation des maladies chroniques.

(Chu et *al.*, 2016 ; Sankar et al., 2016). L'étude des littératures a révélé que les algues vertes contiennent également des teneurs en protéines plus élevées (10 à 30% De poids sec). Dans le monde entier, environ 150 espèces d'algues sont consommées comme aliments humains. (Kumari et *al.*, 2010).

La valeur nutritionnelle des algues peut s'expliquer par la présence de nombreux composants : fibres, minéraux et protéines ...etc. (Marfaing, 2017).

### **I-5- Composition et statut bio-chimique des algues :**

Les algues sont significativement différentes des plantes terrestres selon leur composition chimique, physiologique ainsi que leurs caractéristiques morphologiques (Jung et *al.*, 2013). La composition chimique et la valeur nutritionnelle des algues marines n'est pas aussi bien connue que celle des plantes terrestres mais elles sont réputées pour être riches en glucides, en protéines, en minéraux, oligominéraux ( potassium, zinc, manganèse, fer, brome et iode), lipides, vitamines (A ,B1 ,B9,B12,C,D et E), acide gras polyinsaturés, ainsi que des composés bioactifs tels que les composés phénoliques (Dhargalkar et pereira, 2005 ; Julie, 2010).

#### **I-5-1- Polysaccharides :**

La majorité des polysaccharides d'origine algale correspond à des hétéro-polysaccharides. Ils sont constitués d'unités répétitives comportant au moins deux résidus différents par unité, les unités pouvant être ramifiées. Ces hétéro-polysaccharides peuvent contenir divers substituant liés par des liaisons éther, ester, amide, sulfate ou acétylique. Ces groupements sont en grande partie responsables des propriétés physico-chimiques des polymères qui les portent. De manière générale, les taux en sulfate des polysaccharides d'origine algale sont plus importants que ceux rencontrés chez les bactéries (Percival et McDowell 1967 ; Chevolotet et *al.*, 2001). Les phosphates sont également considérés comme des substituant récurrents des hétéro-polysaccharides d'origine algale.

On distingue différentes catégories de polysaccharides au sein des algues : les polysaccharides de réserve et les polysaccharides pariétaux, eux-mêmes différenciés selon leur localisation dans la phase fibrillaire ou matricielle.

##### **I-5-1-1- Polysaccharides de réserve**

Il s'agit des polysaccharides qui résultent directement du mécanisme photosynthétique et ils sont stockés notamment dans les vacuoles des algues. Le type de stockage varie selon les espèces d'algues concernées (Tableau 01). Chez les algues brunes, il s'agit d'un polymère de  $\beta$ -(1,3)-glucopyranose (laminarine), d'un polymère de  $\alpha$ -(1,4)-glucose (amidonfloridéen1) chez les algues rouges est de glucane (polymère de  $\beta$ -(1,4)-glucose) et chez les algues verte.

Les mêmes types de stockage ont été observés chez les diatomées, micro-algues unicellulaires appartenant au phytoplancton (formes pélagiques) ou au micro-phytobenthos (formes benthiques) (Underwood et Paterson, 2003).

#### **I -5-1-2- Polysaccharides pariétaux :**

La paroi des algues diffère significativement de celles des autres organismes végétaux par son organisation et sa composition. De nombreux auteurs considèrent cette dernière comme étant une structure bi-phasique composée d'une phase fibrillaire cristalline squelettique et d'une phase matricielle unique à l'algue.

#### **I -5-2- Fibres**

Les algues contiennent des quantités intéressantes de fibres, particulièrement sous forme soluble. Selon la variété, une portion d'algues fraîches peut contenir jusqu'à 8 % de la quantité de fibres recommandée quotidiennement, et les algues séchées, quant à elles, contiendraient de 35 % à 50 % de leur poids sous forme de fibres (Jiménez-Escrig et *al.*, 2000). Dans les trois types d'algues on trouve différentes types des fibres pour les algues brunes on trouve des alginates et des fucanes et des laminariales. Les algues rouges pourront contenir des galactanes plus ou moins sulfatés (agar et carraghénanes), des porphyranes ou des xylanes ainsi que des glucides de réserve. Enfin, les algues vertes alimentaires sont constituées d'ulvanes et peuvent également contenir de l'amidon comme glucide de réserve (Lahaye, 1991). (HoldtSL, 2011).

#### **I -5-3- Protéines**

La valorisation des algues est étroitement liée à la composition minérale de ces dernières (fer, calcium, magnésium) ainsi qu'aux propriétés fonctionnelles des polysaccharides qu'elles contiennent. Peu de travaux mettent en avant la valeur nutritionnelle des protéines d'origine algale (Fleurence 1999 ; Marfaing et Lerat 2007), le tableau 1 présente le taux de protéines chez les algues varie considérablement selon les espèces et des facteurs abiotiques comme la saison (Fleurence & Guéant, 1999 ; Galland-Irmouliet *al.*, 1999).

Parmi les protéines algales, il faut citer la présence chez les algues rouges et bleues de molécules particulières : les phycobiliprotéines, qui sont les principaux pigments de ces algues et font partie du système de collecte de l'énergie lumineuse (Fan-jie, *al.*, 1984). Les phycobiliprotéines (phycocyanine des spirulines et phycoérythrine des algues rouges) possèdent par ailleurs des propriétés antioxydantes qui pourraient être mises à profit dans la prévention ou le traitement de maladies dégénératives : certaines formes de cancer, maladies cardiovasculaires ou ophtalmiques liées au stress oxydatif (Gonzalez, *al.*, 1999) ; (Padula, *al.*, 1999) ; (Remirez, *al.*, 1999). La fraction protéique des algues brunes est faible (3-15 % du

poids sec), comparativement aux fractions protéiques des algues vertes ou rouges (10-47 % du poids sec) (Arasaki et Arasaki 1983 ; Rupérez et Saura-Calixto, 2001).

**Tableau 1 :** Contenu en protéines de différentes algues marines utilisées en industries alimentaires, d'après Fleurence (1999)

Espèces d'algues marines	<i>Palmaria palmata</i>	<i>Porphyra tenera</i>	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Ulva petusa</i>	<i>Laminaria adigitata</i>	<i>Fucus s</i>	<i>Ascophyllum nodosum</i>
Protéines (% en poids sec)	8-35	33-47	10-21	20-26	8-15	3-11	3-15

Globalement, la fraction protéique des algues est utilisée à but nutritif, l'algue étant consommée dans son ensemble, afin de profiter de ces fibres et oligo-éléments.

#### I -5-4- Lipides

La teneur lipidique des algues est très faible : de 1 à 5 % de la matière sèche. Les lipides algaux présentent une proportion en acides gras essentiels importante (Darcy-Vrillon B, 1993). Les algues rouges contiennent des taux élevés d'acides gras polyinsaturés à 20 carbones. L'acide eicosapentaénoïque (EPA) en particulier constitue 50% des acides gras polyinsaturés chez *Porphyra sp* et *Palmaria palmata* (Marfaig, 2004). L'étude de la fraction lipidique de l'algue brune *Cystoseira sedoïdes* des côtes algériennes, a montré une multitude d'acides gras de C12 à C20, parmi lesquels se distinguent les acides gras saturés et insaturés (Benchabane, 1989). Les algues vertes dont la composition en acides gras est la plus proche de celle des végétaux supérieurs ont par rapport à ceux-ci, une teneur beaucoup plus élevée en acide oléique (C18:1) et en acide alpha-linolénique ( $\alpha$ 3-C18:3). (Marfaig, 2004).

#### I -5-5- Minéraux

Les algues puisent dans la mer une richesse incomparable d'éléments minéraux. La fraction minérale peut représenter jusqu'à 36 % de la masse sèche. La diversité de ces éléments représentés est énorme : calcium, sodium, potassium, phosphore, iode, fer, zinc, magnésium, etc.

#### I -5-6- Calcium

Les algues constituent une des sources végétales de calcium les plus importantes avec des teneurs pouvant atteindre 6 % de la masse sèche chez les macro-algues (*Ulva sp.*). Encore plus intéressant, l'algue calcaire lithothamniée contient de 25 à 34 % de calcium. Le calcium des maërls se solubilise très bien dans les conditions gastriques (pH = 1,5) et produit quantitativement du calcium ionisé bio-disponible (Assoumani MB, 1997).

**I -5-7- Iode**

L'iode contenu dans les algues est disponible pour l'organisme d'où leur intérêt nutritionnel notamment pour le bon fonctionnement de la glande thyroïdienne. (Jeclerc et *al.*, 2010). Les algues sont les aliments qui contiennent le plus d'iode (Tableau 2), quelques grammes d'algues séchées par jour suffisent à combler notre besoin d'iode. Dans les algues brunes, notamment les laminaires et les fucales, sont celles qui accumulent le plus d'iode, l'iode minéral qui domine avec plus de 80% de l'iode total, alors que chez les algues vertes les proportions sont inversées. Tandis que pour les algues rouges les teneurs sont intermédiaires (environ 40% d'iode minéral et 60% d'iode organique)

**Tableau 2 :** La teneur en iode de quelques algues (CEVA, 2014).

		Teneur en mg/kg sec
Algues brunes Fucus	<i>Laminaria digitata</i>	2020-7454
	<i>Laminaria saccharina</i>	2789-5277
	<i>Fucus vesiculosus</i>	240-728
	<i>Undaria pinnatifida</i>	118-374
	<i>Hilmanthalia elongata</i>	90-168
Algues rouges	<i>Palmaria palmata</i>	40-541
	<i>Porphyra umbilicalis</i>	67-188
Algues vertes	<i>Ulva sp</i>	10-131

**I -5-8- Les pigments et les composés phénoliques:**

Les pigments photosynthétiques sont des composés bioactifs qui sont capables de capter l'énergie solaire. La couleur des algues est due à la présence ou absence de pigments chlorophylliens représentés par quatre types de chlorophylles qui diffèrent par de légères modifications structurales (Sirbu R. 2006 ; Hamed I. 2014).

Ils ont dès le début du 19<sup>ième</sup> siècle constitué un critère important dans la classification des algues (Tableau 3). Le rôle physiologique de ces molécules est de capter l'énergie lumineuse. Selon la nature des pigments surnuméraires associés à la chlorophylle, les plastes sont parfois verts (Chlorophytes), parfois jaunes ou bruns (Chromophytes), ou encore rouges (Rhodophytes) (Ruiz, 2005).

On distingue, surtout la chlorophylle a dont la présence est nécessaire à la photosynthèse chez toutes les algues photosynthétiques et la chlorophylle b, dans un rapport des formes a et b de

4:3, selon les études de Satpati G. 2011 et Sirbu R. 2006, le contenu en chlorophylle chez *Ulva lactuca* est de 0,77 mg/g.

Outre la chlorophylle on trouve aussi des pigments caroténoïdes. Ceux-ci se caractérisent par une structure chimique complexe, et confèrent une couleur jaune-rougeâtre aux algues (Sirbu R. 2006).

Les composés phénoliques sont généralement trouvés dans les écosystèmes terrestres, les plantes marines, les micro et macro-algues (Trigui M. 2013) ; Ils sont susceptibles de présenter différentes activités biologiques y compris des propriétés anti-oxydantes et antimicrobiennes. Selon Bravo L. (1998) il existe au moins 8000 polyphénols bioactifs différents.

L'étude de Trigui M. (2013) avance que le contenu phénolique total chez *U. lactuca* est de l'ordre de 9mg PHG g<sup>-1</sup> (mg d'équivalent d'acide phloroglucinol par g d'extrait d'algue sèche).

**Tableau 3** : pigmentation des 3 types d'algues

Embranchement (Règne)	Nom commun	Pigments	Références
Chlorophycophytes	Algues vertes	Chlorophylle (a,b) Xanthophylles $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$ - Carotènes	(Bourrelly, 1966)
Phéophycophytes	Algues brunes	Chlorophylle (a,c) Xanthophylles $\beta$ -Carotènes fucoxanthine	(Gayral, 1975)
Rhodophycophytes	Algues rouges	Chlorophylle (a rarement d) Xanthophylles $\alpha$ - $\beta$ -Carotènes, Zéaxanthine,  Phycocyanine C, Phycoérythrine	(Ozenda, 2000)

**I -5-9- L'eau :**

Les algues sont généralement constituées à 90% d'eau, localisée dans la vacuole de la cellule, ainsi que dans le cytoplasme et la paroi cellulaire (Faller H. 2011) ; Il a été rapporté qu'*Ulva lactuca* contient entre 76% et 83,56% d'eau selon Ilknur Z. (2015) et Satpati G. (2011), cette valeur est variable en fonction des nutriments présents dans le milieu. Une diminution de la teneur en eau a été enregistrée en présence d'une source de carbone, alors que l'ajout de nitrate dans le milieu l'augmente considérablement (Ilknur Z. 2015)

**I -5-10- Les cendres :**

Les teneurs en cendres dans les algues sont plus élevées que dans les plantes terrestres. La teneur en cendre chez *Ulva lactuca* change d'une étude à une autre et varie entre 11 et 35% Ces valeurs montrent des différences significatives selon l'habitat et le milieu chez le genre *Ulva*, cette teneur est espèce dépendante (Ilknur Z. 2015; İrkin C. L. 2014)

La composition biochimique d'*Ulva lactuca* varie donc en fonction de la distribution géographique et des saisons et des principaux facteurs environnementaux comme la température de l'eau, la salinité, la lumière, les nutriments et les minéraux disponibles (Messyas B. 2010)

**I -5-11- Caroténoïdes**

Les caroténoïdes sont de puissants antioxydants. Les algues brunes sont particulièrement riches en caroténoïdes et notamment en fucoxanthine,  $\beta$ -carotène et violaxanthine. Les principaux caroténoïdes des algues rouges sont le  $\beta$ -carotène, l' $\alpha$ -carotène et leurs dérivés dihydroxylés: zeaxanthine et lutéine. La composition en caroténoïdes des algues vertes reste voisine de celle des plantes supérieures. Un grand nombre d'études a démontré les propriétés antioxydants des caroténoïdes algaux et le rôle qu'ils jouent dans la prévention de plusieurs pathologies liées au stress oxydatif (Okuzumi Jet *al.*, 1993 Yan X et *al.*, 1999).

**I -5-12- Tanins**

Les tannins sont des polyphénols naturels qui, à l'origine, sont connus pour leur capacité à précipiter les alcaloïdes et les protéines. Les tannins sont des composés phénoliques hydrosolubles ayant un poids moléculaire compris entre (500 et 3000 Da) et qui ont à côté des réactions classiques des phénols, la propriété de précipiter les alcaloïdes, la gélatine, et d'autres protéines».

Même si cette définition reste valable, elle a été complétée grâce aux méthodes récentes d'analyse qui ont permis d'éclaircir la structure de ces polyphénols. Ainsi, les tannins sont

désormais définis comme des polyphénols de masse moléculaire allant jusqu'à 20000Da (Haslam, 1989; Hagerman, 2002).

### **I -5-13- Polyphénols**

La plupart des algues marines contiennent des polyphénols algaux aussi appelées phlorotannins. Les phlorotannins constituent un groupe très hétérogène de molécules (structure et dégrade polymérisation) fournissant ainsi une grande variété d'activités biologiques potentielles. Les teneurs les plus élevées sont retrouvées dans les algues brunes qui en contiennent entre 5 et 15 % du poids se]. l'activité antioxydante d'extraits de polyphénols d'algues brunes et rouges a été mise en évidence par des études in vitro (Nakamura T, et *al.*, 1996).

### **I -6- Intérêt des algues marines dans le monde**

La quantité d'algues produites annuellement par culture ou récoltées dans le monde est de l'ordre de 9 millions de tonnes d'algues fraîches. Les producteurs principaux sont la Chine, la Corée et le Japon qui, à eux seuls, totalisent les quatre cinquièmes de la production, principalement par la culture (90 % de cette production). Cette production est majoritairement destinée l'alimentation humaine directe qui représente 75 % de la production mondiale. La deuxième utilisation est l'extraction des colloïdes, qui représente 12,5 %. Le restant est exploité dans les différents secteurs que sont l'agriculture, l'alimentation animale, la cosmétique (Mac Hugh DJ, 2003).

Les macro-algues peuvent être utilisées dans des domaines très variés :

- l'alimentation humaine en tant que légumes
- l'agroalimentaire en tant que texturants
- la chimie et la microbiologie pour les milieux de culture
- la cosmétique, la nutraceutique et la pharmaceutique
- le traitement des eaux pour les filtres et solutions
- l'agrofourriture en tant que produits phytosanitaires, engrais ou aliments pour bétails.

Six algues alimentaires sont largement consommées : la laitue de mer (*Ulva sp.*), la dulce (*Palmaria pal- mata*), le nori (*Porphyra sp.*), le wakamé (*Undaria pinnatifida*), le kombu (*Saccharina latissima*) et le hari- cot de mer (*Himanthalia elongata*). (CEVA, 2014).

#### **I -6-1- En alimentation humaine**

L'algue en alimentation fait cependant partie du quotidien de l'homme, mais de façon discrète, utilisée pour ses propriétés technologiques et ceci depuis le début des années soixante. Agar, Alginate et carraghénanes sont ainsi devenus des ingrédients incontournables

de l'industrie agroalimentaire (Marfaing, 2004). Les algues rouges sont la source d'agar et de l'agarose. Les genres *Gelidium*, *Gracilaria*, *Acanthoptelis* et *Pterocladia* sont les principaux producteurs de ces matériaux. Le mucilage extrait à chaud de ces algues donne après purification, déshydratation et broyage la poudre d'agar-agar utilisée essentiellement pour gélifier un grand nombre de produits alimentaires mais aussi les milieux de culture pour les microorganismes ou les cultures in vitro (Chouikhi, 2013).

### **I -6-2- En alimentation animales**

Sur de longues périodes, les animaux (ovins, bovins et équidés) qui vivaient en zones côtières consommaient des macro-algues brunes, surtout dans les pays où celles-ci étaient rejetées sur le rivage, d'ailleurs l'algue rouge *Palmaria palmata* était appelée « goémon à vache ».

Les premiers essais de supplémentaire de la ration alimentaire d'animaux d'élevage ont fait apparaître une bonne acceptabilité, une bonne digestibilité et une bonne assimilation des algues. Aujourd'hui, la disponibilité de macro-algues pour animaux s'est accentuée avec la production de farines. Les macro-algues utilisées en alimentation comme *Ascophyllum nodosum* et *Laminaria digitata* fraîchement coupées, sont broyées en fines particules et séchées.

Leur analyse a montré qu'elles contenaient des quantités importantes de minéraux, oligoéléments et vitamines. Les oligo-éléments qui sont des éléments essentiels requis pour les mammifères à de petites quantités tels que le fer, le zinc, cobalt, chrome, molybdène, nickel, fluor et iode (Chouikhi, 2013).

### **I -6-3- Dans l'industrie alimentaire**

L'algue en alimentation fait cependant partie du quotidien de l'homme, mais de façon discrète, utilisée pour ses propriétés technologiques et ceci depuis le début des années soixante. Agar, Alginate et carraghénanes sont ainsi devenus des ingrédients incontournables de l'industrie agroalimentaire (Marfaing, 2004).

Les algues rouges sont la source d'agar et de l'agarose. Les genres *Gelidium*, *Gracilaria*, *Acanthoptelis* et *Pterocladia* sont les principaux producteurs de ces matériaux. Le mucilage extrait à chaud de ces algues donne après purification, déshydratation et broyage la poudre d'agar-agar utilisée essentiellement pour gélifier un grand nombre de produits alimentaires mais aussi les milieux de culture pour les microorganismes ou les cultures in vitro (Chouikhi, 2013).

**I -6-3-1- Dans le domaine pharmaceutique et médical**

Plusieurs composés chimiques isolés des macro-algues sont biologiquement actifs dont certains possèdent une activité pharmacologique efficace (Rorrer et Cheney, 2004). Une étude sur l'isolement et la détermination de la structure chimique de nouveaux métabolites secondaires pouvant présenter des activités biologiques à potentialités pharmacologiques a été réalisée à partir de deux algues méditerranéennes *Cystoseira crinita* (Phéophycée) et *Lyngbya majuscula* (Cyanophycée) (Praud, 1994). Aujourd'hui, environ 4000 nouveaux métabolites ont été isolés à partir de divers organismes marins et jusque dans les années 1990, ce sont les algues qui ont le plus intéressé les chercheurs (Praud, 1994).

**I -6-3-2- Dans la biotechnologie**

Le processus biotechnologique des macro-algues marines a trois éléments: La cellule et le développement de culture cellulaire, la conception de photo bioréacteur, et l'identification des stratégies pour obtenir la biosynthèse de métabolites secondaires (synthèse biomimétique) (Rorrer et Cheney, 2004). L'ingénierie biotechnologique (biomoléculaire) des macro-algues marines pour la production de ces composés est un domaine nouveau émergent de la biotechnologie marine. Les Rhodophycées contiennent une protéine particulière appelée phycoérythrine (PE) qui est déjà utilisée dans les applications biotechnologiques comme colorant ou teinture dans des réactions d'immunofluorescence (Fleurence, 1999).

**I -7- L'oxydation et l'anti-oxydation d'origine algale :**

La biodiversité extraordinaire du monde marin se traduit par de nombreux composés biologiquement actifs. Les organismes marins tels que les plantes, les animaux et les algues sont parfois exposés à des conditions extrêmes de température, pH, salinité, pression, lumière et autres ce qui rend leur survie dans ces habitats complexes un véritable défi quotidien.

Pour survivre, elles produisent une variété de substances naturelles, bénéfiques et présentant des avantages potentiels et multiples. Ce sont 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 à noter que les constituants bioactifs marins diffèrent d'un organisme à un autre et d'une espèce à l'autre, du fait de leurs conditions de vie différentes. D'une façon générale, elles sont riches en hydrates de carbone, en polysaccharides, en matières azotées et polyphénoliques, en acides aminés et en protéines, qui ont une large application dans les industries de l'alimentation humaine et animale et autres.

Au total, 25 espèces d'algues vertes, 90 d'algues brunes et 350 d'algues rouges ont montré un intérêt commercial. (Santhanam N. 1990)

### **I -7-1- L'oxydation :**

Est le phénomène qui fait rouiller les métaux, flétrir les légumes et les fruits et rancir les graisses, par conséquent, il modifie le goût et la couleur des aliments. De plus, l'organisme subit également le phénomène d'oxydation, mais il est équipé pour lutter contre ces altérations. En effet, un énorme système de défense est en permanence mis en place, avec des systèmes enzymatiques et/ou des systèmes de régénération de complexes mettant en jeu ; par exemple l'acide ascorbique. Mais ce système de défense est parfois débordé (Favier, 2003).

### **I -7-2- Les antioxydants :**

Sont des composés qui inhibent ou retardent l'oxydation des substrats biologiques, en bloquant l'initiation ou la propagation des chaînes de réactions oxydatives (Boyd *et al.*, 2003).

#### **I -7-2-1- Antioxydants naturels d'origine marine :**

L'environnement marin est connu pour sa richesse en composés chimiques présentant beaucoup d'effets bénéfiques pour la santé. Parmi les organismes marins, les algues sont une ressource végétale sous-exploitée, pourtant ils ont longtemps été considérés comme une importante source de composés bioactifs.

Actuellement, un regain d'intérêt est porté sur la recherche de nouvelles sources sûres et moins chers d'antioxydants d'origine naturelle. Les algues ou leurs extraits peuvent être donc une source potentielle. La biomasse fraîche d'algue contient de l'acide ascorbique (Vitamine C) et de la glutathion (GSH).

Les algues produisent aussi une large gamme de métabolites secondaires antioxydants : des tocophérols, des pigments comme les caroténoïdes ( $\beta$ -carotène, fucoxanthine), la phycocyanine et la phycoerythrine, des polyphénols (phlorotannins, catéchines, flavonoïdes, tannins, lignanes), des polysaccharides sulfatés (fucoidanes et hétérofucanes) et des mycosporine-like amino-acides (MAA) (Cornish et Garbary, 2010).

Ces antioxydants algaux ont une large gamme d'activités : anti-tumorale, antivirale, anti-inflammatoire, antiproliférative, antimicrobienne, anti-angiogène et antimutagène. Ce qui ouvre de nouvelles perspectives d'utilisation des algues comme des ingrédients antioxydants fonctionnels en industrie alimentaire, pharmaceutique et nutraceutique (Cornish et Garbary, 2010).

**I -7-2-2- Antioxydants et systèmes de défense :**

Les antioxydants peuvent être définis comme toute substance qui, présente à faible concentration par rapport au substrat oxydable, est capable de ralentir ou d'inhiber l'oxydation de ce substrat. Cette définition fonctionnelle s'applique à un grand nombre de substances, comprenant des enzymes aux propriétés catalytiques spécifiques, mais aussi de petites molécules hydro- ou liposolubles. Cette grande variété physico-chimique autorise la présence d'antioxydants dans tous les compartiments de l'organisme, qu'ils soient intracellulaires, membranaires ou extracellulaires

• *Antioxydants enzymatiques* : Pour faire face à ces attaques, les organismes ont développé des systèmes d'action antioxydante qui visent :

1. A éliminer les espèces réactives de l'oxygène et les catalyseurs de leur formation
2. A induire la synthèse des antioxydants.
3. A augmenter l'activité des systèmes de réparation et d'élimination des molécules endommagées.

Trois types d'enzymes antioxydantes sont mis en œuvre pour la destruction des espèces réactives de l'oxygène.

• *Antioxydants non enzymatiques* : Ce sont des antioxydants naturels capables de prévenir les dommages oxydatifs. Ils peuvent se comporter comme des piègeurs des radicaux libres par les interventions directes sur les molécules pro-oxydantes ou indirectement, en chélatant les métaux de transition, empêchant ainsi la réaction de Fenton. Ce type d'antioxydants possède un avantage considérable par rapport aux antioxydants enzymatiques.

Du fait de leur petite taille, ils peuvent en effet pénétrer facilement au cœur des cellules et se localiser à proximité des cibles biologiques. Ce type d'antioxydants regroupe un grand nombre de substances hydrophiles ou lipophiles et ils sont en partie produits par l'organisme au cours de processus biosynthétiques.

Néanmoins le nombre d'antioxydants produits in vivo est très limité ; on peut citer parmi les plus actifs : le glutathion, le NADPH, les dipeptides, l'acide urique, l'acide lipoïque ou la bilirubine.

**I -8- Evaluation in vitro de l'activité anti-oxydante d'extraits d'algues :****I -8-1- Préparation des extraits bruts :**

- *Extraction par macération* : Dans des conditions de température optimale et d'obscurité assurant la préservation des composés bioactifs des algues, l'obtention des extraits bruts méthanoliques, éthanoliques et aqueux de chaque espèce d'algue est réalisée tout d'abord par macération. Cette méthode consiste à laisser une quantité de chaque poudre précédemment obtenue en contact avec un volume de solvant d'extraction.
- *Procédé d'extraction* : la technique consiste à mettre 5 g de poudre d'algue dans un volume de 100 ml de solvant (méthanol, éthanol ou eau distillée). Une macération est lancée à l'abri de la lumière sous agitation mécanique dans un agitateur-incubateur (Heidoiph Unimax 1010 - Inkubator 1990), à température ambiante (25 °C) pendant 24 heures. Les extraits obtenus sont centrifugés à 3500 rpm pendant 10 min à 4 °C et filtrés. Les extraits organiques sont évaporés à sec à 30- 35°C avec un évaporateur rotatif de type Hahnvapor HS-2005-N et les extraits aqueux sont lyophilisés (Kelman et al., 2012). Les résidus secs des différents extraits obtenus sont pesés et conservés à -20°C.
- *Extraction par Soxhlet* : un extracteur Soxhlet est une pièce de verrerie utilisée en chimie analytique et en chimie organique qui permet de faire l'extraction continue d'un solide par un solvant. Quand le ballon est chauffé, les vapeurs de solvant passent par le tube adducteur, se condensent dans le réfrigérant et retombent dans le corps en verre, faisant ainsi macérer les résidus dans le solvant. Le solvant condensé s'accumule dans l'extracteur jusqu'à atteindre le sommet du tube siphon, qui provoque alors le retour du liquide dans le ballon, accompagné des substances extraites. Le solvant contenu dans le ballon s'enrichit progressivement en composés solubles.

**I -8-2- Applications potentielles des espèces ciblent :**

Les applications potentielles des composés détectés chez les espèces des genres : *Cystoseira*, *corallina*, *ulva*, en nutrition et santé humaine sont résumés au niveau du tableau 4.

**Tableau 4 :** Les applications potentielles des composés détectés chez les trois espèces d'algues étudié

<b>Espèces d'algues</b>	<b>Applications</b>	<b>Références</b>
<i>Ulva lactuca</i>	-Inhibition du peroxy-nitrite (pharmaceutique) -Stimule le mécanisme de défense antioxydant hépatique et réduit le taux de lipides, triglycérides et cholestérol total.	- Lee et <i>al</i> (2004) - Hassan et <i>al</i> (2011)
<i>Cystoseira stricta</i>	-Antibactérien, antiviral, antimicrobien. -Charbons actifs (une alternative aux adsorbants disponibles dans le commerce pour l'élimination des colorants des effluents liquides)	- Kamenarska et <i>al</i> (2009)
<i>Coralline officinaline</i>	-Inhibition du peroxy-nitrite (pharmaceutique)	- Lee et <i>al</i> (2004)

PARTIE 2 :  
ZONE D'ÉTUDE

## II -1- Présentation du cadre de l'étude : la wilaya de Mostaganem

Elle est située au Nord Ouest du Territoire National et couvre une superficie de 2269 Km<sup>2</sup> (Figure 12), avec une façade maritime de l'ordre de 120km Elle est limitée :

- A l'Est par la Wilaya de Chleff
- Au Sud par les Wilaya de Mascara et Relizane
- A l'Ouest par les Wilaya d'Oran
- Au Nord par la Mer Méditerranée

La wilaya de Mostaganem se caractérise par un littoral qui s'étend sur une distance de 124,5Km de l'embouchure de la Macta à l'Ouest au CAP NEGRAWA à l'Est.



**Figure 12 :** Situation géographique de Mostaganem

La région de Mostaganem se caractérise par un climat semi aride à hiver tempéré et une pluviométrie qui varie entre 350mm et 400mm et un relief qui s'individualise en deux principales unités morphologique.

Le relief de la Wilaya de Mostaganem s'individualise en quatre unités morphologiques appartenant à deux (02) régions distinctes :

- le Plateau et les Monts Dahra.

### II -1-1- Le plateau de Mostaganem :

Appartient au Tell occidental algérien, à une soixantaine de kms à l'est d'Oran. Il couvre une superficie de 750km<sup>2</sup>, son altitude augmente sensiblement d'Ouest en Est (de 130 à 293m). La morphologie du plateau n'est pas absolument plate, on peut voir trois zones « bombées »

correspondant à d'anciennes dunes consolidées et entre lesquelles s'intercale chaque fois une dépression. Ces reliefs ont des surfaces inégales : sur environ le 1/3 ouest du plateau, nous trouvons deux zones surélevées entourant une étroite dépression. Sur les 2/3 restants (vers l'est), les dépressions sont plus larges et les parties « bombées » très entaillées avec des replats et des surfaces plates bordées de talus représentant des « reliefs résiduels ». Ces différentes unités morphologiques (composantes principales du relief) sont parsemées de différents types de dunes : - des dunes vives. - des dunes consolidées à sommets aigus et d'autres à sommets arrondis. Parallèlement au plateau il ya le cordon littoral d'une superficie de 27.047ha, il est représenté par des pentes variables, les plus fortes atteignent 25% et se composent de formations dunaires mobiles ou consolidées.

### **II -1-2- Les reliefs appartenant aux Monts Dahra**

S'étendent sur une superficie de 80.337ha. Ils sont constitués par des piémonts à forme molle, de texture limoneuse sableuse avec des pentes de 3 à 25% les altitudes oscillent entre 400 et 600m. Les Monts Dahra sont soumis à une très forte érosion hydrique et éolienne.

La population à Mostaganem est passée de 504 991 habitants<sup>1</sup> à 629 445 habitants 1998 pour arriver à 737 118 habitants en 2008, soit un taux d'accroissement 1.7 (1998-2008) avec une densité de 333 hab/Km<sup>2</sup>.

### **II -2- Caractéristiques de la zone:**

#### **II -2-1- Hydrodynamisme:**

Le courant dominant au large de la région de Mostaganem est d'origine atlantique. Le flux en provenance du détroit de Gibraltar coule le long de la côte algérienne où il prend le nom de Courant algérien d'épaisseur moyenne de 200Km, est initialement structuré en une veine collée à la côte, étroite et profonde (Benzohra, 1993).

Au fur et à mesure que ces eaux se déplacent vers l'Est, la veine de courant devient plus large environ 50Km de diamètre accompagné de phénomène d'Upwellings (Millot, 1985b). Ces Upwelling induisent des zones de plus fortes productivités biologiques (Millot, 1987).

Ces turbulences pénètrent dans les régions côtières et interfèrent avec la veine majeure du courant lui-même (Millot, 1987a). Elles donnent naissance à des méandres tourbillons dans cette partie de la côte algérienne (Benzohra, 1993).

#### **II -2-2- Temperature:**

Lalami-Taleb (1970) montrent que les couches superficielles sont directement influençables par les températures externes en raison des échanges thermiques entre le milieu interne et l'air

ambient, elles varient entre 21°C et 27°C en moyenne. Les maximums de températures se situent au mois d'octobre, les températures minimales se situent au mois de février-mars. En profondeur, les températures sont plus basses et relativement stables, fluctuant entre 13°C et 14 °C en toute saison.

### **II -2-3- Précipitation :**

Korichi (1988) estime qu'il existe principalement deux périodes :

- Une période froide entre novembre et mars avec une température de l'ordre de 15°C, et des précipitations moyennes de 89.49mm.
- Une période chaude entre avril et octobre avec une température de 23°C et de faibles précipitations.

### **II -2-4- La salinité :**

La salinité de l'eau de la région de Mostaganem est de 35‰ dont 27‰ de NaCl, les cations les plus abondants sont : Na, K, Mg et Ca.

### **II -2-5- Les vents:**

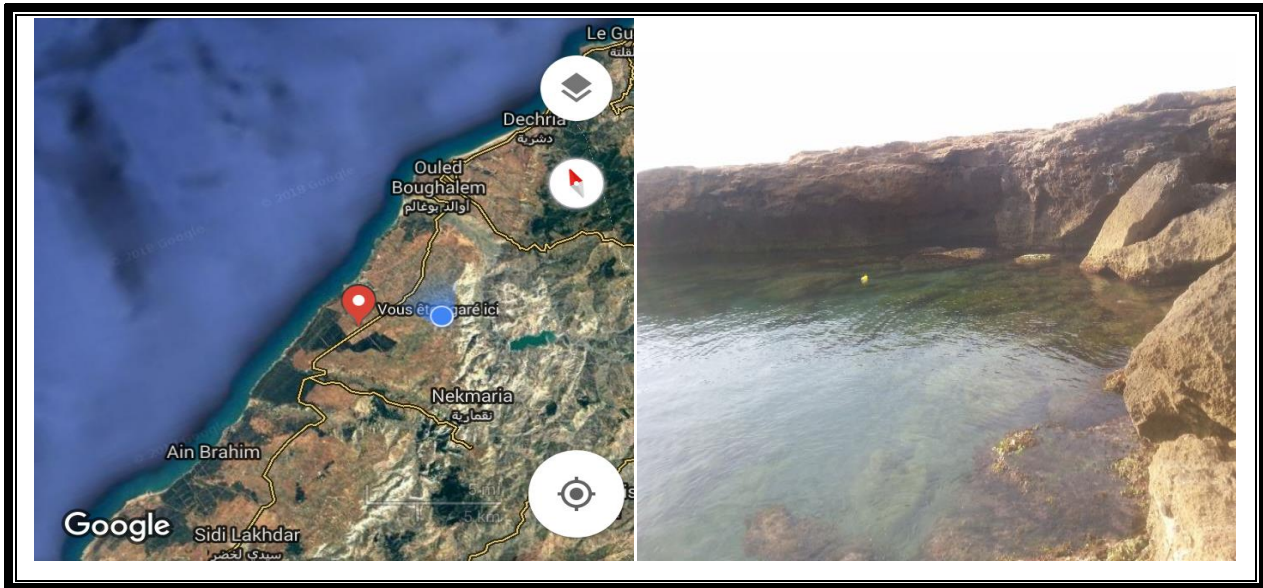
Selon Millot (1985 *in* Korichi, 1988), il existe dans la baie de Mostaganem deux types de vents :

- des vents d'Ouest avec une vitesse de 2m/s dans une période comprise entre novembre et avril.
- des vents d'Est avec une vitesse moyenne supérieure à 2m/s pouvant aller jusqu'à 15 à 20 m/s pendant 3 mois successifs entre les mois de mai et octobre.

Le mauvais temps est généralement apporté par les vents d'Ouest.

### **II -3- Présentation du site échantillonnage :**

La plage de Sidi Ladjel (porte du minal) est éloignée de 5 km au nord de la commune de khadra (Picard) et à 50 km de la wilaya de Mostaganem (Figure 13). Elle est bordée à l'ouest par la dayra de Sidi Lakhdar, à l'est de la commune d'Ouled-Boughalem et au sud par la commune de Nekmaria situé à une latitude de 36° 26'nord et à une longitude 00° 52' ouest



A

B

**Figure 13:** Situation géographique du site de prélèvement  
**A :** Vue satellitaire du site de prélèvement (commune de khadra)  
**B :** Site du prélèvement des algues (plage de Sidi Ladjel).

CHAPITRE II :  
MATÉRIEL ET MÉTHODES

### I- Sélection et identification des espèces ciblent :

Une étude préliminaire est effectuée afin de définir les espèces d'algues largement présentes au niveau du site d'échantillonnage.

La sélection et la collecte des espèces sont effectuées sur la base de leur disponibilité et leur abondance. La caractérisation botanique et la confirmation du genre et de l'espèce sont réalisées au laboratoire de biochimie au niveau du département de biologie de l'Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, en s'appuyant sur des données assemblées.

La récolte de nos échantillons aurait du se faire durant quatre mois de janvier à avril 2020, mais suite à la pandémie du Covid 19 notre travail s'est vu être suspendus, nous n'avons donc fait effectuer que l'échantillonnage du mois de janvier, pour cela, et au cours de cette partie nous allons exposer le matériel et les différentes méthodes qu'on aurait pu utiliser lors de ce travail

### II- Traitement des échantillons

Après la récolte, les algues ont été rincées directement à l'eau de mer et déposées dans des seaux remplis d'eau de mer, puis elles sont transportées au laboratoire (Figure 14). A ce niveau, les trois espèces d'algues sont lavées plusieurs fois à l'eau de robinet afin d'éliminer l'excès de sel, les grains de sable et autres particules étrangères, puis séchées à l'air libre et à l'abri de la lumière et de l'humidité pendant trois semaines. Une fois séchée, la matière algale a été broyée en poudre à l'aide d'un broyeur électrique, et conservée jusqu'à utilisation.

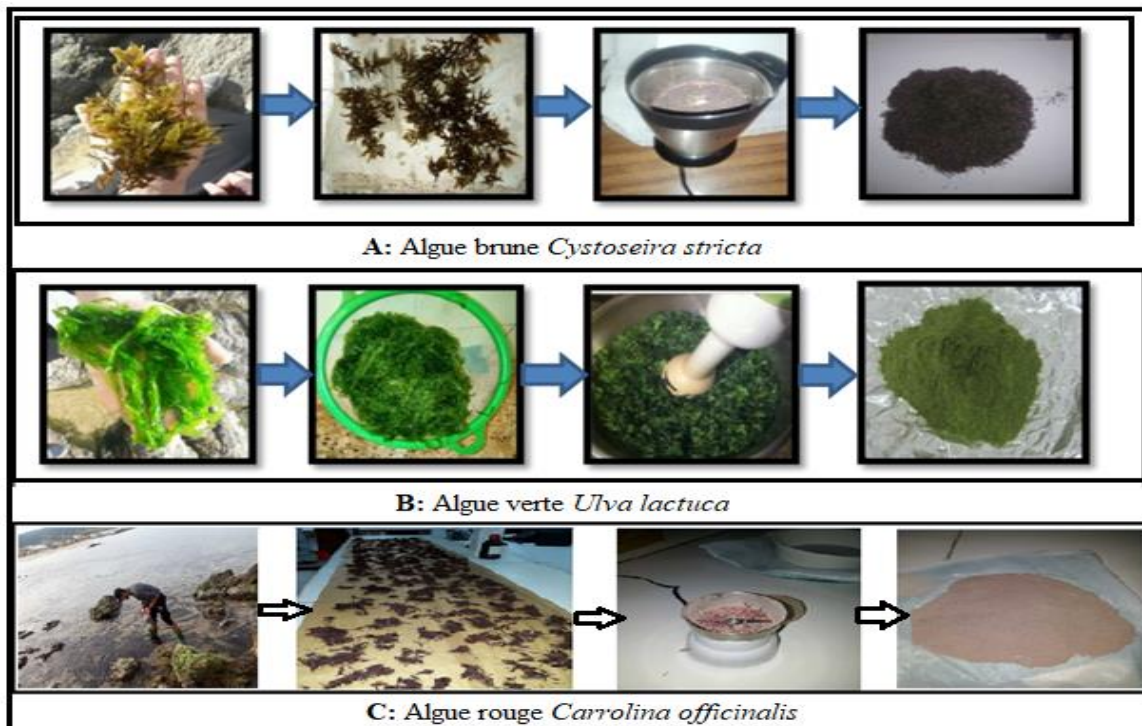


Figure 14 : Les étapes de préparation des différentes espèces d'algues

## II -1- Extraction de l'extrait d'algue :

L'extraction par solvants consiste à faire passer, par solubilisation, la substance à extraire dans un solvant. Celui-ci peut être de l'eau mais généralement il s'agira d'un solvant organique : Méthanol, éther de pétrole, etc. Les substances à extraire étant emprisonnés dans la cellule par la membrane cellulaire, il faudra un solvant qui puisse les traverser.

Le choix du solvant nécessite la connaissance de ces paramètres physiques :

- L'état physique du solvant : il doit être liquide à la température et à la pression où l'on réalise l'extraction
- La miscibilité du solvant : il doit être non miscible à la phase qui contient initialement le composé à extraire
- La solubilité : le composé à extraire doit être très soluble dans le solvant,
- La densité du solvant : il détermine si la phase organique contenant le composé à extraire se trouve au-dessus ou en dessous de la phase aqueuse dans l'ampoule à décanté
- Facilement éliminés après extraction
- Inerte chimiquement vis-à-vis de la solution à extraire
- Peu toxique que possible

Les extraits ont été ensuite recueillis et concentrés en utilisant un évaporateur rotatif pour finalement calculé le rendement de chaque extraction, les extraits recueillis sont enfin gardé sous basse température jusqu'au moment du test.

### II -1-1- Préparation des extraits Brut

Plusieurs protocoles sont utilisés pour ces extractions, nous avons résumé quelques uns

#### II 1-1-1- Extraction par macération

Dans des conditions de température optimale et d'obscurité assurant la préservation des composés bioactifs des algues, l'obtention des extraits bruts méthanoliques, et aqueux de chaque espèce d'algue est réalisée tout d'abord par macération. Cette méthode consiste à laisser une quantité de chaque poudre précédemment obtenue en contact avec un volume de solvant d'extraction.

##### ➤ *Procédé d'extraction*

La technique consiste à mettre 5 g de poudre d'algue dans un volume de 100 ml de solvant (méthanol, éthanol ou eau distillée). Une macération est lancée à l'abri de la lumière sous agitation mécanique dans un agitateur-incubateur (Heidoiph Unimax 1010 - Inkubator 1990), à température ambiante (25 °C) pendant 24 heures. Les extraits obtenus sont centrifugés à

3500 rpm pendant 10 min à 4 °C et filtrés. Les extraits organiques sont évaporés à sec à 30-35°C avec un évaporateur rotatif de type Hahnvapor HS-2005-N et les extraits aqueux sont lyophilisés (Kelman *et al.*, 2012). Les résidus secs des différents extraits obtenus sont pesés et conservés à -20 °C.

### II -1-1-2- Extraction par Soxhlet

Un extracteur Soxhlet est une pièce de verrerie utilisée en chimie analytique et en chimie organique qui permet de faire l'extraction continue d'un solide par un solvant. Quand le ballon est chauffé, les vapeurs de solvant passent par le tube adducteur, se condensent dans le réfrigérant et retombent dans le corps en verre, faisant ainsi macérer les résidus dans le solvant. Le solvant condensé s'accumule dans l'extracteur jusqu'à atteindre le sommet du tube siphon, qui provoque alors le retour du liquide dans le ballon, accompagné des substances extraites. Le solvant contenu dans le ballon s'enrichit progressivement en composés solubles.

#### ➤ *Procédé d'extraction*

- Après broyage et séchage de l'algue étudié, 100 g du matériel végétale et soumis à une agitation pendant 30 minutes à température ambiante, dans 200 ml du mélange eau-méthanol (75-125 ml) pendant 1 heure. L'extrait ensuite filtrés sur papier Whatman N°05, puis concentrés au Rotavapeur. La solution récupérée est séchée dans l'étuve à 37°C pendant 72h (Karumi *et al.*, 2004).
- Une quantité de 20 gramme de la poudre algale pour les algues vertes et 40 gramme pour les algues brunes est macérée avec le méthanol à température ambiante pendant 24h sous agitation pour but d'extraire le maximum des composés. Après filtration l'extrait obtenu est évaporé à sec sous pression réduite à 40°C pour donner l'extrait méthanolique.
- Une deuxième extraction avec le chloroforme est préparée à partir de la même poudre à température ambiante pendant 24 h pour obtenir l'extrait chloroformique.
- L'extrait aqueux a été obtenu par infusion de 20 g de broyat d'algue pour l'algue verte et 40 g pour l'algue brune dans 500 ml d'eau distillée pendant 24h sous agitation à température ambiante et à l'abri de la lumière. Le mélange est d'abord filtré sur papier Wattman (n°3). Des aliquotes du filtrat sont placées dans une étuve à 40 °C pendant 24 h pour séchage.
- Les extraits sec sont conservé au réfrigérateur à 4°C jusqu'à l'utilisation.

### II -1-2- Calcul des rendements des extraits secs

La détermination du rendement de l'extrait sec est réalisée en appliquant la formule suivante (Afnor, 1986)

$$R(\%) = (P1-P2/P3) \times 100$$

Avec :

P1: poids du ballon après évaporation

P2: poids du ballon avant évaporation

P3: poids de la matière sèche algale

### III- Dosage des composés phénoliques totaux

Le dosage des phénols totaux par la méthode utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu a été décrit selon Singleton et Rossi en 1965 (Figure 15).

#### III -1- Principe

Le réactif de Folin-Ciocalteu est un acide de couleur jaune constitué par un mélange d'acide phosphotungstique (H<sub>3</sub>PW<sub>12</sub>O<sub>40</sub>) et d'acide phosphomolybdique (H<sub>3</sub>PMo<sub>12</sub>O<sub>40</sub>). Il est réduit, lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleu de tungstène et de molybdène (Ribéreau, 1968), dont l'absorption maximale à environ 760-765 nm est proportionnelle à la quantité de polyphénols présente dans les extraits végétaux (Boizot et al, 2006).

La teneur en polyphénols totaux est calculée à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage établie avec l'acide gallique à partir d'une solution mère (mg/ml), est exprimée en µg d'équivalent d'acide gallique par mg d'extrait (µgEqAG/mg d'extrait).

#### III -2- Méthode

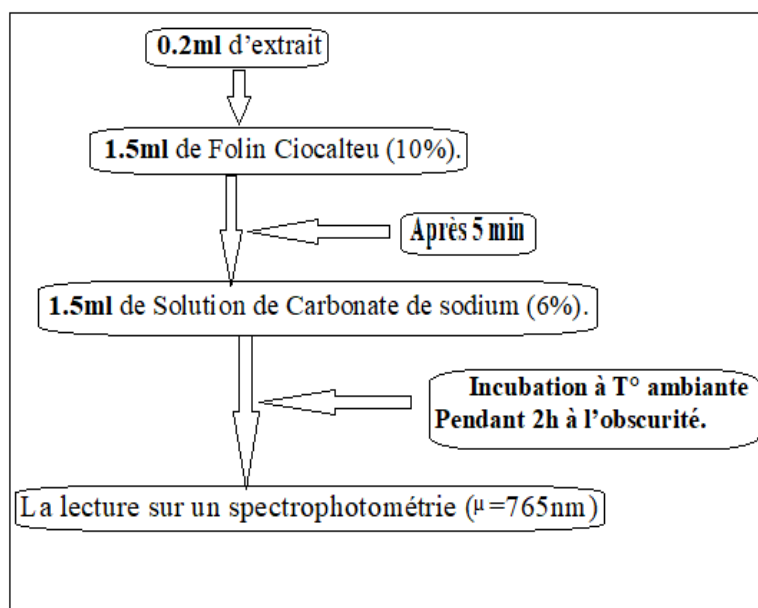
Un Volume de 0.2 ml d'extrait a été mélangé avec 1.5 ml de Folin Ciocalteu (10%). Après 5 minutes, on rajoute 1.5 ml d'une solution de Carbonate de sodium (6%). Le mélange est soumis une agitation puis incubé a température ambiante a l'obscurité pendant 2h et l'absorbance est lue a 765 nm sur un Spectrophotomètre. L'acide gallique est utilisé comme standard de référence. Les résultats sont exprimés en microgramme d'équivalents d'acide gallique par mg d'extrait sec (µg EA/mg d'extrait).

$$\text{Polyphénols} = a \cdot f/C$$

a : Concentration de Polyphénols (µg Eq acide gallique/mg d'extrait) déterminée à partir de la courbe étalon.

f : Facteur de dilution (×22).

C : Concentration de l'extrait.



**Figure 15:** Dosage de Polyphénols totaux (Lit *et al.*, 2007)

### III -3- Préparation de la gamme d'étalon de l'acide gallique

On prend 0,5 mg de l'acide gallique et on le dissout dans 5 ml de Méthanol pour obtenir la solution S1 (0,2mg/ml). Les dilutions sont préparées dans des eppendorfs comme la suite (Tableau 5).

**Tableau 5 :** Préparation de la gamme d'étalonnage de l'acide gallique

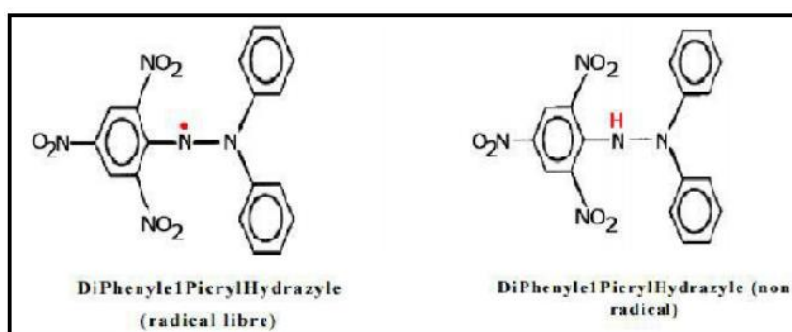
Concentrions $\mu\text{g/ml}$	Solution mère ( $\mu\text{l}$ )	Eau distillée ( $\mu\text{l}$ )	Volume total ( $\mu\text{l}$ )
200	200	-	200
175	175	25	200
150	150	50	200
125	125	75	200
100	100	100	200
75	75	125	200
50	50	150	200
25	25	175	200

### IV- Mesure du pouvoir antioxydant

De nombreuses méthodes sont utilisées pour l'évaluation de l'activité anti-oxydante, *in vitro* et *in vivo* des composés Phénoliques purs ou d'extrait. Dans notre étude nous avons utilisé des tests chimiques qui mesurent la réduction du radical stable le DPPH (2,2-Diphényl-1-picrylhydrazyl) (Sharma *et al.*, 2009 ; Bourkhiss *et al.*, 2010).

#### IV -1- Évaluation de l'activité Anti-radicalaire du radical libre DPPH

La méthode du DPPH utilise un radical relativement stable, dont les antioxydants réduisent ce radical ayant une couleur violette en un composé jaune, le diphényl picryl hydrazine (Figure 16). Les absorbances mesurées à 517 nm servent à calculer le pourcentage d'inhibition du DPPH ; dont la couleur est inversement proportionnelle à la capacité des antioxydants donneur de proton présents dans l'échantillon (Sanchez Moreno, 2002 ; Parejo *et al.*, 2003)



**Figure 16:** Structure Chimique de radical libre et non radical (Molyneux, 2004).

##### IV -1-1- Mode Opératoire

L'effet de l'extrait sur la réduction du DPPH à été réalisé selon le Protocole suivant (Benariba *et al.*, 2013).

- Préparation du DPPH à la concentration de 0,0012 mg /ml dans du méthanol,
- Préparation des extraits dans l'eau distillée à différentes concentrations (100, 200, 300, 400,500 mg/ml);
- A 2 ml de la solution du DPPH on ajoute 0.014mg pour chaque extrait à différentes concentrations;
- Préparation du tube blanc pour chaque concentration : 50 ml du méthanol et 0.014 de chaque extrait correspondant;
- Préparation du tube control négatif : 50ml du méthanol avec 2ml de la solution du DPPH,
- Le tube blanc renferme 2 ml du méthanol

Incubation 30 min à température ambiante et à l'obscurité,

- Mesure de l'absorbance à 517 nm.

Le pourcentage de réduction du DPPH est calculé selon la formule suivante:

$$I\% = \frac{(\text{ABS BLANC}) - (\text{ABS EXTRAIT})}{(\text{ABS BLANC})} * 100$$

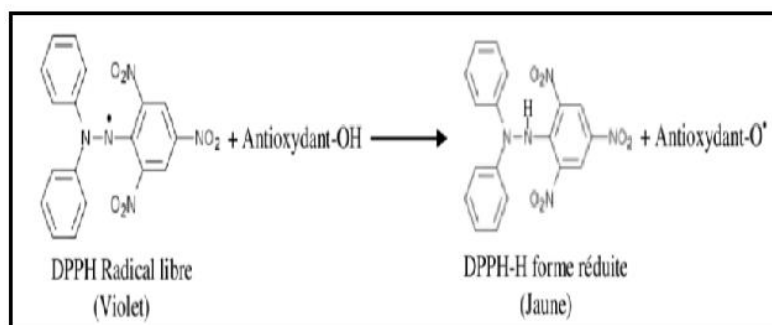
Avec :

DPPH (%) : Pourcentage de réduction du DPPH.

ABS BLANC: Absorption d'extrait blanc.

ABC EXTRAIT : Absorption d'extrait

L'acide ascorbique est utilisé comme contrôle positif à différentes concentrations. Le mécanisme réactionnel du test DPPH est présenté dans la Figure 17.



**Figure 17** : Mécanisme réactionnel du test DPPH (Molyneux, 2004).

La valeur IC50 est la concentration d'extrait qui assure la réduction de 50% du DPPH, déterminée graphiquement par la régression linéaire, pour chaque extrait à partir de la courbe du pourcentage de réduction en fonction de la concentration (Samarth et *al.*, 2008).

#### IV-2- Évaluation de l'activité anti-radicalaire par la méthode FRAP (Ferric ion Reducing Antioxidant Power)

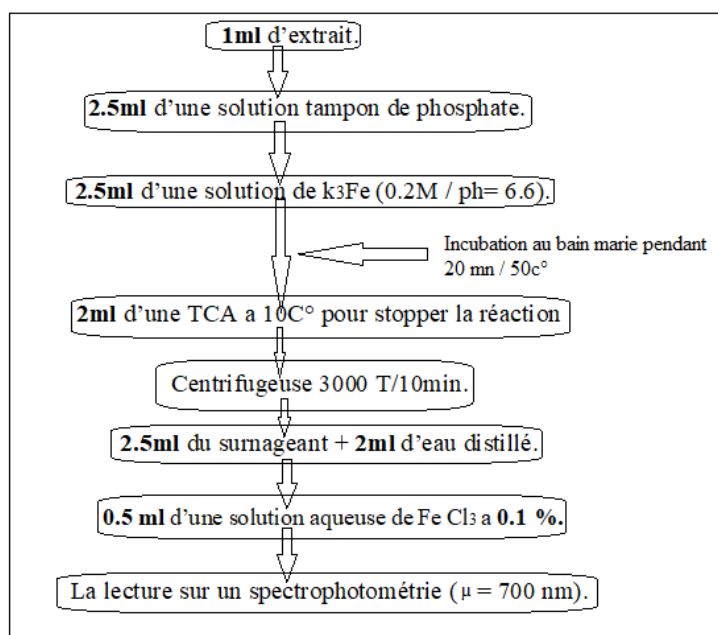
La méthode de FRAP est basée sur la réaction chimique de réduction du Fe<sup>3+</sup> présent dans le complexe K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> en Fe<sup>2+</sup>. L'absorbance du milieu réactionnel est déterminée à 700 nm (Hubert, 2006).

##### IV -2-1- Mode Opératoire

L'évaluation de l'activité antioxydant par la réduction du fer a été réalisé selon le Protocole suivant (Yildirim et *al.*, 2001).

- Un Volume de 2.5 ml de solution Tampon phosphate (0.2M, ph.6.6).
- Addition de 2.5 ml d'une solution de K<sub>3</sub> Fe.
- L'incubation du mélange au Bain marie à 50° C pendant 20 minutes.
- 2.5 ml d'une solution de TCA (10%) à 10° C Pour stopper la réaction.
- Un volume de 2.5ml d'un surnageant, en ajoute 2.5 ml d'eau distillée pour chaque tube (8 tubes).
- Addition de 0.5 ml d'une solution aqueuse de Fe Cl<sub>3</sub> a 0.1 %.

- Après l'agitation d'échantillon, la lecture se fait à l'aide d'un Spectrophotométrie de la densité optique à 700nm. Les étapes qui expriment le pouvoir réducteur du Fer sont présentées par la Figure 18



**Figure 18:** Les étapes qui expriment le pouvoir réducteur du Fer de test *FRAP* (Yildirim *et al.*, 2001).

L'étude de l'activité anti-oxydante peut être aussi testé selon deux autres méthodes : piégeage des radicaux libres à l'aide du ABTS, La réduction du complexe cuivre-neocuproéne (méthode CUPRAC).

#### a. Préparation des échantillons

Une quantité de 4 milligramme des extraits et des standards (BHT, BHA), ont été dissouts dans 1 ml du méthanol (Solution mère de 4000 ppm), c'est à partir de cette dernière qu'une série de dilution de 1/2 a été préparé. Le tableau 6 présente la série de dilution préparée pour les extraits et les standards. Tous les extraits ainsi que les standards ont été préparé de la même manière pour tous les tests antioxydants.

**Tableau 6 :** Le protocole de dilution pour les extraits et les standards

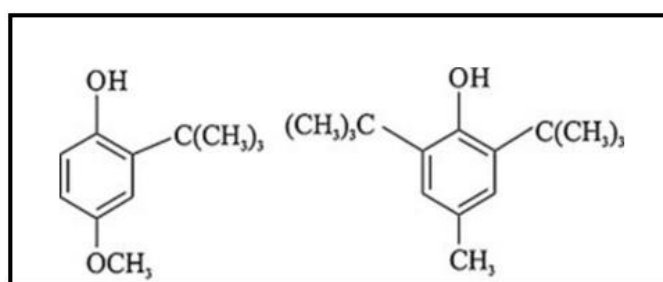
Dilution	1/1	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32	1/64
Concentration de la solution mg/ml	4	2	1	0.5	0.25	0.125	0.0625

#### b. Les antioxydants standards

Les résultats sont portés par rapport à des antioxydants synthétiques tels que la BHA (Butyl-Hydroxy-Anisol) et le BHT (butyl-hydroxy-toluène).

**➤ BHA**

Hydroxyanisole butylé (BHA) (Figure 19), un antioxydant qui existe à température ambiante sous la forme d'un solide cireux blanc ou légèrement jaune avec une faible odeur caractéristique. (IARC 1986). Il est un conservateur utilisé comme additif alimentaire ainsi que dans les produits d'hygiène. C'est peut-être l'antioxydant synthétique le plus utilisé dans l'industrie alimentaire (D'après allallergy.net). Très efficace pour éviter l'oxydation des graisses et huiles, surtout celles d'origine animale, il est cependant suspecté d'être cancérigène, reprotoxique et perturbateur endocrinien (UFC Que Choisir, juin 2017). Le BHA est insoluble dans l'eau, mais il est soluble dans les graisses, les huiles, le propylèneglycol, l'éther de pétrole, le chloroforme et l'alcool à 50%. (Chem IDplus 2009).



**Figure 19:** La structure de la BHA

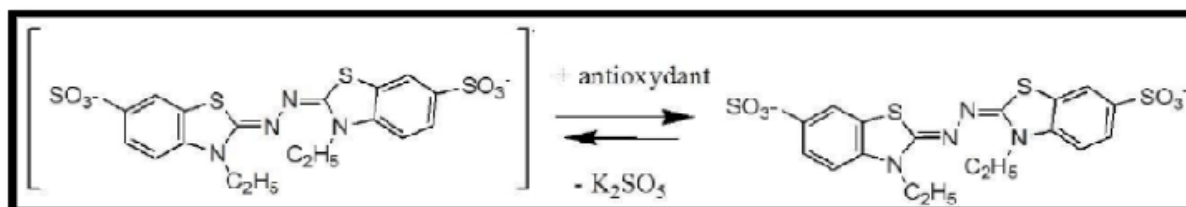
**➤ BHT**

Butyl Hydroxy Toluène (ou 2,6 Di-tert.-butyl-4-methyl-phenol) un antioxydant de qualité alimentaire, cosmétique et pharmaceutique. Poudre cristalline blanche, avec légère odeur spécifique. Il résiste aux fortes températures qui peuvent être atteintes lors de la fabrication du produit, contrairement à certains antioxydants comme la vitamine E. (Thompson et Trush, 1986). Empêche le rancissement dans aliments contenant des graisses par terminaison des réactions en chaîne impliquant des radicaux libres qui sont responsables de la dégradation oxydative des graisses. Peut-être ajouté seul ou en combinaison avec gallates, BHA. (Babu and Wu 2008)

**IV -3- Dosage de l'activité anti-radicalaire par le test ABTS +•****IV -3-1- Principe du test**

ABTS ou acide 2,2'-azinobis-(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique) est un cation radicalaire libre et stable très utilisé pour l'évaluation du pouvoir antioxydant des fluides biologiques, des mélanges complexes ou bien des composés purs (Rice-Evans et Miller, 1994 ; Rice-Evans et *al.*, 1995).

L'ABTS formé par oxydation en présence de persulfate de potassium pour donner une solution colorée en vert-bleu (Re et *al*, 1999) (Figure 20). La réaction est suivie par spectrophotométrie selon la variation de spectre d'absorption à 734 nm, les résultats enregistrés ont permis de calculer le taux d'inhibition des différents extraits. (JIRI et *al*, 2010).



**Figure 20 :** La réaction chimique de l'ABTS (adapter par Pannala et *al.*, en 2011)

#### IV -3-2- Préparation de la solution d'ABTS

Le radical ABTS•+ est produit par l'oxydation de l'ABTS (7 mM), par le persulfate de potassium (2,4 mM). Ces deux solutions ont été mélangées et conservées 16 heures à l'obscurité et à température ambiante. Le mélange obtenu a été dilué avec le méthanol afin de parvenir à une absorbance de  $0,7 \pm 0,02$  à 734 nm.

##### ➤ Procédure

Un volume de 160  $\mu$ l de la solution de l'ABTS a été ajouté à 40  $\mu$ l de la solution d'extrait dissout dans le méthanol à différentes concentrations, Après incubation 10 minutes à température ambiante et à l'obscurité, l'absorbance est mesurée à 734 nm. Les tests sont pratiqués en triplicata. Le pourcentage de l'activité anti radicalaire de l'ABTS a été calculé comme suit :

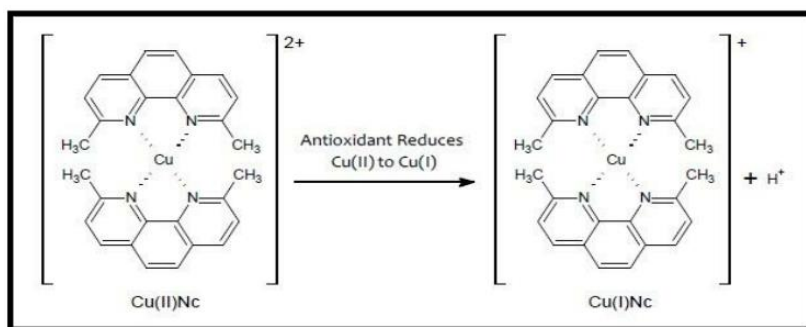
$$\% \text{ d'inhibition} = \frac{A \text{ control}}{A \text{ extrait}} * 100$$

#### IV -4- Test de la capacité anti-oxydante par réduction de cuivre (CUPRAC)

##### IV -4-1- Principe du test

Cette méthode a été développée par Apak et *al* en 2004. Le Test de la capacité anti-oxydante par réduction de cuivre CUPRAC (cuivrique Réduire Anti-oxydant Capacity) est une méthode de mesure du potentiel antioxydant utilisée pour une grande variété de polyphénols, y compris les acides phénoliques, les acides hydroxy cinnamiques, flavonoïdes, les caroténoïdes, les anthocyanines, ainsi que pour des thiols et les antioxydants synthétiques, les vitamines C et E (Özyürek et *al*, 2011).

Le principe de ce test se base sur la conversion des hydroxyles phénoliques en quinones à travers la réduction du complexe  $\text{Cu}^{+2}$ -Nc (Figure 21), produisant ainsi un complexe chromogène de  $\text{Cu}^{+2}$ -Nc qui absorbe à 450 nm.



**Figure 21:** Réduction du complexe chromogène de  $\text{Cu}^{+2}$ -Nc.

Le protocole de dilution des extraits et du standard (BHA) et celui utilisé pour l'activité ABTS.

#### IV -4-2- Procédure

Dans une plaque de 96 puits, 40  $\mu\text{L}$  de l'extrait ont été ajoutés à 60  $\mu\text{L}$  de tampon acétate d'ammonium (1M, PH=7), 50  $\mu\text{L}$  de Néocuproïne (7,5 mM) et 50  $\mu\text{L}$  de  $\text{CuCl}_2$  (10 mM). Le mélange est incubé durant une heure du temps, l'absorbance a été enregistrée à 450 nm, à l'aide d'un lecteur de microplaque. Les résultats de l'activité antioxydant ont été calculés à titre de  $\text{A0.5}$  ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ ).

Les valeurs de  $\text{CI}_{50}$  sont calculées par la méthode de régression linéaire à partir de la courbe [% inhibition = f (concentrations)].

#### V- Etude qualitative et nutritionnelle :

##### V -1- Dosage des lipides totaux :

L'objectif de cette technique est de déterminer la quantité de lipides totaux dans un échantillon d'algue brune étudiée.

##### V -1-1- Principe :

Cette technique repose sur le principe d'une extraction à froid des lipides par un mélange de solvant chloroforme / méthanol (2/1 ; v/v). L'addition d'une solution aqueuse de NaCl à 0.58 % permet la séparation des phases.

La phase supérieure constituée de méthanol et d'eau, contient les composés hydrophiles (glucides et protéines) dont la dissolution est favorisée par la présence de sel, tandis que les lipides sont dissous dans la phase organique inférieure. La pesée du ballon contenant l'extrait

lipidique après évaporation du solvant permet de calculer la teneur en lipide exprimée en g par 100g d'échantillons.

#### V -1-2- Mode opératoire (Figure 22, 23) :

- 1- 10g de l'échantillon de d'algue préalablement découpé en petits cubes sont mis en présence de 60 ml de réactif de **folch (méthanol+chloroforme)** et broyés à l'aide d'un homogénéisateur (type ultra Thurax ou broyeur MSE) pendant 3 minute.
- 2- Le mélange obtenu est filtré à travers un verre fritté.



**Figure 22:** Pesée et filtration du mélange

Ce filtrat est versé dans une ampoule à décanter. La séparation des phases d'effectue avec la solution de chlorure de sodium (NaCl) à 0,73 % à raison de 1 volume de NaCl pour 4 volumes de filtrat. Une saturation de deux mélanges est obtenue : méthanol/eau et chloroforme/lipide. Ces deux mélanges sont agités et laisser décanter environ 2 heures. Après décantation, les phases apparaissent incolores, limpides et séparées par un ménisque. La phase inférieure (chloroforme/lipide) filtrés sur sulfate de sodium ayant la propriété d'absorber l'eau est recueillie dans un ballon à col rodé préalablement pesé.



**Figure 23 :** la séparation des deux phases

La phase supérieure (méthanol/eau) est rincée à l'aide de 50 ml d'un mélange à 20 ml de NaCl concentré à 0,58 % et 80 % de méthanol + chloroforme de façon à extraire le reliquat des lipides apparaissant à l'issue de cette opération. La phase inférieure est alors filtrée et le

chloroforme évaporé sous vide (Figure 24). Le poids net des lipides ainsi mis à sec est obtenu par différence entre le poids du ballon contenant la matière grasse et celui du ballon vide.



**Figure 24 :** Le poids des ballons vide et plein

- Le pourcentage des lipides totaux peut être déterminé par la formule suivante :

$$MG(\%) = \frac{P_2 - P_1}{P_E} \times 100$$

Sachant que :

**P<sub>2</sub>** : poids du ballon contenant les lipides.

**P<sub>1</sub>** : poids du ballon vide.

**P<sub>E</sub>** : prise d'essai.

#### **V -2- Détermination des protéines brutes (méthode de KJELDAHL 1883) :**

Le processus de KJELDAHL, 1883 est la méthode la plus utilisée pour déterminer les protéines brutes (Figure 25).



**Figure 25 :** Appareil de KJELDAHL

La teneur en protéines brutes contenue dans le produit est obtenue en mesurant la teneur en azote total dans l'échantillon multiplié par le facteur empirique 6,25.

**V -2-1- Principe de la méthode :**

Le principe de la méthode de KJELDAHL se divise en trois étapes :

- Minéralisation de la matière organique par l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur de cuivre pour convertir l'azote totale  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,

Libération du  $\text{NH}_3$  de l'échantillon minéralisé en ajoutant du  $\text{NaOH}$  en excès et distillation à vapeur de cette ammoniaque à l'acide borique.

-détermination du  $\text{NH}_3$  libéré par titrage avec l'hydroxyde de sodium

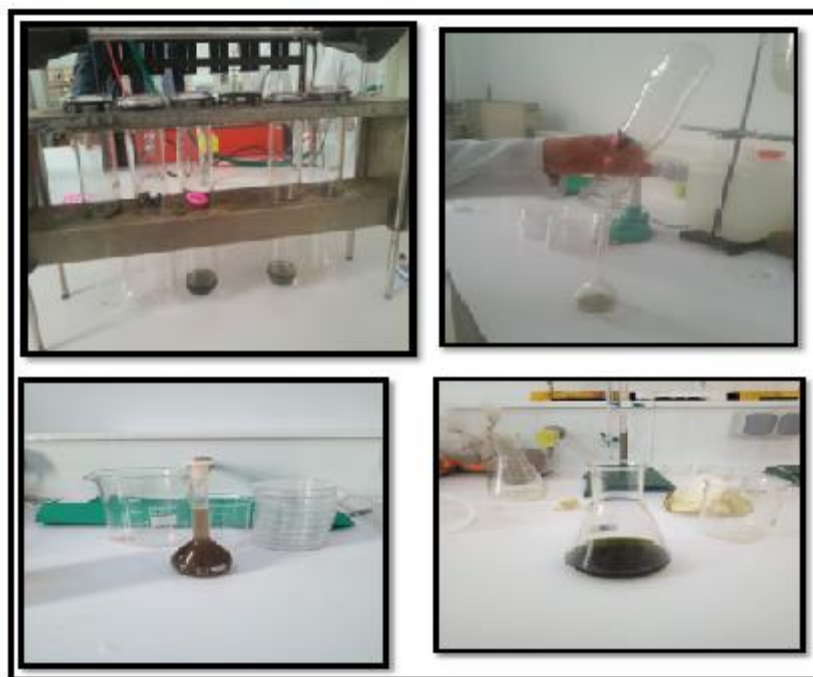
- **Réactifs et appareillage :**

Tous les réactifs doivent être de qualité analytique reconnue. L'eau utilisée doit être de l'eau distillée et les réactifs utilisés sont :

- \* sulfate de potassium.
- \* catalyseur.
- \* Acide sulfurique.
- \* sélénium
- \* Hydroxyde de sodium
- \* Acide borique
- \* Solution du titrage (hydroxyde de sodium).

**V -2-2- Mode opératoire :****V -2-2-1- Minéralisation de la matière organique (Figure 26):**

- \* peser 0.25 g de l'échantillon et introduire cette prise d'essai dans un ballon à minéralisation de Kjeldhal.
- \* Ajouter 20ml d'acide sulfurique pour 5 g de catalyseur ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ )
- \* Chauffer le ballon tout d'abord doucement pour éviter le débordement de la mousse.
- \* Chauffer avec modération, en agitant de temps en tournant jusqu'à carbonisation de la masse et disparition de la mousse, chauffer ensuite plus fort jusqu'à ébullition régulière du liquide, et arrêter le chauffage quand la couleur verte apparaisse.
- \* Transvaser le liquide dans une fiole de 100ml et ajuster au trait de jauge.



**Figure 26 :** Etape de la minéralisation de la matière organique

#### V -2-2-2- Distillation de l'ammoniaque (Figure 27):

\* prélever un volume  $v$  (20ml) du distillat et transvaser se liquide dans un ballon à deux cols rodés. Y ajouter 40ml de NaOH à 30% et fermer immédiatement.

\* A l'autre bout de réfrigérant on place un bécher qui contient 20ml d'acide borique à 4%.

\* lancer le chauffage du ballon pour distiller l'ammoniaque. Ce dernier sera piégé dans l'acide borique qui se colore en bleu (signe de présence d'ammoniaque).

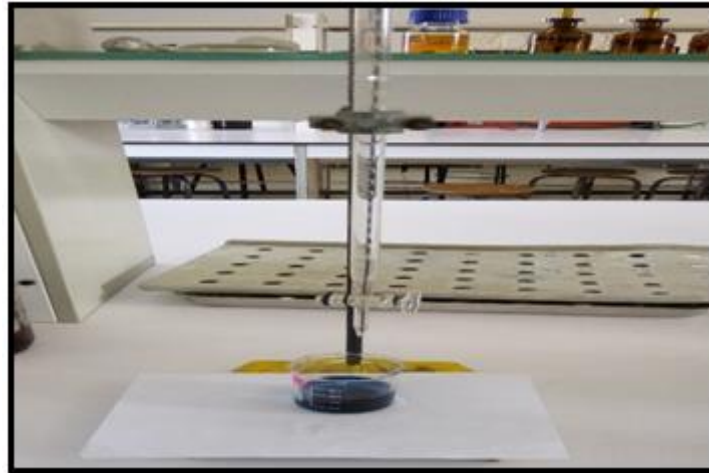


**Figure 27:** Distillation de l'ammoniaque

**V -2-2-3- Titrage (Figure 28):**

Titre ce distillat avec de l'acide sulfurique N/20 jusqu'à la couleur de départ (grenade).

Noter le volume de la burette v0



**Figure 28:** titrage de distillation avec acide sulfurique

**V -2-3- Calcul de la teneur en azote :**

La teneur en azote est exprimée en pourcentage en masse du produit :

$$N(\%) = (v_0 - v_1) \times T \times 0.14 \times 100 / m$$

Avec :

**V0** : le volume de l'acide sulfurique utilisé pour l'essai à blanc.

**V1** : le volume de la solution d'acide sulfurique pour la détermination

**T** : la normalité de la solution d'acide sulfurique utilisé pour le titrage

**M** : la masse en gramme de la prise d'essai

➤ **Calcul de la teneur en protéines brutes :**

Calculer la teneur en protéines brutes du produit en multipliant par le facteur **6.25** la teneur en azote.

**V -3- La teneur en eau :**

La teneur en eau des aliments d'origine végétale est la perte de la masse obtenue par séchage, elle est déterminée selon un mode opération spécifique.

**V -3-1- Principe de la méthode :**

La détermination de la perte de masse par se fait dans des conditions spécifiques dépendant de la nature de l'échantillon.

**V -3-2- Mode opératoire :**

On prend une quantité importante de l'échantillon étudié (20 g ) qu'on met dans l'étuve à 40° C pendant 24 heures, et faire des pesées a répétition a l'aide d'une balance électrique jusqu'a stabilisation du poids total du poids de l'échantillon

**➤ Mode de calcul :**

$(\text{Poids frais} \times \text{poids sèche} / \text{poids frai}) \times 100$

**V -4- Détermination des cendres brutes :**

La méthode permet la détermination de la teneur en minérale par incinération de produit à 550°C 5 (LAB23 I-MET006-Cendres brutes v 11 2013-02-01-3/5).

**V -4-1- Principe de la méthode :**

Ce principe consiste a la décomposition de la matière organique par incinération, puis la pesé des cendres brutes obtenues.

**V -4-2- Mode opératoire :**

On procède comme suit :

- Peser les creusets vides.
- Peser 5 g d'échantillon.
- Mettre 5g dans les creusets et peser à la 2eme fois.
- Mettre les creusets dans un four à moufle 550°c/2h et 30min.
- Laisser les creusets dans un dessiccateur 45min pour le refroidissement.
- En fin peser les creusets.

**➤ Mode de calcul :**

Le calcul se fait par la formule suivant

$$(\%) = (P2 - P1) / PE \times 100$$

Avec :

**P1** : poids de creuse vide.

**P2** : poids de creuse vide avec l'échantillon après séchage.

**M** : la masse de l'échantillon

CHAPITRE III :  
RÉSULTATS ET DISCUSSION

### 1- Rendement des extraits :

Les rendements des fractions des extraits des algues (Figure 29), ont été calculés selon la formule suivante :

$$\text{Rdt \%} = (p1 - p2) / p3 \times 100$$

Sachant que:

**P1** : poids du ballon après lyophilisation

**P2** : poids de ballon avant lyophilisation

**P<sub>E</sub>** : Poids de l'échantillon algal sec.



**Figure 29** : poids des ballons d'extraction

Dans ces types de valorisations, la valeur en rendement sec d'extraction peut varier dans la même espèce d'algue étudiée selon la période d'échantillonnage comme dans le cas où elle est prélevée en période hivernale ; mais aussi repose sur plusieurs facteurs à savoir température d'extraction, de la matière végétale initiale et l'humidité (Wattiaux, 1994). Ceci est confirmé par l'étude de (Ghezzen, 2014) qui a constaté après un suivi de l'évolution du rendement en extrait brut durant une année une diminution significativement plus faible en rendements bruts entre Janvier (11,235 %) et Avril (5,696 %) pour une même espèce d'algue *Sargassum vulgare*.

Selon Michel et *al.* (2012), le rendement des extractions par des solvants de polarité croissante dépend de la nature du solvant utilisé et des propriétés chimiques des molécules à extraire. De même, la méthode d'extraction (macération, décoction, infusion) joue également un rôle important dans la détermination du rendement ainsi que la composition chimique des extraits préparés (Tefiani, 2015).

## 2- Dosage des Composés Phénolique :

L'objectif est de déterminer le contenu en Polyphénols totaux et en flavonoïdes totaux dans les trois algues : *U. lactuca*, *Sargassum vulgare* et *Coralline officinale*.

Selon Trabelsi et *al.* en 2010, il est difficile de comparer les différents résultats avec ceux de la bibliographie car l'utilisation de différentes méthodes d'extraction, réduisent les possibilités de comparaison entre les études .

Des études récentes ont montré que les teneurs en composés phénoliques et surtout le Polyphénol, changent de façon considérable d'une espèce à une autre et à l'intérieur de la même espèce, à cause des facteurs extrinsèques (température, climat...), génétiques (la variété et l'origine d'espèces), physiologiques (le degré de maturation des algues, les organes utilisés) et de la durée de stockage (Maisuthisakul et *al.*, 2007; Ksouri et *al.*, 2009).

### 2-1- Taux de Poly-phénols totaux dans l'extrait d'algue :

La teneur en poly-phénols totaux est déterminée à partir de l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage exprimée en  $\mu\text{g}$  équivalent d'acide gallique (mg EAG) par g de la matière sèche (MS)

D'après les résultats de la littérature, nous remarquons que la teneur en phénols totaux dépend de la variété du système de solvants d'extraction et du type d'extraction, nous avons résumé au niveau du tableau 7 les résultats de Benyekkou A et *al.* 2019 et Mermoul K et *al.* 2018,

**Tableau 7:** Résultats de dosage de phénols totaux

	Extraits	Chloroforme $\mu\text{g}$ EqAG/mg	Aqueux $\mu\text{g}$ EqAG/mg	Méthanol $\mu\text{g}$ EqAG/mg
Algues vertes	<i>Ulva lactuca</i> (Mermoul K et <i>al.</i> 2018)	38,47	9,47	52,67
	<i>E. compressa</i> (Oucif. H, 2019)	-	2,80 $\pm$ 0,07	14,47 $\pm$ 0,60
Algues brunes	<i>Sargassum vulgare</i> (Mermoul K et <i>al.</i> 2018)	158,750	139,050	10,520
	<i>Cystoseira stricta</i> (Oucif. H, 2019)	-	20,42 $\pm$ 0,43	66,89 $\pm$ 3,17
	<i>C. compressa</i> (Oucif. H, 2019)	-	13,96 $\pm$ 0,57	24,87 $\pm$ 2,07
Algues rouge	<i>C. elongata</i> (Oucif. H, 2019)		28,20 $\pm$ 0,40	25,67 $\pm$ 0,07
	<i>Coralline Officinale</i> (Benyekkou A et <i>al.</i> 2019)			118.07

En effet, indépendamment du système de solvants les résultats ont montrées que les extraits d'algue brune *Sargassum vulgare*, sont les plus riches en phénols totaux.

Les extraits d'algue verte *Ulva lactuca*, avec le même système solvant, renferment moins de phénols dans les extraits suivant chloroforme 38.47 $\mu$ gEqQG/mg, méthanol 52.67  $\mu$ gEqQG/mg et aqueux 9,47  $\mu$ gEqQG/mg.

La rhodophycée *Coralline officinalis* renferme une quantité importante de polyphénols qui est 118.07  $\mu$ gEqQG de broyat.

Ces résultats, pour l'extrait de l'algue brune, ne sont en accord avec l'étude d'Abdille et *al.*, (2005), qui indique que les extraits algale méthanoliques sont les plus riches en composés phénoliques.

### 2-2- Flavonoïdes totaux :

La teneur en flavonoïde est déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage à la Quercétine. La teneur en flavonoïdes enregistrée dans cette étude est de 48.44  $\mu$ g EQ/mg extrait, ce résultat est en accord avec d'autres travaux où ils ont trouvé qu'il existe seulement peu données concernant le contenu en flavonoïdes dans les algues marines (Meenakshi and Gnanambigai, 2009 ; Sava and Sirbu, 2010 ; Zeng *et al.*, 2001).

Il existe peu de travaux sur le contenu en flavonoïdes dans les algues marines (Meenakshi and Gnanambigai, 2009; Sava and Sirbu, 2010; Zeng *et al.*, 2001).

Le tableau 8 englobe les résultats des deux auteurs précédant, ces études rapportent que l'espèce *Ulva lactuca* contient des teneurs variant entre (40.46 comme valeur maximal pour l'extrait de chloroforme et une valeur minimale de 4.39  $\mu$ g EQ/mg pour l'extrait de méthanol), alors que l'espèce *Sargassum vulgare* présente des teneurs variant entre (8.85 pour l'extrait méthanolique et 3.99  $\mu$ g EQ/mg pour l'extrait aqueux ; Notons toute fois que *C. officinalis* est riche en phénols totaux (118.07  $\mu$ g EA/mg extrait) par rapport les flavonoïdes totaux (48.44  $\mu$ g EQ/mg extrait).

Selon (Ravel *et al.*, 2005), les méthodes de conservation et d'exposition à la lumière des algues peuvent affecter la teneur en flavonoïdes. Par ailleurs, il est rapporté que les teneurs en flavonoïdes dans les algues marines varient pour plusieurs raisons à savoir l'espèce, la saison et ainsi que les conditions géographiques (Sarojini *et al.*, 2012).

**Tableau 8:** Résultats de dosage des flavonoïdes.

	<b>Extraits</b>	Chloroforme µgEQ/mg	Aqueux µgEQ/mg	Méthanol µgEQ/mg
Algues vertes	<i>Ulva lactuca</i> (Mermoul K et al. 2018)	40.46	5.36	4.39
	<i>E. compressa</i> (Oucif. H, 2019)	-	0,73 ± 0,01	10,11 ± 0,14
Algues brunes	<i>Sargassum vulgare</i> (Mermoul K et al. 2018)	5.6	3.99	8.85
	<i>Cystoseira stricta</i> (Oucif. H, 2019)	-	1,21 ± 0,01	6,31 ± 0,06
	<i>C. compressa</i> (Oucif. H, 2019)	-	1,18 ± 0,01	4,18 ± 0,16
Algues rouge	<i>C. elongata</i> (Oucif. H, 2019)	-	1,16 ± 0,01	5,30 ± 0,24
	<i>Coralline officinale</i> (Benyekkou A et al. 2019)			48.44

Certaines teneurs en flavonoïdes totaux sont supérieures à celles des polyphénols totaux. Cela a été déjà rapporté par Güner *et al.* (2015) et peut être dû à la présence chez les algues de plusieurs composés ayant la même structure chimique que les flavonoïdes ; qui peuvent interférer dans le dosage et donner une surestimation des concentrations en flavonoïdes.

Dans cette étude, l'analyse des flavonoïdes est très importante car c'est une classe de phénols végétaux secondaires possédant une puissante activité anti-oxydante, piégeant ainsi une large gamme d'ERO et inhibant la lipo-péroxydation, ce qui en fait un agent thérapeutique potentiel contre une large variété de maladies (Haddar *et al.*, 2012).

### 3- Évaluation de l'activité anti-oxydante :

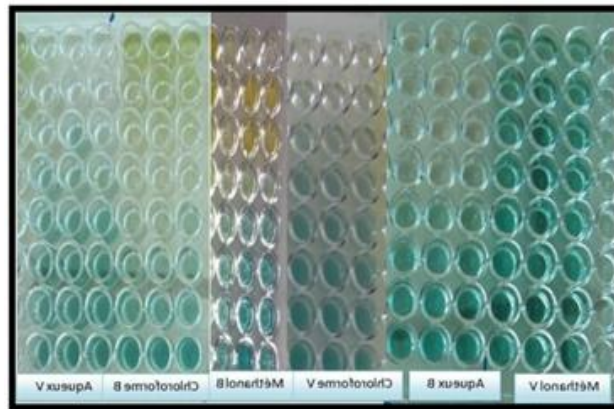
Des nombreuses méthodes sont utilisées pour l'évaluation de l'activité anti-oxydante des composés purs ou des extraits. La plupart de ces méthodes sont basées sur la coloration ou décoloration d'un réactif dans le milieu réactionnel (Neghraoui, 2012).

- L'étude de l'activité anti-oxydante des extraits des deux algues, verte et brune (Mermoul K et al. 2018), est testée selon deux méthodes : piégeage des radicaux libres par le test ABTS, La réduction du complexe cuivre-neocuproéne (méthode CUPRAC).

- Tandis que l'activité anti-oxydante des extraits de l'algue rouge (Benyekkou A et *al.* 2019) est évaluée par deux tests qui sont le test de réduction du radical libre DPPH et la méthode de réduction du fer FRAP.
- L'étude d'Oucif. H, 2019 est évalué par test de réduction du radical libre DPPH

### 3-1- Activité anti-radicalaire par le test ABTS :

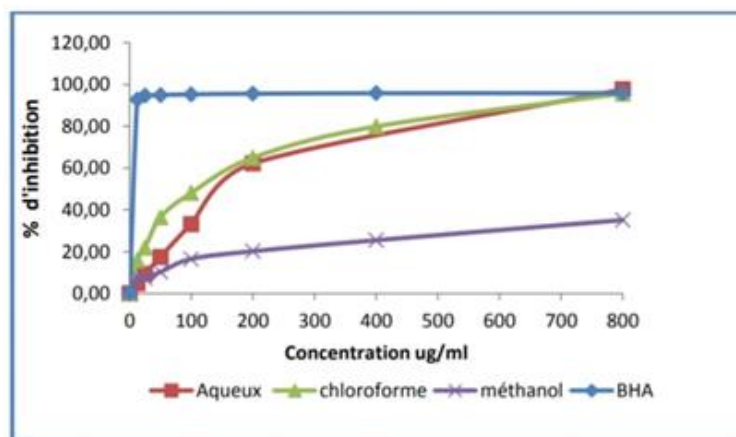
Ce test réagit avec le persulfate de potassium pour donner le radical ABTS<sup>+</sup>, La génération du radical avant l'ajout des extraits est nécessaire afin d'éviter l'interférence des composés dans la formation du radical ce qui conduit à une surestimation de la capacité anti-oxydante (Katalinic et *al.*, 2006). L'ajout de l'extrait ou du BHA entraine une décoloration de la solution indiquant ainsi l'existence d'une activité anti-oxydante des échantillons (Figure 30).



**Figure 30 :** la microplaque de test d'activité anti radicalaire ABTS.

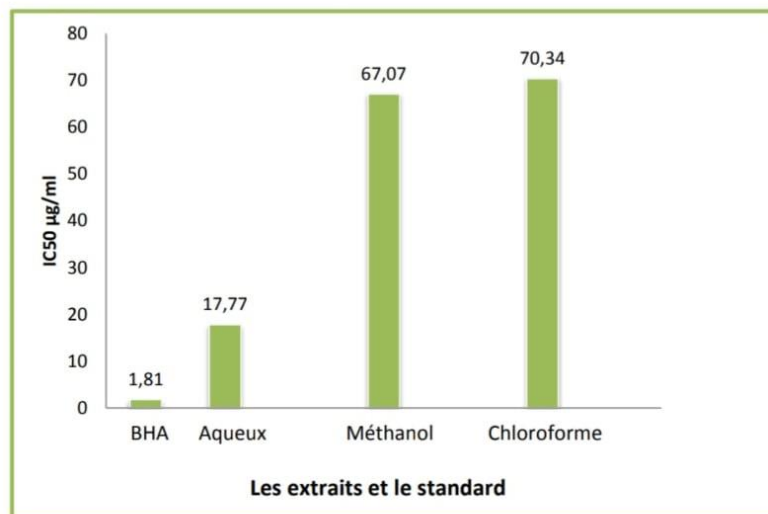
#### 3-1-1- Algue verte *Ulva lactuca* :

Le taux d'inhibition de l'ABTS a été calculer en fonction des différentes concentrations des extraits issues à partir d'algue verte (Figure 31).



**Figure 31 :** Taux d'inhibition de l'ABTS par différent extraits d'algue verte *Ulva lactuca*.

La valeur de l'IC<sub>50</sub> exprimée en  $\mu\text{g/ml}$  a été déterminée à partir de la droite de régression de pourcentage d'inhibition en fonction concentration pour chaque échantillon (Figure 32).



**Figure 32 :** IC<sub>50</sub> de l'algue verte l'*Ulva lactuca*.

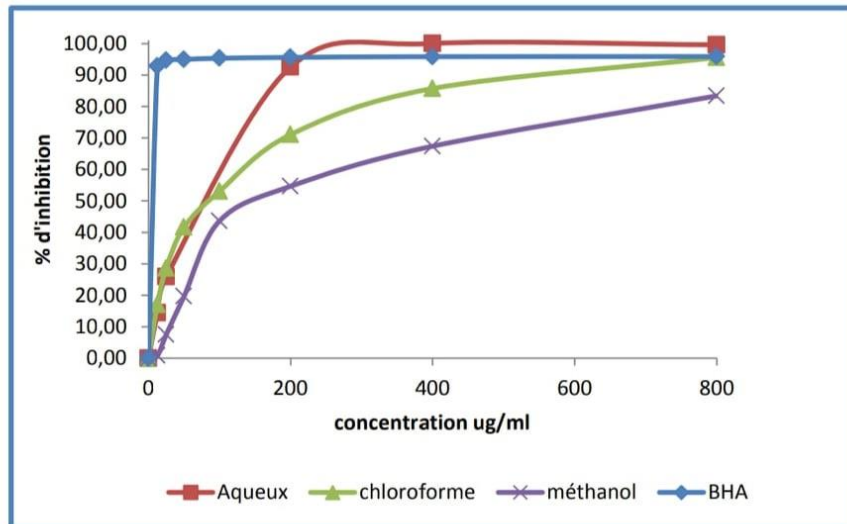
Parmi les extraits testés, les données révélés que l'extrait aqueux est le plus actif avec une valeur d'IC<sub>50</sub> de l'ordre de  $17.77\mu\text{g/ml}$ , suivi par les extraits méthanolique et chloroformique avec une valeur d'IC<sub>50</sub> plus proche de  $67.07\mu\text{g/ml}$  et  $70.34\mu\text{g/ml}$  respectivement.

L'activité anti-radicalaire de l'extrait aqueux des algues vertes est 4 fois plus importante que celle de chloroforme et méthanol. Ceci est due peut être à la méthode d'extraction et aussi à la structure histologique de chaque espèces d'algues (membrane moins rigide).

Cette activité est inférieure que celle de la BHA qui présente une IC<sub>50</sub> égale à  $1.81\mu\text{g/ml}$ .

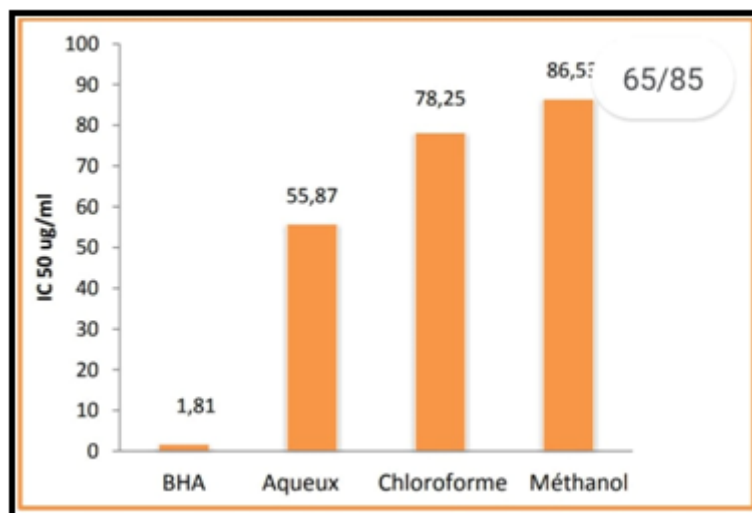
### 3-1-2- Algues brunes *Sargassum vulgare*:

Le taux d'inhibition a été calculé en fonction des concentrations de chaque échantillon testé. Les résultats obtenus à partir des valeurs expérimentales nous permettent, ainsi de calculer les valeurs de l'IC<sub>50</sub> des différents extraits (Figure 33).



**Figure 33 :** Taux d'inhibition de l'ABTS par différents extraits d'algue brune *Sargassum vulgare*.

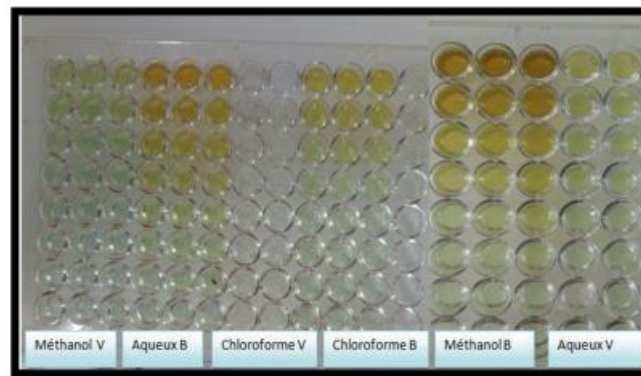
Le taux d'inhibition est comparé avec le BHA des extraits aqueux est de 14.43% pour la concentration minimale (12,5 ug/ml) et un taux de 99.55% pour la concentration maximale 800µg/ml. La valeur d'IC50 (55.87 µg/ml), a marqué une activité plus importante que celle d'extrait méthanolique et chloroformique et moins actif que le BHA 1.81µg/ml (Figure 34).



**Figure 34:** IC50 algue brune *Sargassum vulgare*.

### 3-2- Activité anti radicalaire évaluée par la réduction des ions de cuivre CUPRAC

Le principe de ce test se base sur la conversion des hydroxyles phénoliques en quinones à travers la réduction du complexe Cu<sup>2+</sup>- Nc, produisant ainsi un complexe chromogène de Cu<sup>+</sup>-Nc qu'est absorbé à 450 nm (Figure 35).

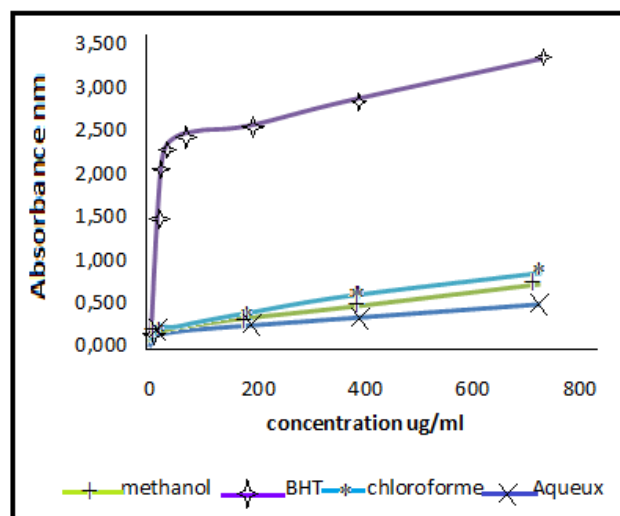


**Figure 35:** La microplaque de test CUPRAC.

Les valeurs IC<sub>50</sub> sont déterminées à partir de la courbe d'absorbance en fonction de la concentration.

### 3-2-1- Algue verte *Ulva lactuca*

Afin d'étudier l'activité anti-radicalaire dans l'espèce algale *Ulva lactuca*, nous avons exprimé nos résultats par une courbe d'absorbance en fonction de la concentration de standard et des extraits étudiés (Figure 36).



**Figure 36:** Taux d'inhibition de l'activité réductrice des ions de cuivre d'algue verte *Ulva lactuca*.

Des ces résultats, on peut déduire que le BHT présente une activité réductrice maximale de cuivre 3.38 % pour une concentration de 800  $\mu\text{g/ml}$ , par contre l'extrait chloroformique montre une capacité de réduction de cuivre remarquable à 0,810 % par rapport à celle du méthanol et de l'extrait aqueux qui sont comparables 0,686 % 0,50 %.

Les valeurs trouvées d'IC<sub>50</sub> qui sont inversement proportionnelles à l'activité anti-oxydante concordent avec les résultats observés dans la Figure 37.

L'extrait chloroformique semble plus actif que l'extrait méthanolique et l'extrait aqueux avec des valeurs d'IC<sub>50</sub> qui passent de 336.91 µg/ml, 540.76 µg/ml et µg/ml 776 respectivement.

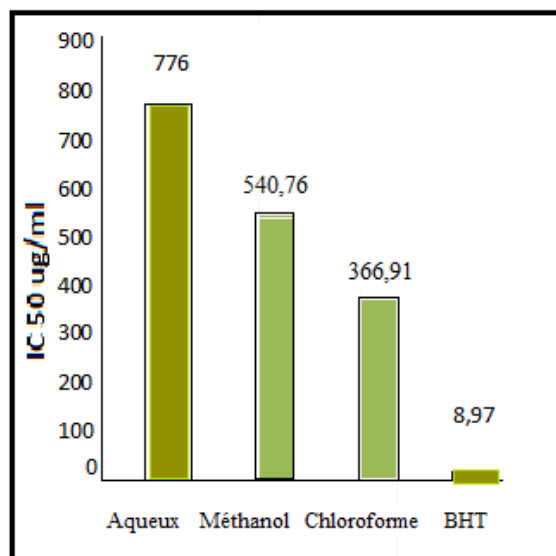


Figure 37 : IC<sub>50</sub> algue verte *Ulva lactuca*.

### 3-2-2- Algue brune *Sargassum vulgare*

Les schémas présentés par les courbes d'absorbance en fonction de la concentration de standard (Figure 38), et des extraits étudiées reflètent des résultats d'IC<sub>50</sub> et traduites sous forme d'histogramme.

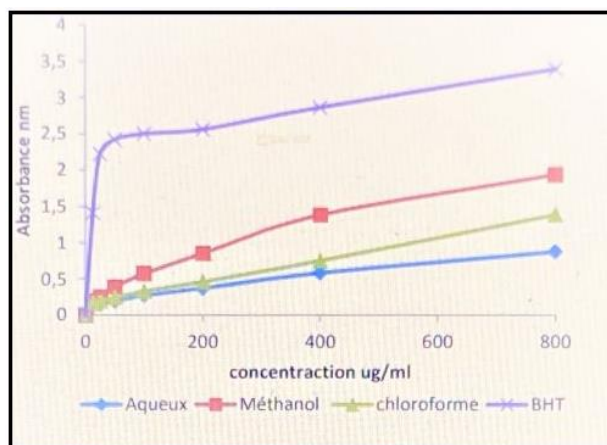


Figure 38: Taux d'inhibition de l'activité réductrice des ions de cuivre d'algue brune *Sargassum vulgare*.

Presque les même taux d'inhibition sont enregistré pour les deux extraits: chloroformique 1.93µg/ml et aqueux 1.38µg/ml et respectivement, et une valeur de 0.87µg/ml pour l'extrait méthanolique (Figure 39).

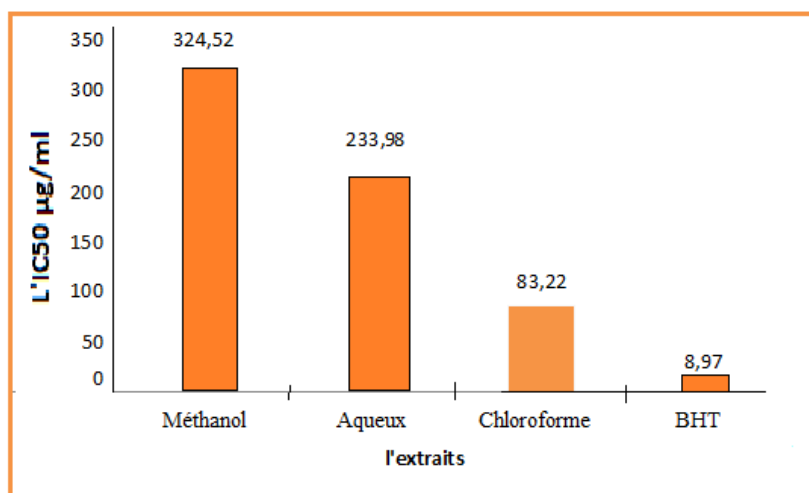


Figure 39 : IC50 d'algue brune *Sargassum vulgare*.

Les valeurs d'IC50 observé pour l'algue brune *Sargassum vulgare* sont variées d'un extrait à l'autre : l'extraits chloroformique a 83.22 µg/ml, l'extrait aqueux à 233.98 µg/ml et l'extrais méthanolique a 324.89µg/ml.

De nombreux chercheurs soutiennent l'hypothèse d'une éventuelle relation entre l'activité anti-oxydante et les composés phénoliques, décrivant ainsi les rapports probables quantité/activité et structure/activité entre eux (Djeridane et al., 2006 ; Balasundram et al., 2006 ; Cho et al., 2007 ; Hayouni et al., 2007).

Es-Safi et al., (2007), ont montré au cours de leurs travaux effectués sur l'évaluation de l'activité anti-oxydante de quelques composés isolés de *Globularia alypum* L. l'existence d'une relation entre le pouvoir antioxydant et la structure des composés phénoliques (position des groupements hydroxyles, degré d'hydroxylation du noyau aromatique et glycosylation de la molécule).

En conclusion, le pouvoir chélateur du cuivre augmente avec la concentration de l'échantillon aussi bien que chez l'algue brune *Sargassum vulgare*, que chez l'algue verte *Ulva lactuca*. Ce qui explique la richesse en phénols et en flavonoïdes totaux.

### 3-3- Test de réduction du radical libre le DPPH

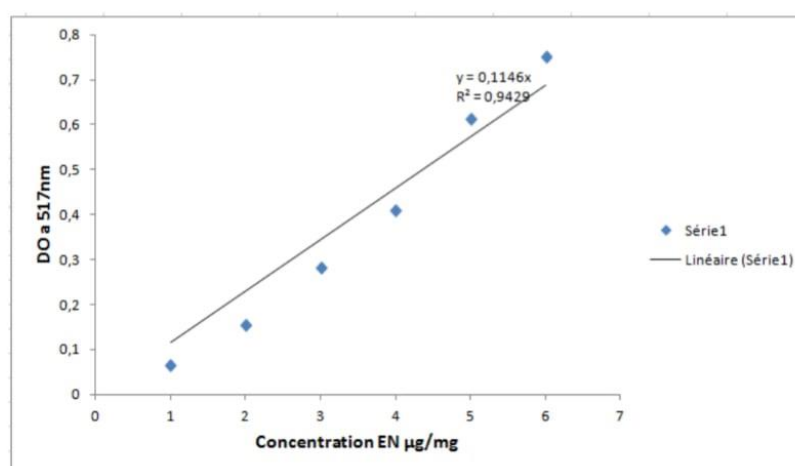
L'analyse de l'activité antioxydante par le test de piégeage du radicale libre DPPH a été intensivement employée dans de nombreuses études car cette méthode peut s'adapter à divers matrices et elle est assez sensible pour détecter les substances actives à de basses concentrations (Sanchez-Moreno, 2002).

### 3-3-1- *C. officinalis*

L'activité anti-oxydante de l'extrait algue rouge est évaluée par deux tests qui sont le test de réduction du radical libre DPPH et la méthode de réduction du fer FRAP.

Dans ce test, le substrat est un radical libre qui, en réagissant avec une molécule anti-oxydante, se transforme en DPPH-H (2,2-diphényl-1-picrylhydrazine) avec perte de son absorbance caractéristique à 517 nm. Les réactions ont lieu à température ambiante et en milieu éthanolique, qui permet une bonne solubilisation de la plupart des antioxydants. Ce test est très utilisé, car il est rapide et facile, Malgré qu'elle soit coûteuse.

L'étude quantitative d'acide ascorbique de l'algue rouge '*C. officinalis*', est réalisée par des dosages spectrophotométrique. La teneur en vitamine C est exprimé en microgramme d'équivalent l'acide ascorbique par gramme d'extrait (Figure 40).



**Figure 40:** Courbe étalon d'acide ascorbique.

#### 3-3-1-1- Calcul des pourcentages d'inhibitions I%

Les résultats du pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par l'extrait méthanolique de l'algue rouge *C. officinalis* sont illustrés dans le Tableau 8 et la Figure 41.

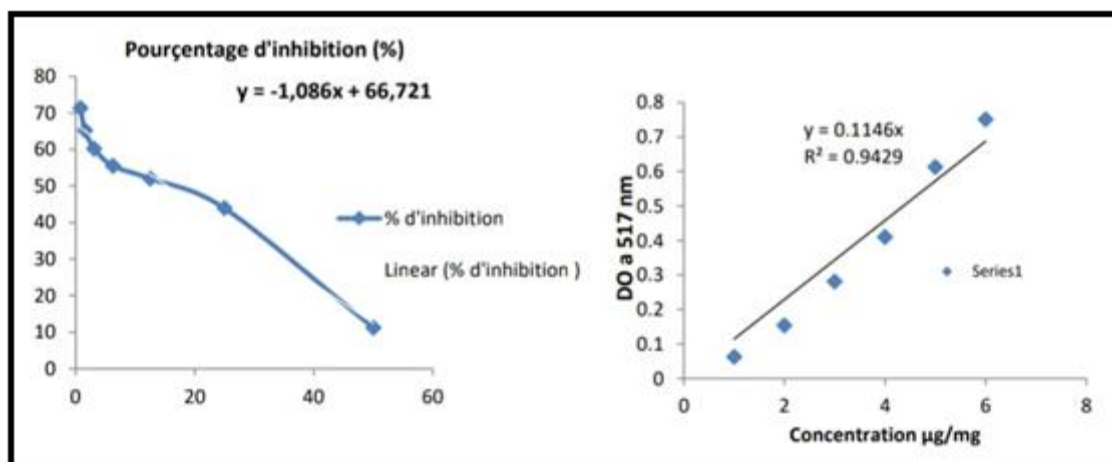
Le pourcentage d'inhibition de l'extrait varie entre 11,2% et 55,5%. Le pourcentage d'inhibition le plus élevé (55,5%) est enregistré avec la concentration de l'extrait méthanolique (6,25µg /ml).

Le calcul des pourcentages d'inhibition se fait par la formule suivante :

$$I\% = ((Ac - At) / Ac) * 100$$

Ac : Absorbance du contrôle négatif.

At : Absorbance de l'extrait.



**Figure 41:** Effet anti-radicalaire des extraits eau-méthanol d'algue '*C. officinalis*' sur la réduction du DPPH effet de l'acide ascorbique.

**Tableau 8:** Les pourcentages d'inhibition de l'extrait méthanolique (teste DPPH) et l'acide ascorbique par déduction de la courbe de pourcentage d'inhibition

<b>Concentrations testées (µg/ml)</b>	50	25	12.5	6.25	3.12	1.56
<b>Pourcentage d'inhibition de l'acide ascorbique (%)</b>	75.1	61.3	41	28.1	15.4	11.2
<b>Pourcentage d'inhibition de l'extrait méthanolique DPPH(%)</b>	11.2	43.9	47.9	55.5	46.7	15.1

Comparativement à la littérature, les travaux de Tefiani (2015), a obtenu le plus grand pourcentage d'inhibition (7%) avec la concentration (1mg/ml). Les valeurs obtenues dans notre étude sont par conséquent très intéressante, vue que si on considère une concentration de l'ordre de 1mg/ml de notre extrait méthanolique, elle va correspondre à un pourcentage d'inhibition de 8.88 %.

### 3-3-1-2- Evaluation de l'IC50

L'IC50 est inversement lié à la capacité anti-oxydante d'un composé, car il exprime la quantité d'antioxydant requise pour diminuer la concentration du radical libre de 50%. Plus la valeur d'IC50 est basse, plus l'activité anti-oxydante d'un composé est élevée.

La concentration de l'échantillon nécessaire pour inhiber 50% du DPPH radicalaire, est calculée par régression linéaire des pourcentages d'inhibition calculés en fonction de différentes concentrations d'extrait préparé.

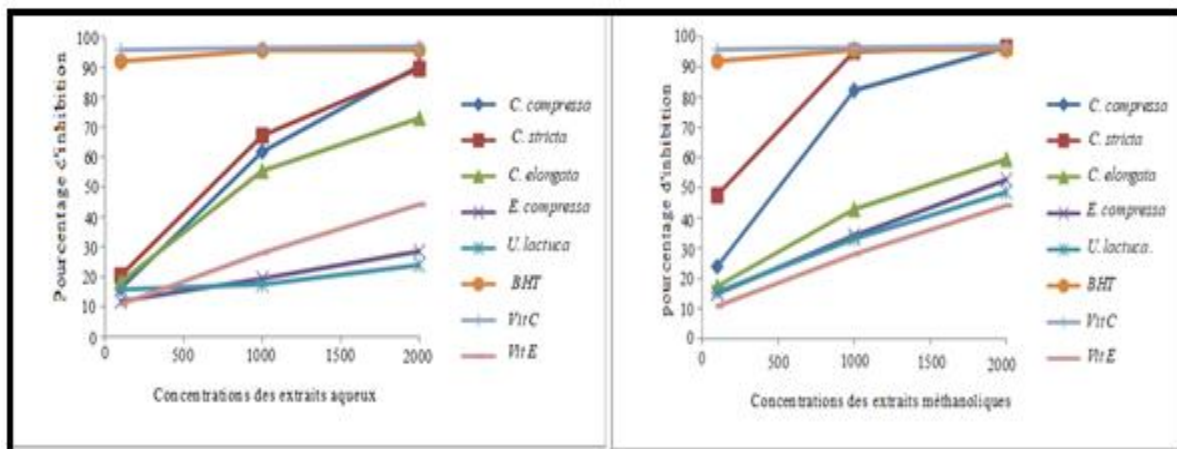
La concentration de l'acide ascorbique qui inhibe 50% du DPPH (IC<sub>50</sub>) est évaluée graphiquement. L'acide ascorbique présente donc un faible (IC<sub>50</sub>), ce qui est en accord avec le pouvoir anti-radicalaire élevé obtenu.

L'IC<sub>50</sub> est déterminée à partir d'une courbe de pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH enregistrée dans cette étude est 153.9 µg /ml, cette valeur reste nettement inférieure à celle de l'acide ascorbique (436.30µg/ml).

### 3-3-2- *C. compressa*, *C. stricta*, *C. elongata*, *E. compressa*, *U. lactuca*

D'après les résultats, l'activité anti-radicalaire est dose-dépendante. La réduction du radical DPPH augmente significativement en fonction de l'augmentation des concentrations des extraits d'algues (Figure). Ce résultat est également rapporté par Ismail & Hong (2002), Cho *et al.* (2011) et Hwang & Do Thi (2014).

En accord avec Sadi (2010), Saidani (2010), Mhadhebi *et al.* (2014) et Güner *et al.* (2015), le genre *Cystoseira* a révélé une forte activité antiradicalaire aux différentes concentrations. En effet, tous les extraits de *Cystoseires* ont révélé un pourcentage d'inhibition de plus de 90% à 1000 et 2000 µg/ml (Figure 42).



**Figure 42:** Evolution du pourcentage d'inhibition des extraits d'algues (EM, EE et EAQ) extrait au soxhlet et des antioxydants standards (BHT, Vit C et Vit E) vis-à-vis du radical DPPH, en fonction de différentes concentrations (Oucif. H, 2019).

Un résultat identique de 92% est observé chez *C. tamariscifolia* à 1000 µg/ml (Custodio *et al.*, 2016). Les espèces étudiées appartenant à ce genre ont enregistré de remarquables IC<sub>50</sub> (*C. stricta*, 83,31 et 98,44 µg/ml) et *C. compressa* (105,17 et 132,41 µg/ml) (Tableau 9).

**Tableau 9:** Concentration d'inhibition (IC50) des extraits d'algues, du BHT, vit C et vit E

Extrait espèces		DPPH IC50 (µg/ml)	
		Extrait Méthanolique	Extrait Aqueux
<i>C. compressa</i>		209,5 ± 3,3	809,9 ± 8,3
<i>C. stricta</i>		105,3 ± 2,6	745,1 ± 4,9
<i>C. elongata</i>		1497,2 ± 4,0	903,3 ± 2,0
<i>E. compressa</i>		1923,6 ± 3,0	3514,9 ± 25,0
<i>U. lactuca</i>		2094,1 ± 3,3	4191,1 ± 10,0
BHT	Témoin +	54,4 ± 5,0	
VIT C	Témoin +	52,2 ± 5,4	
VIT E	Témoin +	2383,5 ± 12,0	

Des résultats similaires sont rapportés chez *C. tamariscifolia* 109,3 (87,3-136,8) µg/ml et *C. usneoides* 55,41 (30,79-99,7) µg/ml (Pinteus *et al.*, 2017) et chez *Cystoseira crinita* 90 et 110 µg/ml et *C. sedoides* 75 µg/ml (Mhadhebi *et al.*, 2011 ; 2014).

Concernant l'algue rouge *C. elongata*, le pourcentage d'inhibition des extraits dépasse les 50% à 2000 µg/ml (Figure 41), pour atteindre un maximum de 76% dans les extraits aqueux (S et M) où des valeurs d'IC50 de 903,34 et 953,83 µg/ml sont observés (Tableau9).

Pinteus *et al.* (2017) ont également enregistré des pourcentages d'inhibitions IC50 comparables chez *C. elongata* et *J. rubens* (1000 µg/ml) et Rico *et al.* (2012) ont rapporté que l'extrait aqueux de *Corallina elongata* a une activité anti-radicalaire supérieure à celle obtenue par l'extrait méthanolique.

En accord avec Parthiban *et al.* (2014), la meilleure activité anti-radicalaire est obtenue chez les espèces du genre *Cystoseira* comparée à celle d'*Enteromorpha compressa*. Chez *U. lactuca* et *E. compressa*, les pourcentages d'inhibitions du radical libre DPPH sont plus faibles à 2000 µg/ml

D'autres résultats sont rapportés par Ganesan *et al.* (2011) et Sabeena Farvin & Jacobsen (2013) chez *E. compressa* (IC50 ; 1890 µg/ml), *E. intestinalis* (1333,3 µg/ml) et *U. lactuca* (1266,7 µg/ml). De plus, cette concentration d'inhibition (IC50) est meilleure que celle chez *E. linza* (3660 µg/ml) et *E. tubulosa* (2910 µg/ml) (Ganesan *et al.*, 2011).

Ces résultats indiquent que la capacité des extraits d'algues rouges et vertes à piéger le radicale libre DPPH est inférieure à celle du contrôle positive le butyl-hydroxytoluène (IC<sub>50</sub> ; 54,42 µg/ml) et la vitamine C (IC<sub>50</sub> ; 52,21 µg/ml). Néanmoins, l'activité anti-radicalaire des espèces du genre *Cystoseira* reste comparable à celle du BHT et la vit C, et la plupart des extraits algaux présentent des capacités anti-radicalaires supérieures à celles de la vitamine E (IC<sub>50</sub> ; 2383,52 µg/ml) (Tableau 9, Figures 42).

Les extraits d'algues brunes *Cystoseira* aux teneurs en phénols totaux les plus élevées ont présenté une forte activité anti-oxydante, ce qui suggère que les polyphénols algaux peuvent être les principaux constituants responsables des propriétés anti-radicalaires de ces extraits.

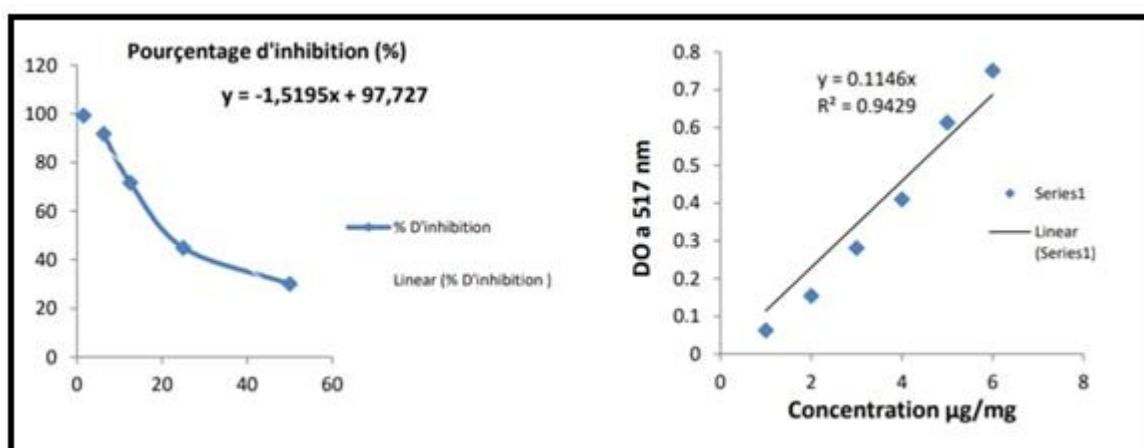
On constate que certains extraits présentant des activités anti-radicalaires très importantes contiennent moins de polyphénols totaux, ce qui confirme que l'activité anti-oxydante de nos extraits n'est pas uniquement liée à leur contenu en composés phénoliques (Heo *et al.*, 2005). En effet, cette activité peut résulter de leurs pigments tels que les chlorophylles et les caroténoïdes, les vitamines (tocophérols, β-carotène, fucoxanthine, acide ascorbique), les protéines telles que la phycoérythrine des algues rouges, les polysaccharides, les phospholipides en particulier la phosphatidylcholine, les terpénoïdes et d'autres substances anti-oxydantes (Shahidi, 2008).

#### **3-4- Test de la réduction du fer FRAP :**

Le pouvoir réducteur pour ce travail a été déterminé selon la méthode d'Oyaizu (1986). Sur la base des données qui représente l'absorbance en fonction des différentes concentrations du standard d'acide ascorbique, ils ont construit la courbe de régression ci-dessous (Figure 43).

La présence des réductants dans l'extrait provoque la réduction de fer Fe<sup>3+</sup> complexe ferricyanide à la forme ferreuse. Par conséquent, Fe<sup>2+</sup> peut être évalué en mesurant et en surveillant l'augmentation de la densité de la couleur bleu vert dans le milieu réactionnel à 700 nm.

Les valeurs de IC<sub>50</sub> correspondant à la concentration qui assure une absorbance de 0,5 et déterminé des graphes de concentration d'extraits en fonction de la DO, ont permis de calculées d'évaluer et comparer l'efficacité des différents extraits, plus la valeur est petite, plus l'effet réducteur du fer est élevé. IC<sub>50</sub> est déterminée à partir d'une courbe de pourcentage d'inhibition de FRAP enregistrée dans cette étude est 31.40 µg /ml, cette valeur reste inférieur à celle de l'acide ascorbique (436.30µg/ml).



**Figure 43:** Effet anti radicalaire d'extraits eau-méthanol d'algue '*C. officinalis*' sur la réduction du Fer effet de l'acide ascorbique.

Les résultats du pourcentage d'inhibition du Test de la réduction du fer FRAP par l'extrait brut méthanolique de l'algue rouge *C. officinalis* sont illustrés dans le Tableau 10 au niveau du quel sont comparés aux pourcentages d'inhibition par un puissant antioxydant (Acide ascorbique) utilisé dans cette étude comme témoin positif

**Tableau 10:** Les pourcentages d'inhibition de l'extrait méthanolique (teste FRAP) et l'acide ascorbique par déduction de la courbe de pourcentage d'inhibition.

<b>Concentrations testées (µg/ml)</b>	50	25	12.5	6.25	3.12	1.56
<b>Pourcentage d'inhibition de l'acide ascorbique (%)</b>	75.1	61.3	41	28.1	15.4	11.2
<b>Pourcentage d'inhibition de l'extrait méthanolique, FRAP (%)</b>	44.9	71.6	85.1	-	91.80	91.9

Le pourcentage d'inhibition de l'extrait varie entre 44, 9% et 91.9%. Le pourcentage d'inhibition le plus élevé (91.9%) est enregistré avec la concentration de l'extrait méthanolique (1,56 µg /ml).

#### 4- La composition biochimique

Nous avons regroupé la synthèse de quelques travaux dans le tableau 11

##### 4-3- Les protéines :

Chez certaines algues vertes et rouges (*Palmaria palmata* et *Porphyra*), les protéines peuvent constituer jusqu'à 35% (Leclerc V., Floc'h J.-Y. 2010) du poids matière sèche.

Chez les algues brunes, la teneur est moindre (5 à 15% matière sèche (1)). Cette teneur est même supérieure à celle contenue chez certaines fabacées (tel que le soja). L'algue la plus

connue pour sa richesse en protéine est la spiruline (microalgue d'eau douce). On retrouve également la plupart des acides aminés essentiels. Seul bémol, ils ne sont pas forcément assimilables par l'organisme humain car les protéines de certaines algues brunes et rouges seraient liées aux polysaccharides pariétaux rendant difficile la séparation entre les molécules et la dégradation par les sucs digestifs. La digestion de ces protéines est améliorée après une macération enzymatique des matières par des cellulases, xylanases ou  $\beta$ -glucanases.

Chez les algues rouges et bleues, il existe des protéines constituant les principaux pigments de ces algues : les phycobiliprotéines. Ces pigments sont formés d'une biline (noyau tétrapyrolique ouvert) auquel est liée une chaîne protéique. De part leur propriétés antioxydantes, certaines de ces phycobiliprotéines pourraient être intéressantes dans la prévention ou le traitement de maladies dégénératives (Leclerc V., Floc'h J.-Y. 2010 ; (1))

#### **4-4- Les lipides :**

Les micro- et macro-algues possèdent (à l'exception des chlorophycées) des complexes élongase-désaturases conduisant à la synthèse d'acides gras polyinsaturés à longue chaîne.

Les algues vertes ont une teneur beaucoup plus élevée en acide oléique ; Les algues rouges ont un taux élevé d'acides gras polyinsaturés à 20 carbones. On trouve des acides gras polyinsaturés à 18 également de l'acide arachidonique.

Quant aux algues brunes, elles ont une distribution en acide gras comparable à celle des algues rouges. Chez certaines microalgues, la teneur en lipides (dont les acides gras essentiels) est supérieure à celle des macroalgues.

#### **4-5- Les pigments**

Il existe quatre types de chlorophylles qui diffèrent par de légères modifications structurales. Ainsi, la chlorophylle a est présente chez les végétaux terrestres et aquatiques. Sa présence est nécessaire au déroulement de la photosynthèse chez toutes les algues photosynthétiques. Chez les Chlorophytes et les Euglénophycées, elle est associée à de la chlorophylle b. Les algues brunes, les Diatomées, les Dinophytes, les Cryptophytes et les Haptophytes, renferment en plus de la chlorophylle c alors que les Cyanobactéries et les Rhodophycées contiennent de la chlorophylle d.

On retrouve chez toutes les algues des caroténoïdes notamment du  $\beta$ -carotène, ainsi que des dérivés oxygénés, les xanthophylles. Ces derniers peuvent être spécifiques de certaines espèces, par exemple on trouve beaucoup de lutéine chez les algues vertes. Toutefois, ces caroténoïdes ne masquent pas la couleur verte car ils ont une proportion relative faible dans les plastes par rapport aux chlorophylles. Certaines algues vertes peuvent apparaître rouge-orangé en raison de la présence dans leur cellule de gouttelettes colorées par l'astaxanthine

(xanthophylle). Chez les algues brunes on retrouve une grande quantité de fucoxanthine. Tous ces pigments sont liposolubles et insolubles dans l'eau.

**4-6- L'eau :**

Elles sont constituées à 90% d'eau, contenue essentiellement dans la vacuole de la cellule, ainsi que dans le cytoplasme et la paroi cellulaire (Leclerc V., Floc'h J.-Y. 2010)

**Tableau 11:** Synthèse de quelques teneurs trouvés chez les algues étudié

Algues Composés	Algues Brunes		Algues Vertes		Algue rouge
	<i>Cystoseira stricta sp</i>	<i>C. compressa</i>	<i>Ulva lactuca</i>	<i>E. compressa</i>	<i>C. elongata</i>
lipides totaux	3,52 ± 0,01 (Oucif. H, 2019)  4% (Berrabah. Y et al., 2018)	3,52 ± 0,01 (Oucif. H, 2019)	1,18 ± 0,01 (Oucif. H, 2019)  5.5% (Chibani. F et al, 2018)	1,15 ± 0,02 (Oucif. H, 2019)	0,66 ± 0,03 (Oucif. H, 2019)
protéines brutes	14,14 ± 0,03 (Oucif. H, 2019) 21% (Berrabah. Y et al., 2018)  Normes : 10 et 21% (Fleurence, 1999)	14,14 ± 0,03 (Oucif. H, 2019)	12,54 ± 0,07 (Oucif. H, 2019)  30.6% (Chibani. F et al, 2018)  Normes : 10 et 21% (Fleurence, 1999)	13,61 ± 0,67 (Oucif. H, 2019)	5,85 ± 0,06 (Oucif. H, 2019)  Norme : 10-47 % MS (Arasaki et Arasaki, 1983 in Fleurence, 1999)
pigment Photo-synthétique	CHla : 0,83 CHlb : 1,70 CHla + CHlb : 5,59 Cart : -0,468 (Berrabah. Y et al., 2018)	-	CHla : 1.89 CHlb : 2.27 CHla + CHlb : 4.19 Cart : -0,95 (Chibani. F et al, 2018)	-	-
cendres brutes	24,61 ± 0,17 (Oucif. H, 2019)  19,4 % (Berrabah. Y et al., 2018)  Norme : 8% et 40% (MacArtain et al, 2007 ; Mabeau et Fleurence, 1993)	24,61 ± 0,17 (Oucif. H, 2019)	27,13 ± 0,35 (Oucif. H, 2019)  22 % (Chibani. F et al, 2018)  Norme : 11% et 19,6% (Yaich et al., 2011 et Ortiz et al., 2006)	26,36 ± 0,28 (Oucif. H, 2019)	76,42 ± 0,22 (Oucif. H, 2019)  Norme : 12 à 36 %
Teneur en eau	23,09 ± 0,20 (Oucif. H, 2019)  64,9 % (Berrabah. Y et al., 2018)	17,61 ± 0,17 (Oucif. H, 2019)	16,53 ± 0,16(Oucif. H, 2019)  15.25 % (Chibani. F et al, 2018)	12,91 ± 0,15 (Oucif. H, 2019)	3,69 ± 0,24 (Oucif. H, 2019)



# CONCLUSION

### Conclusion générale

Les algues marines forment une source intéressante de substances biologiquement actives, telles que les composés phénoliques, les flavonoïdes, les caroténoïdes et les polysaccharides, qui possèdent plusieurs activités biologiques.

Cette étude avait pour but de réaliser une évaluation de l'activité anti-oxydante de l'algue verte *Ulva lactuca*, l'algue *Sargassum vulgare* et l'algue rouge *Coralline Officinale*, ainsi que leurs composition biochimique, mais suite a des contraintes de la pandémie on s'est vue obligé de faire une synthèse de différents travaux sur ces mêmes algues.

Les résultats synthétisés ont montré nettement la richesse des échantillons testés en substances poly-phénolique qui possèdent bien une propriété anti-oxydante intéressante.

Selon (Prior et *al.*, 2005), il n'y a pas une méthode simple et universelle par laquelle l'activité anti-oxydante est évaluée qualitativement et quantitativement. La combinaison de plusieurs méthodes est nécessaire pour réaliser cette évaluation. Les flavonoïdes sont connus par leur capacité à induire la réaction de Fenton et limiter ainsi la production des EOR (Engelmann, 2005). Les résultats variables des activités anti-oxydantes des flavonoïdes seraient dus à leur structure et la présence des groupements hydroxyles (Sharififar et *al.*, 2008).

Toutefois, La méthode d'extraction joue un rôle important dans la détermination du rendement ainsi que la composition chimique de l'extraits préparés .Le rendement d'extrait dépend de la nature du solvant utilisé et des propriétés chimiques des molécules à extraire (Michel et *al.*, 2012).

La composition proximale et lipidique révèle que les teneurs en lipides sont élevées chez les algues brunes. Le contenu en cendres est le constituant majoritaire chez l'algue rouge *C. elongata* (76,42% MS), et *C. stricta*, *E. compressa* et *U. lactuca* montrent les taux de protéines les plus élevés (12,54-14,14% MS).

En conclusion, quantitativement et qualitativement, les algues vertes, brunes et rouges constituent une source substantielle d'anti-oxydants sachant que les brunes sont particulièrement riches en les caroténoïdes, les poly-phénols et flavonoïdes. Un grand nombre d'études a démontré cette richesse et les propriétés anti-radicalaires (Nakamura T, et *al.*, 1996).

## Conclusion

---

À la suite de cette synthèse, il serait intéressant d'étendre l'éventail des tests antioxydants in vitro et in vivo, d'étudier d'autres activités biologiques à savoir les propriétés antimicrobiennes, anti-inflammatoires et antivirales et de caractériser les composés actifs dans les différents extraits testés de cette algue en vue d'identifier les molécules responsables de ces activités.

RÉFÉRENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES

**A**

- **Abdille M.H., Singh R.P., Jayaprakasha G.K., Jena B.S., 2005**- Antioxidant activity of the extracts from *Dillenia indica* fruits, *Food Chemistry*, 90 (4). 891-896.
- **Ainane, T., Abourriche, A., Bennamara, A., Talbi, M., & Lemrani, M. 2015**- Activité anti-leishmanienne des extraits d'une algue brune *Bifurcaria bifurcata* de la côte atlantique du Maroc. *Phytothérapie*, 1-6.
- **Aissaoui O., 2017**- Effet de la spiruline sur le métabolisme glucido-lipidique conception d'un nutraceutique : Ecole nationale supérieure agronomique.
- **Ambrozova, J.V.; Misurcova, L.; Vicha, R.; Machu, L.; Samek, D.; Baron, M.; Mlcek, J.; Sochor, J.; Jurikova, T; 2014**- Influence of extractive solvents on lipid and fatty acids content of edible freshwater algal and seaweed products, the green microalga *Chlorella* .
- **Arasaki, S., and Arasaki, T., 1983** - Low Calorie, High Nutrition Vegetables from the Sea to Help You Look and Feel Better (Vol. 60). Japan Publications, Tokyo. 196p.
- **Ardestani, A. and Yazdanparast, R; 2007**- Antioxidant and Free Radical Scavenging Potential of *Achillea santolina* Extracts. *Food Chemistry*, 104, 21-29.
- **Assoumani M.B., 1997** - AquaMin, natural calcium supplement derived from seaweed. *AgroFood-Industry HiTech*: 45-47.

**B**

- **Bachir Bouiadjra, B., Belbachir, N., Youcef Benkada, M., Maarouf, A. & Riadi, H, 2010**- Sur la présence de l'algue marine *Caulerpa racemosa* (Forsskal) J. Agardh (Caulerpales, Chlorophyta) devant la côte Mostaganemoise (Ouest Algérie). *Acta Botanica Malacitana* 35: 168-171.
- **Benchabane O., 1989**- Etude de la fraction lipidique de *Cystoseira sedoides*: Algue brune endémique des côtes d'Algérie. *Annales de l'Institut National Agronomique El Harrach*, 13: 659-655.
- **Benchabane, O, 1989**- Etude de la fraction lipidique de *Cystoseira sedoides*: Algue brune endémique des côtes d'Algérie. *Ann.Inst. Nat.Agro.El Harrach*. 13, 659,655.
- **Benchabane, O., 1988**- Les algues brunes: source d'additifs alimentaires. *Ann.Inst.Nat.Agro. El Harrach*, 12, 628-633.
- **Bors W. 1990**- Flavonoids as antioxidants: determination of radical scavenging efficiencies. *Methods Enzymol.* 1990; 186: 343-55.
- **Bouakaz I 2006**- Etude phytochimique de la plante *Genista Microcephala*.

## Bibliographie

---

- **Boudiaf K 2006-** Etude des effets anti-xanthine oxydoréductase et antiradicalaires des extraits des graines de *Nigella sativa*. Thèse de magistère. Département de biologie. Université Ferhat abbas. (Sétif) Algérie.
- **Bourkhiss et al., 2010-** Parties de *Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters du Maroc. Bulletin de la société royale des sciences de liège. 141-154.
- **Boyd B., Ford C., Koepke Michael C., Gary K., Horn E., McAnalley S. & McAnalley B., 2003-** Étude pilote ouverte de l'effet antioxydant d'Ambrotose AOTM sur des personnes en bonne santé. *Glyco Science & Nutrition*, 4(6):7.
- **Bravo L, 1998 -** Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition Research* 56:317–33.
- **Bruneton J., 1999-** Pharmiognosie, phytochimie, plantes médicinales, 2eme édition, Paris : Editions médicales internationales, Tec et DocLavoisier. 1120.
- **Bubonja-Sonje M, Giacometti J, Maja Abram M, 2011-** Antioxydant and antilisterial activity of olive oil, Cocoa and rosemary extract polyphénols. *Food Chem* 127: 1821-27.

### C

- **Cavina N, 1999-** Investigation Phytochimique De Trois Plantes Indounisienne Au Propriété Antioxydante et Antiradicalaire .les réactions enzymatiques 23(14) :25-49.
- **Centre d'Etude et de Valorisation des Algues (CEVA), 2011-** Propriétés nutritionnelles des algues alimentaires / Intérêts Nutritionnels / Algues Alimentaires / SCIENCES & TECHNIQUES / S'INFORMER / Home - Algae Technical Research Centre ».
- **Cho M.L., Lee H.S., Kang I.J., Won M.H. & You S.G., 2011-** Antioxidant properties of extract and fractions from *Enteromorpha prolifera*, a type of green seaweed. *Food Chemistry*, 127: 999-1006.
- **Chopin, 1997-** Surveillance de la biodiversité marine, Protocoles de surveillance des algues marines, un rapport du comité de surveillance de biodiversité marine- Atlantic Ecologie science Coopérative, centre des sciences de la mer Huntsman. Editeur: St John, Canada: Université du Nouveau-Brunswick, Centre d'études Littorales et Aquaculture.
- **Chouikhi A., 2013-** Les applications potentielles des macrophages marines et les activités pharmacologiques de leurs métabolites. USTHB-FBS-4th International Congress of the Populations & Animal Communities "Dynamics & Biodiversity of the

terrestrial & aquatic Ecosystems" CIPCA4"TAGHIT Bechar – ALGERIA, 40 p.

- **Cohen. H, T. Maniv, R. Tenne, Y. Rosenfeld Hacoheh, O. Stephan, and C. Colliex, 1999-** Physical Review Letters, American Physical Soc, Volume 80, Number 4, p.782–785.
- **Cornish M.L., Garbary D.J., 2010** - Antioxidants from macroalgae: potential applications in human health and nutrition. *Algae*, **25**(4): 155-171.
- **Crozier A, Del Rio D, Clifford M, 2010-** Bioavailability of dietary flavonoids and angéiologie, d’approvisionnement potentiels. Food and Agricultural Research council Mauritiass,
- **Custódio L., Silvestre L., Rocha M.I., Rodrigues M.J., Vizetto-Duarte C., Pereira H., Barreira L. & Varela J., 2016-** Methanol extracts from *Cystoseira tamariscifolia* and *Cystoseira nodicaulis* are able to inhibit cholinesterases and protect a human dopaminergic cell line from hydrogen peroxide-induced cytotoxicity. *Pharmaceutical Biology*, **54**(9): 1687-1696.
- **Cuvier, G., Valenciennes, A., Latreille, A, 1817-** Le règne animal distribué d’après son organisation. Edition Paris: Fortin, Masson et cie.

### D

- **Darcy-Vrillon B., 1993-** Nutritional aspects of the developing use of marine macroalgae for the human food industry. *Food Science Nutrition*, **44**: 23-35.
- **Dominique B., Dominique D., Patrick D., Marie-Christine., 2005-** Algues et alimentation animale, Algo rythme. 3.

### F

- **FAO, 2014-** La situation mondiale des pêches et de l’aquaculture, SOFIA: 114-115- 116.
- **Farid, Y., Etahiri, S., & Assobhei, O. 2009-** Activité antimicrobienne des algues marines de la lagune d’Oualidia (Maroc) : Criblage et optimisation de la période de la récolte. *J. Appl. Biosci*, **24**, 1543-1552.
- **Favier A, 2003-** Le stress oxydant intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *L’actualité chimique*, (9) :108-115.
- **Fiorucci S. 2006-** Activités biologiques de composés de la famille de flavonoïdes : approches par des méthodes de chimie quantique et de dynamique moléculaire. Thèse de doctorat. Nice.
- **Fisher, W. (1987).** Fiche FAO d’identification des espèces pour les besoins de la pêche (révisionl). Méditerranée et mer noire. Zone de pêche 37, (2).

---

---

## Bibliographie

---

---

- **Fleurence J., 1999.** Seaweed proteins: biochemical, nutritional aspects and potential uses. *Trends in Food Science and Technology*, **101**: 25-28.

### G

- **Ganesan K., Suresh Kumar K. & Subba Rao P.V., 2011-** Comparative assessment of antioxidant activity in three edible species of green seaweed, *Enteromorpha* from Okha, Northwest coast of India. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **12**: 73-78.
- **Garon-Lardiere, S., 2004-** Etude structurale des polysaccharides pariétaux de l'algue rouge *Asparagopsis armata* (Bonne maisoniales). Université De Bretagne Occidentale.
- **Gayral, 1975-** Les algues : Morphologie, cytologie, reproduction, écologie, Ed doin.
- **Géraldine., Céline L., 2009-** Les algues le trésor de la mer. Heds, Haute école de santé, Genève, 1-6.
- **Gould K, Lister C, 2006-** Flavonoid functions in plants ».in : Flavonoids :Chimistry, Biochimistry and applications.,O. Anderson ;Et K.R. MMarkhem.,Ed.CRC Press, pp :8-39,41-74.
- **Guiry, M. D., & Guiry, G. M., 1996-** Algae Base is a data base of information on algae that includes terretrial, marine and fresh water organisms.
- **Güner, A., Köksal, Ç., Erel Ş.B, Kayalar H., Nalbantsoy A., Sukatar A. et Yavasoglu N.U.K., 2015-** Antimicrobial and antioxidant activities with acute toxicity, cytotoxicity and mutagenicity of *Cystoseira compressa* (Esper) Gerloff & Nizamuddin from the coast of Urla (Izmir, Turkey). *Cytotechnology*, **67**: 135-143.

### H

- **Heo S.J., Cha S.H., Lee K.W., Cho S.K. & Jeon Y.J., 2005-** Antioxidant activities of Chlorophyta and Phaeophyta from Jeju Island. *Algae*, **20**: 251-260.
- **Ho, I.S., Hannan, F., Guo, H.F., Hakker, I., Zhong, Y., 2007-** Distinct functional domains of neurofibromatosis type 1 regulate immediate versus long-term memory formation. *J. Neurosci.* **27(25)**: 6852--6857.
- **Hodek P, Trefil P, Stiborova M, 2002-** Flavonoids-potent and versatile biologically.
- **Hu Y, et al. , 2003-** Reduction of Htt inclusion formation in strains of *Saccharomyces cerevisiae* deficient in certain DNA repair functions: a statistical analysis of phenotype. *Exp Cell Res* **291(1)**:46-55.

## Bibliographie

---

- **Hubert, J., 2006-** Caractérisation biochimique et propriétés biologiques des micronutriments du germe de soja: étude des voies de sa valorisation en nutrition et santé humaines (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Toulouse).
- **Hwang E.S. & Do Thi N., 2014-** Effects of Extraction and Processing Methods on Antioxidant Compound Contents and Radical Scavenging Activities of Laver (*Porphyra tenera*). *Preventive Nutrition and Food Science*, 19(1): 40-48.
- **Hillson, C, 1977-** Seaweeds: a color-coded, illustrated guide to common marine plants of the east coast of the united states. Ed : Keystone books: 12,138,139.
- **Holdt SL, Kraan S., 2011-** Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *J Appl Phycol* 23:543–597.

### I

- **Ilknur Z., ZuDogRu YO., Tolgo K., 2015** - Effect of sodium acetate and sodium nitrate on biochemical composition of green algae *Ulva rigida*. *Aquaculture International* 23:1–11.
- **İrkin C., EH L., 2014** - Chemical composition of *Ulva rigida* C. Agardh from the Çanakkale Strait (Dardanelles), Turkey. *J Black Sea/Mediterranean Environment* 20:114-121
- **Ismail, G. A., 2017-** Biochemical composition of some Egyptian seaweeds with potent nutritive and antioxidant properties. *Food Science and Technology (Campinas), (AHEAD)*, 37(2): 294-302.

### J

- **Julie, P., Danielle, L., Daniel, M., 2010** - Algues, filières du futur Livre Turquoise. *adebioihec*: 163.

### K

- **Kadari-Méziane Y., 1994** - Contribution à l'étude de l'impact de la pollution sur la distribution spatio-temporelle des peuplements phytobenthiques dans la baie de Bou-Ismaïl (Algérie). Ph.D. dissertation, ENS, Alger.
- **Ksouri R, Falleh H, Megdiche W, Trabelsi N, Hamdi B, Chaieb K, 1998-** Antioxidant and antimicrobial activities of the edible medicinal halophyte *Tamarix gallica* L and related polyphenolic constituents. *Food Chem Toxicol.* 2009; 47:2083– 91.
- **Kumari A, Yadav SK, Pakade YB, Singh B, Yadav SC, 2010-** Development of biodegradable nanoparticles for delivery of quercetin. *Colloids Surf B.* 80:184–92.

## Bibliographie

---

- **Kelman D., Posner E.-K., Mcdermi K.-J., Tabandera N.-K., Wright P.R. & Wright A.- D., 2012.** Antioxidant activity of Hawaiian marine algae. *Marine Drugs*, **10**(2): 403.

### L

- **Lahaye M., 1991-** Marine algac as source of fibers: determination of soluble and insoluble dietary fibre content in some sea-vegetables. *Journal Sciences Food Agricol.* 54 et 587-94.
- **Laplace-Treyture C., Pelter M.C., Lambert E., Roudriguez S., Vergon J.P., Chauvin C. ; 2014-** Guide pratique de détermination générique des algues macroscopiques d'eau douce et de quelques organismes hétérotrophes. Ministère de l'environnement.13-14.
- **Laughton M. J., Halliwell B. Evans P. J. and Hout J. R. S., 1989-** Antioxidant and pro-oxidant actions of the plant phenolics quercetin. gossypol and myricetin. Effects on lipid peroxidation, hydroxyl radical generation and bleomycin-dépendent damage to D N A. *Biochem. Pharmacol.* 38, 2859-2865.
- **Leclerc V., Floc'h J.-Y., 2010-** Les secrets des algues. [s.l.] : [s.n.], (Carnets de sciences, ISSN 2110-2228).
- **Lhuillier, A., 2007-** Contribution à l'étude phytochimique de quatre plantes malgaches: *Agauria salicifolia Hook.f ex Oliver*, *Agauria polyphylla* Baker (Ericaceae), *Tambouris satrichophylla* Baker (Monimiaceae) et *Embelia concinna* Baker (Myrsinaceae). Thèse de doctorat.
- **Linné, C.V., Gmelin, J.F., Metcalf, C, 1788 -** Caroli a Linné. *Systema naturae per regna trianaturae : secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis.* Lipsiae : impensis Georg. Emanuel.Beer.

### M

- **Coyer JA, Diekmann OE, Serrão EA, Procaccini G, Milchakova N, Pearson GA, Stam WT, Olsen JL., 2011-** Population genetics of dwarf eelgrass *Zostera noltii* throughout its biogeographic range. *Mar Ecol Prog Ser.* 2004a;281:51–62.
- **De l'orient à l'occident: les principaux marchés. Biofutur, 88, 24-29.**
- **Mabeau, S., Vallat, O., & Brault, D., 1990-** Le charme discret des macro-algues ?
- **Macheix JJ, Fleuriet A, Jay-Allemand C, 2005-** Les composés phénoliques des végétaux : un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. Ed. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, p. 4-5.
- **Maisuthisakul M, Da-Silva. M, 2007-** Assessment of phenolics content band free

- radical scavenging capacity of some that indigenous plants. *Food Chem*(100) : 1409- 1418.
- **Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V., Giger-Reverdin, S., Lessire, M., Lebas, F., & Ankers, P., 2016-** Seaweeds for livestock diets: a review. *Animal Feed Science and Technology*, 212, 1-17.
  - **Marfaing H. & Lerat Y., 2007.** Les algues ont-elles une place en nutrition, *Phytothérapie*, **5**: 2-5
  - **Marfaing H., 2017.** Des algues alimentaires pour innover. Présentation CFIA – 8 mars 2017. Centre d’Etude et de Valorisation des Algues 22p.
  - **McCord, J. M., 2000-** The evolution of free radicals and oxidative stress. *The American journal of medicine*, 108(8), 652-659.  
*Medecine sciences: M/S*, 27(4), 405-412.
  - **Mediterraneo AM., 2015 -** *Ulva lactuca*
  - **Meenakshi and Gnanambigai, 2009-** Total Flavanoid and in vitro Antioxidant Activity of Two Seaweeds of Rameshwaram Coast S. Meenakshi, D. Manicka Gnanambigai, Centre of Advanced Study in Marine Biology, Annamalai University, Parangipettai-608 502, Tamil Nadu, India.
  - **Mellouk Z., Benammar I., Krouf D., Goudjil M., Okbi M. & Malaisse W., 2017.** Antioxidant properties of the red alga *Asparagopsis taxiformis* collected on the North West Algerian coast. *Experimental and therapeutic medicine*, **13**: 3281-3290.
  - **Memory H., 2006-** *Biologie Module 1, Diversité des algues et des plantes*: 45
  - **Messyas B. RA., 2010 -** Abiotic factors affecting the development of *Ulva* sp. (*Ulvophyceae*, *Chlorophyta*) in freshwater ecosystems. *Aquatic Ecology* 45:75-87.
  - **Metidji H., Dob T., Toumi M., Krimat S., Ksouri A., Nouasri A., 2015.** *In vitro* screening of secondary metabolites and evaluation of antioxidant, antimicrobial and cytotoxic properties of *Gelidium sesquipedale* Thuret et Bornet red seaweed from Algeria. *Journal of Materials and Environmental Science*, **6**(11): 3184-3196.
  - **Mhadhebi L., Mhadhebi A., Robert J. & Bouraoui A., 2014-** Antioxidant, Anti-inflammatory and Antiproliferative Effects of Aqueous Extracts of Three Mediterranean Brown Seaweeds of the Genus *Cystoseira*. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 13(1): 207-220.
  - **Migdal, C., & Serres, M., 2011-** Reactive oxygen species and oxidative stress.
  - **Milane, H. (2004).** La quercétine et ses dérivés: molécules à caractère prooxydant ou

## Bibliographie

---

capteurs de radicaux libres ; études et applications thérapeutiques. Thèse de doctorat en Sciences Domains: Pharmacochimie, Université Louis Pasteur Strasbourg, France.

- **Mišurcová, L., 2011-** Chemical composition of seaweeds. Handbook of Marine Macroalgae: Biotechnology and Applied Phycology, 171-192.
- **Munoz J., 2011-** Extraction de l'éponge marine *Axinella donnani* et synthèse d'une chimiothèque d'analogues du dispacamide A, Thèse de doctorat, Université Paris sud XI, France.

### N

- **Nakamura H., Kobayashi J. & Hirata Y., 1982.** Separation of mycosporine-like amino acids in marine organisms using reversed-phase high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, **250**: 113-118.
- **Nakamura, T., Nagayama, K., Uchida, K., Tanaka, R. 1996** - Antioxidant activity of phlorotannins isolated from the brown alga *Eisenia bicyclis*. *Fish Sciences*, 62(6): 923-6
- **Nil S., Ali-Mehidi S., Zellal A. & Abi-Ayad S.-M. E.-A, 2016.** Effects of seasons on the yield and quality of agar from *Gelidium sesquipedale* (Rhodophyta) from Mostaganem, Algeria. *African Journal of Biotechnology*, **15**(10): 350-355.

### O

- **Oucif. H, 2019-** Valorisation des algues de la côte Ouest algérienne: potentiel antioxydant et hormonal, Biotechnologie, Production Aquatique et Contrôle de Qualité, Thèse de Doctorat, Université d'Oran.
- **Oucif H., 2011-** Etude de la peroxydation lipidique et de la production d'histamine chez le maquereau commun (*Scomber scombrus*), le chinchard à queue jaune (*Trachurus mediterraneus*) et la crevette rouge (*Aristeus antennatus*) en fonction du temps et du mode de conservation. Thèse de magister. Université d'Oran.
- **Ozanda, P.Y. (1990).** Abrégé des organismes végétaux .les végétaux inférieurs. Ed: Masson .paris .pl8.
- **Ould-Ahmed N., 2015-** Les algues des côtes algériennes. Connaissance, Caractérisation, Conservation et Utilisation. Ph.D. dissertation, ENSA.
- **Ould Ahmed N., Meinesz A., -2007** - First record of the invasive alga *Caulerpa racemosa* on the coast of Algeria. *Cryptogamie, Algologie*, vol. 28, n° 3, p. 303-305.

### P

- **Parthiban C., Saranya C., Somasundaram S.T. & Anantharaman P., 2014-**

## Bibliographie

---

Antioxidant activities of some selected seaweeds From Tuticorin coast, Tamilnadu, INDIA. International Journal of Phytopharmacy Research, 5: 36-41.

- **Percival E., McDowell R.H.** 1967 - Chemistry and Enzymology of Marine Algal Polysaccharides. Von E. Percival und R. H. McDowell. Academic Press, London-New York
- **Perret-boudouresque, M., Seridi H.,- 1989-** Inventaire des algues marines benthiques cl'Algérie. GIS. Posidonie publ., Marseille, Fr.
- **Pinteus S., Silva J., Alves C., Horta A., Fino N., Rodrigues A.I, Mend Pedrosa R., 2017-** Cytoprotective effect of seaweeds with high antioxidant activity from the Peniche coast (Portugal). Food Chemistry, 218: 591-599.
- **Poirier, C., Nadeau D. (1998).** Biologie marine.

### R

- **Remirez D, Gonzalez A, Merino N., 1999** - Effect of phycocyanin in Zymosan-induced arthritis in mice phycocyanin as an antiarthritic compound. Drug Dev Res 48: 70-5.
- **Ruperez P., Saura-Calixto F., 2001** - Dietary fibre and physicochemical properties of edible Spanish seaweeds. Eur Food Res Technol 212: 349–354.

### S

- **Sanchez-Moreno C., 2002-** Review: Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems. Food Sci Technol Int 8:121-137.
- **Sabeena-Farvin K.-H. & Jacobsen C., 2013-** Phenolic compounds and antioxidant activities of selected species of seaweeds from Danish coast. Food Chemistry, 138: 1670-1681.
- **Saidani K., 2010-** Contribution à l'étude de l'activité antimicrobienne et de l'activité antioxydante des extraits méthanoliques de quatres algues marines : *Cystoseira tamariscifolia*, *Padina pavonica*, *Rhodomela confevoides* et *Ulva lactuca* de la côte de Bejaia. Mémoire de Magister. Université Abderrahmane Mira, Bejaia.
- **Sadi H., 2010-** Pouvoir antioxydant de quelques algues marines. Mémoire de Magister.

Université Abderrahmane Mira, Bejaia,

- **Shahidi F., 2008-** Bioactives from Marine Resources. ACS Symposium Series.

## Bibliographie

---

ACS publications, Oxford University Press, Cary, NC, 24-34.

- **Seridi H. 2007.** Étude de la flore algale de l'Algérie. Etude phytosociologique des peuplements algaux photophiles de l'infralittoral supérieur de substrat dur. Ph.D. dissertation, USTHB, Alger.
- **Seridi H., 1990-** Les algues marines benthiques de la baie d'Alger (Cystoseira). Thèse Magister USTHB. Alger.
- **Sirbu R. SC, Ghergic D. L., Passy Mouima N., 2006 -** Caracterisation de Certains Principes Actifs De *Ulva Lactuca* Et *Ulva Rigida* –Algues Vertes Du Littoral Roumain De La Mere Noire. Scientific study and research 2.

### T

- **Tefiani, I., 2015-** Contribution à l'étude phytochimique et à l'effet antioxydant des extraits d'algue verte: *Ulva linza* (Doctoral dissertation, université Abou Bekr Belkaïd-Tlemcen-).

### V

- **Van Antwerpen, P., - (2006).** Contribution à l'étude du pouvoir antioxydant de divers agents d'intérêt thérapeutique: Ciblage du système myeloperoxydase / peroxyde d'hydrogène /chlorure. Thèse de doctorat en Sciences Pharmaceutiques, Académie universitaire Wallonie-Bruxelles.

### Z

- **Zitouni, H., 2015 -** Valorisation nutritionnelle d'algues marines du littoral Algérien chez le ruminant via des méthodes chimiques, biologiques et moléculaires.