

Université Abdelhamid  
Ibn Badis-Mostaganem  
Faculté des Sciences de la  
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس  
مستغانم  
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MER

ET DE L'AQUACULTURE

N°...../SNV/2017

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

M<sup>elle</sup> BENMEHIDI FADÉLA

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN HYDROBIOLOGIE MARINE ET CONTINENTALE

Spécialité: **Exploitation et protection des ressources marines vivantes**

THÈME

CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DE LA COMPOSITION CHIMIQUE ET  
NUTRITIONNELLE D'UNE ALGUE VERTE (*CAULERPA RACEMOSA*) ET  
ROUGE (*CORALLINA ELONGATA*) COLLECTÉES AU NIVEAU DE LA  
CÔTE MOSTAGANÉMOISE

Soutenu le **28/06/2017**

DEVANT LE JURY

Présidente	BOUDEROUA KADDOUR	Pr	Université de Mostaganem
Examineur	BELBACHIR NOREDDINE	MAA	Université de Mostaganem
Encadreur	BELKACEMI Louiza	MCA	Université de Mostaganem

*Thème réalisé au Laboratoire de technologie alimentaire et nutrition*

## Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier le Dieu tout puissant qui m'a donné la force et le courage d'aller jusqu'au bout de mes études.

Merci et mille fois merci, à mes très chers parents pour tout le soutien moral que vous m'avez apporté durant ces dernières années de formation.

Un remerciement spécial pour mon encadreur **M<sup>me</sup> Belkacemi Louiza** Enseignante-chercheur, Laboratoire de technologie alimentaire et nutrition, Faculté des sciences de la nature et de la vie, Université de Mostaganem-Algérie. Qui m'a beaucoup aidé et retenu la longue de la rédaction de ce mémoire et qui m'a orienté avec ses conseils judicieux et surtout merci pour sa patience. Merci pour votre gentillesse, vos précieux conseils et votre soutien à tous les instants, soyez rassuré de ma profonde gratitude et ma respectueuse considération vos qualités scientifiques et humaines resteront à jamais pour moi l'exemple.

Je remercie chaleureusement **Mr : Boudroua Kaddour**. Professeur, au département de l'agronomie à l'université de Mostaganem, de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire. Je le remercie également pour sa compréhension. Trouvez ici l'expression de ma profonde gratitude.

Mes sincères remerciements vont également à **Mr : Belbachir Noredine**, d'avoir accepté de juger et d'examiner ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de mon entière reconnaissance.

Je remercie également de tout mon cœur tous les enseignants qui ont contribué à mon apprentissage depuis mon jeune âge à ce jour, et je leur adresse mes sentiments respectueusement reconnaissant pour tout le savoir qu'ils m'ont prodigué.

Mes remerciements vont également à toute l'équipe de laboratoire de technologie alimentaire et nutrition, Faculté des sciences de la nature et de la vie, Université de Mostaganem-Algérie.

Enfin je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de faire à l'aboutissement de ce modeste travail.

## Dédicaces

À l'aide de Dieu tout puissant, Nous avons pu réaliser ce modeste travail que je dédie : Aux êtres les plus chers qui ont sacrifiés leurs vies pour mon bonheur, qui ont été toujours à mes côtés, dans la joie comme la tristesse, mes parents que j'aime énormément, pour leur soutien durant toute ma vie, que Dieu les protège.

À mon frère Mohamed

À mes sœurs

À toute ma famille.

À mon encadreur M<sup>me</sup> : Dr Belkacemi Louiza

À tout mes amis et ma copine Rachida et la promotion de Master 2 (EPRVM)

Et à ceux qui m'ont donné un coup de main

Et pour tous les proches de mon cœur

Et pour tous ceux qui aiment la science.

# Sommaire

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des figures, des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction	01

## Première partie: Etude bibliographique

### Chapitre I: Généralités sur les algues marines

1. Définition	02
2. Les micros-et les macroalgues	03
2.1. Les microalgues	03
2.2. Les macroalgues	03
3. Les grands groupes des macroalgues marines	04
3.1. Les algues vertes (chlorophycées)	04
3.2. Les algues brunes (phéophycées)	05
3.3. Les algues rouges (rhodophycées)	06
4. Facteurs de répartition les algues	06
5. Production mondiale des algues marines	07
6. Application des algues marines	08
6.1. Dans l'industrie alimentaire	08
6.2. En agriculture	09
6.3. Dans le domaine pharmaceutique et médical	09
6.4. Dans la biotechnologie	09
6.5. Dans le traitement des eaux usées	09

## Chapitre 2

### Description et caractéristiques des algues étudiées :

#### *Caulerparacemosa et Corallinaelongata*

1. <i>Caulerpa racemosa</i>	
1.1. Description	10

1.2. Taxonomie	10
1.3. Distribution	11
1.4. Distribution de <i>Caulerpa racemosa</i> sur le littoral algérien	11
1.5. Ecologie de l'espèce	13
1.5.1. Habitat	13
1.5.2. Température	13
1.5.3. Salinité	14
1.6. Impact et gestion	14
2. <i>Corallina elongata</i>	14
2.1. Caractéristique écologiques des coralinacées	14
2.2. Description de l'algue rouge <i>Corallina elongata</i>	15
2.3. Taxonomie	16
2.4. Caractéristique du taxon (écologie)	16

## Chapitre 3

### Composition chimique et caractéristiques nutritionnelles des macroalgues

1. Les lipides	17
1.1. La longue chaîne AGPI	18
1.1.1. Stérols	19
2. Les protéines	20
3. Les polysaccharides	20
3.1. La composition chimiques et structures des polysaccharides d'algues vertes (chlorophycées)	22
3.2. La composition chimiques et structures des polysaccharides d'algues brunes (phéophycées)	23
3.3. La composition chimiques et structures des polysaccharides d'algues rouges (rhodophycées)	24
4. les éléments minéraux	26
4.1. Calcium	26
4.2. Iode	27
4.3. Le fer	27
4.4. Brome	28
5. les vitamines	28
6. les pigments	29
6.1. Les caroténoïdes	29

6.2.La chlorophylle	29
6.3.Les phycobiliproteines	30
7. les polyphénols	30
8. les fibres	31

## **Partie expérimentale**

### **Matériels et méthodes**

1. Choix de site d'observation	32
1.1. Le littoral de Mostaganem	32
1.1.1. Plage de salamandre	32
2. Collectes des échantillons et conservation	33
3. Techniques analytiques	33
4.1. Détermination de la matière sèche et en eau (AFNOR, 1995)	33
4.2. Détermination de la matière organique et minérale (AFNOR, 1995)	34
4.3. Technique d'extraction des lipides totaux à froid (technique de Folch et al, 1957)	34
a) principe	34
b) Mode opératoire	34
4.4. Dosage des protéines (Lowry, 1951)	35
4.5. Dosage des polysaccharides totaux	36
4.6. Dosage des fibres alimentaire totales	36
4.7. Dosage des pigments (chlorophylle et caroténoïdes)	36

## **Résultats et Discussion**

Composition chimique	
1. Teneur en matière sèche	37
2. Teneur en matière minérale	37
3. Teneur en lipides	37
4. Teneur des protéines	38
5. Teneur des polysaccharides	39
6. Teneur des pigments	40
7. Teneur des fibres	41

### **Discussion**

1. Teneur en matière sèche	43
2. Teneur en matière minérale	43

3. Teneur en lipides	44
4. Teneur des protéines	44
5. Teneur des polysaccharides	45
6. Teneur des pigments	45
7. Teneur des fibres	46

Conclusion	47
------------	----

Références bibliographiques

Annexes

## Liste des figures

<b>Figure 1.</b> L'algue verte <i>Caulerpa racemosa</i> et <i>Ulva lactuca</i>	05
<b>Figure 2.</b> L'algue brune <i>Cystoseira stricta</i> et <i>cystoseira spinosa</i>	05
<b>Figure 3.</b> L'algue rouge <i>Lomentaria articulatala</i> et <i>Corallina elongata</i>	06
<b>Figure 4.</b> Facteur de répartition les algues marines	07
<b>Figure 5.</b> Schéma représentative de <i>Caulerpa Racemosa var cylindracea</i>	10
<b>Figure 6.</b> Première identification de <i>Caulerpa racemosa</i> en Libye en 1991 (flèche) et localisations déterminées depuis (points) en méditerranée et aux îles canaries	11
<b>Figure 7.</b> Localisation géographique de <i>Caulerpa racemosa</i> en Algérie (rectangle en jaune) dans l'Ouest Algérien	12
<b>Figure 8.</b> <i>Corallina elongata</i> (Ellis & Solander, 1786)	16
<b>Figure 9.</b> Schéma d'observation d'une cellule d'algue verte au microscope photonique	23
<b>Figure 10.</b> Schéma d'observation d'une cellule d'algue brune au microscope photonique	23
<b>Figure 11.</b> Schéma d'observation d'une cellule d'algue rouge au microscope photonique	25
<b>Figure 12.</b> Situation géographique de la Wilaya de Mostaganem dans la Mer Méditerranée montrant le Site Etudié	32
<b>Figure 13.</b> plage de salamandre	33
<b>Figure 14.</b> Teneur en matière sèche (/100 g de matière fraîche) et matière minérale (/100g de MS) de <i>Caulerpa racemosa</i> et <i>Caurallina elonguata</i>	37
<b>Figure 15.</b> Teneur en lipides des deux algues <i>Caulerpa racemosa</i> et <i>Caurallina elonguata</i>	38
<b>Figure 16.</b> Teneur en protéines (% de MS) chez <i>Caulerpa racemosa</i> et <i>Caurallina elonguata</i>	39
<b>Figure 17.</b> Teneur en polysaccharides totaux chez <i>Caulerpa racemosa</i> et <i>Caurallina elonguata</i>	40
<b>Figure 18.</b> Teneur des pigments chez <i>Caulerpa racemosa</i> et <i>Caurallina elonguata</i>	41
<b>Figure 19.</b> Teneur des fibres chez <i>Caulerpa racemosa</i> et <i>Caurallina elonguata</i>	41

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 :</b> Différents pigments chez les macrosalgues	04
<b>Tableau 2 :</b> Production mondiale de macro algues marines (FAO, 2010)	08
<b>Tableau 3 :</b> Caractéristiques des colonisations de <i>Caulerparacemosa</i> en Algérie	13
<b>Tableau 4 :</b> Valeur nutritive d'espèces de macroalgues en (%)	17

## Liste des abréviations

CO<sub>2</sub> : Dioxyde de carbone

MM : Matière minérale

MO : Matière organique

MS : Matière sèche

PS: Poids sec

PE : prise d'essai

BSA :(Serum Albumin Bovin)

CE : Corallina elonguata

CR : Caulerpa racemosa

T : température

AGPI : acide gras polyinsaturé

C° : degré Celsius

N : nombre

### Préparation des solutions (Lowry 1951)

- 1) **Solution X** : (1 gr de l'échantillons + 25 ml d'eau physiologie)
  - bien broyer avec le mortier
  - filtrer

N.B/ le broyage se fait au-dessus d'un accumulateur pour préserver les protéines.

- 2) 1 ml de la solution X dans un bécher de 100 ml et compléter avec l'eau distillée en ajustant jusqu'à 100 ml (solution Y).
- 3) On prend les tubes (style tube à essai) et on met 1 ml de la solution Y dans chaque tubes (préserver à  $T=4^{\circ}\text{C}$  pour ne pas dénaturer les protéines).
- 4) Préparation de BSA (0,025 gr de BSA dans 100 ml d'eau distillée).
- 5) Préparation du réactif de Lowry (a+b) :

**Solution a)** NaOH (1gr) et  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  5(gr) dans 250 ml d'eau distillée

**Solution b)**  $\text{CuSO}_4$  (0,125 gr) et Tétrahydrate  $\text{Na}^+ \text{K}^+$  (0,25 gr) dans 25 ml d'eau distillée

- a) Peser 1 gr de NaOH + 5 gr de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  pour préparer une solution de 250 ml
- b) Et 0,125 gr de  $\text{CuSO}_4$  + 0,25 gr de tétra  $\text{Na}^+ \text{K}^+$  pour préparer 25 ml de solution.

**Solution c)** (50 ml de solution a + 5 ml de solution b).

### Préparation du Folin dilué

(5 ml de Folin + 5 ml d'eau distillée)

# INTRODUCTION

# Chapitre I

## Généralités sur les algues marines

## Chapitre 2

Description et caractéristiques des algues  
étudiées : *Caulerpa racemosa* et *Corallina*  
*elongata*

Chapitre 3. Composition chimique et  
caractéristiques nutritionnelles des  
macroalgues.



# PARTIE EXPERIMENTALE

## RESULTATS ET DISCUSSION

## MATERIEL ET METHODES

## CONCLUSION

# ANNEXES

## Résumé

La composition chimique des algues diffère selon l'espèce et l'environnement dans lequel celle-ci croit. L'objectif de cette étude est l'évaluation de la composition chimique de deux algues distinctes : l'algue rouge *Corallina elongata* et l'algue verte invasive *Caulerpa racemosa* en vue de comparer leur potentiel nutritionnel.

Les deux algues ont été collectées au niveau de la plage de Salamandre durant le printemps 2017, triées, lavées puis séchées. Les analyses nutritionnelles ont concerné le dosage des lipides, des protéines, des polysaccharides ainsi que celles des fibres. La chlorophylle totale ainsi que les caroténoïdes ont été déterminés sur la matière fraîche des deux algues étudiées.

Sur la base de l'analyse chimique, les deux algues sont relativement riches en matière minérale, avec un plus haut niveau ( $p < 0,05$ ) chez *Corallina elongata* (28,25%) comparé à *Caulerpa racemosa* (17,25%). Concernant les autres composés, l'algue verte s'avère plus riche en protéines (9,21 % MS) par rapport à l'algue rouge (6,14 % MS) ( $p < 0,05$ ), il en est de même pour les polysaccharides ( $p < 0,05$ ). Concernant le taux de lipides totaux, ils sont comparables ( $p > 0,05$ ) entre les deux algues (respectivement 4,86 % et 4,03 % chez *Corallina elongata* et *Caulerpa racemosa*). Les taux de fibres alimentaires totales étaient également comparables. Le taux de chlorophylle totale chez *Corallina elongata* est 1,3 fois plus élevé par rapport à celui de *Caulerpa racemosa* et les deux algues semblent contenir la même et faible proportion de caroténoïdes.

Enfin, il ressort que l'algue verte *Caulerpa racemosa* présente un potentiel nutritif plus appréciable comparé à celui de l'algue rouge *Corallina elongata*.

Mots clés : *Caulerpa racemosa*, *Corallina elongata*, plage de Salamandre, potentiel nutritionnel

## Abstract

The chemical composition of algae differs depending on the specie and the environment in which it grows. The objective of this study is to evaluate the chemical composition of two distinct algae: the red alga *Corallina elongata* and the invasive green alga *Caulerpa racemosa* in order to compare their nutritional potential.

The two algae were collected at the Salamander beach during the spring 2017, sorted, washed and then dried. The nutritional analyzes concerned the determination of lipids, proteins, polysaccharides as well as those of fibers. Total chlorophyll and carotenoids were determined on the fresh material of the two studiedalgae.

On the basis of the chemical analysis, the two algae are relatively rich in mineral matter, with was at a higher level ( $p < 0.05$ ) in *Corallina elongata* (28.25%) compared to *Caulerpa racemosa* (17.25%). Concerning the other compounds, the green alga appears to be more rich in proteins (9.21% DM) than the red alga (6.14% DM) ( $p < 0.05$ ). Even polysaccharides level was higher in *Caulerpa racemosa* than in *Corallina elongata* ( $p < 0.05$ ). The total lipid content was comparable ( $p > 0.05$ ) between the two algae (4.86% and 4.03% respectively in *Corallina elongate* and *Caulerpa racemosa*). Total dietary fiber levels were also comparable. The total chlorophyll rate in *Corallina elongata* was 1.3 higher than in *Caulerpa racemosa* and both algae appear to contain the same and low proportion of carotenoids.

Finally, it appears that the green alga *Caulerpa racemosa* has a more appreciable nutritional potential compared to that of the red alga *Corallina elongata*.

**Key words:** *Caulerpa racemosa*, *Corallina elongata*, Salamander beach, nutritional potential.

### Introduction

Les algues marines sont utilisées dans le monde depuis des millénaires par les populations littorales pour leurs hautes valeurs nutritives. En effet, elles ont des potentialités nutritionnelles très riches. Ceci se justifie par: la présence d'une fraction minérale variée et abondante, qui constitue un apport important de macroéléments et oligoéléments, des protéines en quantités non négligeables, en général bien équilibrées en acides aminés, un contenu vitaminique varié où la plupart des vitamines sont représentées, une fraction lipidique faible mais, cependant, dans certaines espèces riche en acides gras polyinsaturés et un contenu en fibres ayant des structures variées et originales différentes des fibres des végétaux terrestres.

Les algues constituent aujourd'hui un enjeu majeur de développement économique. Les principales substances extraites sont les polysaccharides de la famille des agars, des carraghénanes et des alginates dont les propriétés physicochimiques, gélifiantes ou stabilisantes intéressent de nombreux secteurs industriels. Les domaines agroalimentaires, cosmétiques, pharmaceutiques ou textiles ont en valorisé près de 8 millions de tonnes en 2003.

L'algue verte *Caulerpa racemosa*, communément appelée « raisin de mer », compte parmi les algues récoltées et consommée à l'état frais dans les nations du pacifique. Cette algue native de l'Indopacifique, d'une petite région entre Perth et Hopetoun en Australie du sud-ouest, a été découverte en Méditerranée sur différentes côtes. En Algérie, cette algue a été découverte en 2007 (Oud-Ahmed et Meinesz , 2007) sur les côtes algéroises et 2010 (Boudjra et al, 2010) sur la côte ouest en particulier la baie d'Arzew et Mostaganem.

A notre connaissance, et jusqu'à présent, la majorité des études s'intéressent sur la caractérisation phénotypique du point de vue physiologie et prolifération de cette algue dans le littoral algérien.

Pour notre part, nous nous sommes intéressées à l'étude de cette algue du point de vue nutritionnelle. Ainsi le principal objectif de cette étude est de caractériser la composition chimique de *Caulerpa racemosa* récoltée au niveau la côte ouest algérienne (baie de Mostaganem) en vue de l'exploration de sa composition nutritionnelle.

D'autre part, nous avons opté à une étude comparative entre cette algue invasive et l'algue rouge *Corallina elongata* cohabitant dans le même milieu où a lieu l'échantillonnage.

## 1. Définition

Les algues regroupent un ensemble de végétaux photosynthétiques très divers et dont l'appareil végétatif relativement simple est appelé «thalle». Celui-ci contient une structure à sa base (rhizoïdes, crampons, disques...) permettant l'ancrage de l'algue sur un support: une roche (algues épilâtes), ou une plante (algues épiphytes), ou un animal (algues époinées) ou parfois même le sable.

Le thalle présente une grande diversité de formes allant de lames simples à des structures plus complexes semblables à des tubes, des tiges et des feuilles ou encore des boules remplies d'eau. La texture est également très variée: certaines algues sont gélifiées, voire de texture cartilagineuse ou spongieuse. Le nombre et le type de ramifications (insertion, organisation et hiérarchisation de ces ramifications par rapport à l'axe principal) sont des critères importants pour identifier les algues. Enfin, certaines algues présentent un thalle très rigide, suite à l'accumulation de carbonate de calcium ou aragonite, dans les parois de leurs cellules. Certaines algues rouges sont même presque entièrement calcifiées et forment des croûtes aussi dures que les rochers leur servant de support (Reviere, 2002).

Les cellules des algues possèdent les mêmes éléments de structure que celles des plantes supérieures. Elles ont une paroi cellulaire partiellement cellulosique, des petits noyaux et des plastes pigmentés ou chromatophores (comportant de la chlorophylle souvent masquée par des pigments surnuméraires qui donnent aux thalles des couleurs) (Garons-Larderaï, 2004).

Elles ont des formes et des dimensions très variables. Certaines sont microscopiques et d'autres mesurent plusieurs mètres de longueur, mais elles ont toutes des caractères communs. Elles sont essentiellement aquatiques dans les eaux douces ou marines, et certaines vivent sur la neige ou la glace des régions polaires et des hautes montagnes. D'autres au contraire supportent dans les eaux des sources thermales des températures élevées (algues thermophiles). Elles comprennent 20 000 à 30 000 espèces dans le monde.

On distingue deux grandes catégories d'algues: les micro-algues, organismes unicellulaires et les macro-algues, végétaux macroscopiques généralement fixés sur le fond marin. Leurs pigments, qui présentent une grande diversité par rapport aux végétaux supérieurs, permettent de distinguer les algues vertes, les algues rouges et les algues brunes.

## 2. Les micro- et macroalgues

### 2.1 Les microalgues

Les microalgues présentent une diversité plus grande que celle de toutes les plantes terrestres. Ces organismes constituent un groupe polyphylétique, très diversifié avec des procaryotes (les algues bleues ou cyanobactéries) d'une part et les eucaryotes réunissant les algues vertes, rouges et brunes d'autre part.

Les espèces de microalgues les plus cultivées sont: la cyanobactérie *Arthrospira* (la spiruline, qui représenterait 50% de la production mondiale), suivie par les microalgues vertes *Chlorella*, *Dunaliella*, *Haematococcus*, *Nannochloropsis* et la diatomée *Odontella* (Abed et al., 2008).

Les microalgues sont des organismes vivants apparus, sous leur forme primaire d'une cyanobactérie, sur Terre il y a 3,7 milliards d'années. Les microalgues sont à la fois procaryotes (pas de noyau pouvant contenir l'ADN) ou eucaryotes (l'ADN est contenu dans un noyau). Elles mesurent de quelques micromètres à une centaine de micromètres, de formes et de couleurs différentes. Certaines espèces sont autotrophes c'est-à-dire la capacité de synthétiser leur matière organique à partir de matière inorganique par processus de photosynthèse grâce à la chlorophylle qu'elles contiennent. A l'opposé certaines espèces dépourvues de celle-ci ont besoin de la matière organique déjà existante pour se nourrir, ce mode de nutrition est appelé hétérotrophie. Il y a enfin la combinaison des deux modes de nutrition nommée mésotrophe. En suspension dans l'eau, elles constituent le phytoplancton qui est la base de la chaîne alimentaire marine (Abed, 2008).

### 2.2 Les macroalgues

Le terme de macroalgue est un terme générique qui englobe tous les organismes aquatiques photosynthétiques pluricellulaires à l'exception des plantes terrestres (plantes vertes ou Embryophytes) (Barrington et al. 2009).

Les premières macroalgues sont apparues progressivement, il y a 1,7 milliard d'années et sont eucaryotes. Elles sont divisées en trois familles selon leur couleur : les algues vertes (chlorophycées), les algues brunes (Phéophycées) et enfin les algues rouges (Rhodophycées). Ces différences de couleurs proviennent des pigments qu'elles contiennent dans leurs chloroplastes en plus de la chlorophylle (tableau 1). Ces pigments (chlorophylle B, Caroténoïde, Phycocyanine, Phycoérythrine) ont la capacité de piéger des longueurs d'ondes

Spécifiques de la lumière et de transmettre cette énergie vers la chlorophylle A (Garon – Lardiere 2004).

**Tableau 1. Différents pigments chez les macroalgues (<https://www.google.dz>).**

	Algues vertes	Algues rouges	Algues brunes
<b>Chlorophylle a</b>	+	+	+
<b>Chlorophylle b</b>	+	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Chlorophylle c</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	+
<b>Chlorophylle d</b>	<b>0</b>	+	<b>0</b>
<b>Caroténoïde</b>	+	+	+++
<b>Phycocyanine</b>	<b>0</b>	++	<b>0</b>
<b>phycoérythrine</b>	<b>0</b>	++	<b>0</b>

Les macroalgues peuvent mesurer de quelques centimètres à plusieurs mètres (60 m de long pour certaines laminaires, algue brune), être en suspension ou agrippées sur un support, elles peuvent être fines ou épaisses.

S'il existe plus de 25 000 espèces de macroalgues, seule 21 espèces sont autorisées dans l'alimentation humaine et six algues alimentaires sont largement consommées : la laitue de mer (*Ulvasp.*), la dulse (*Palmariapalmata*), le nori (*Porphyra sp.*), le wakamé (*Undariapinnatifida*), le kombu (*Saccharinalatissima*) et le haricot de mer (*Himanthaliaelongata*) (CEVA, 2014).

### 3. Les grands groupes des macroalgues marines

#### 3.1. Les algues vertes (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 (Garons-Larderai, 2004).



Figure 1. L'algue verte *Caulerpa racemosa* (à gauche) et *Ulva lactuca* (à droite).

### 3.2. Les algues brunes (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 (Garons-Larderai, 2004).

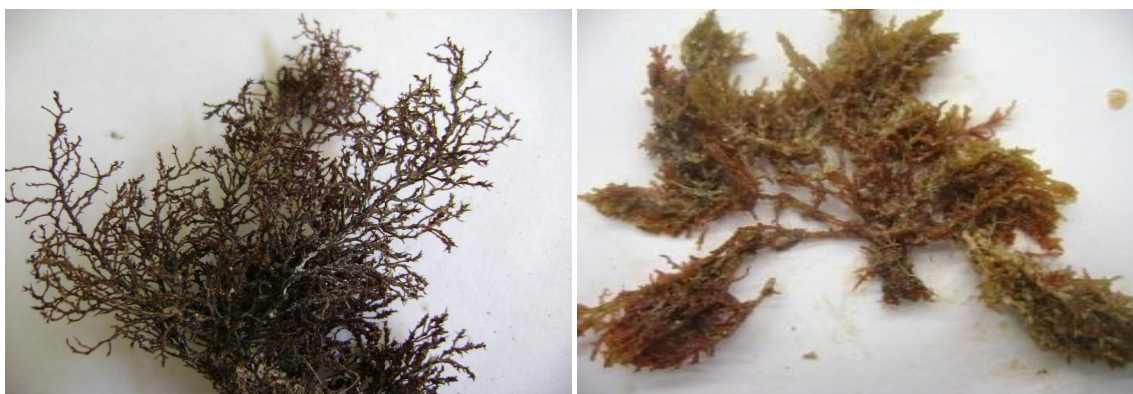


Figure 2. L'algue brune *Cystoseira stricta* (à droite) et *cystoseira spinosa* (à gauche).

### 3.3. Les algues rouges (Rhodophycées)

Les rhodophycées ou algues rouges forment un groupe très diversifié. Ces algues doivent leur couleur à la présence de plastes 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 (Garons-Larderaï, 2004).

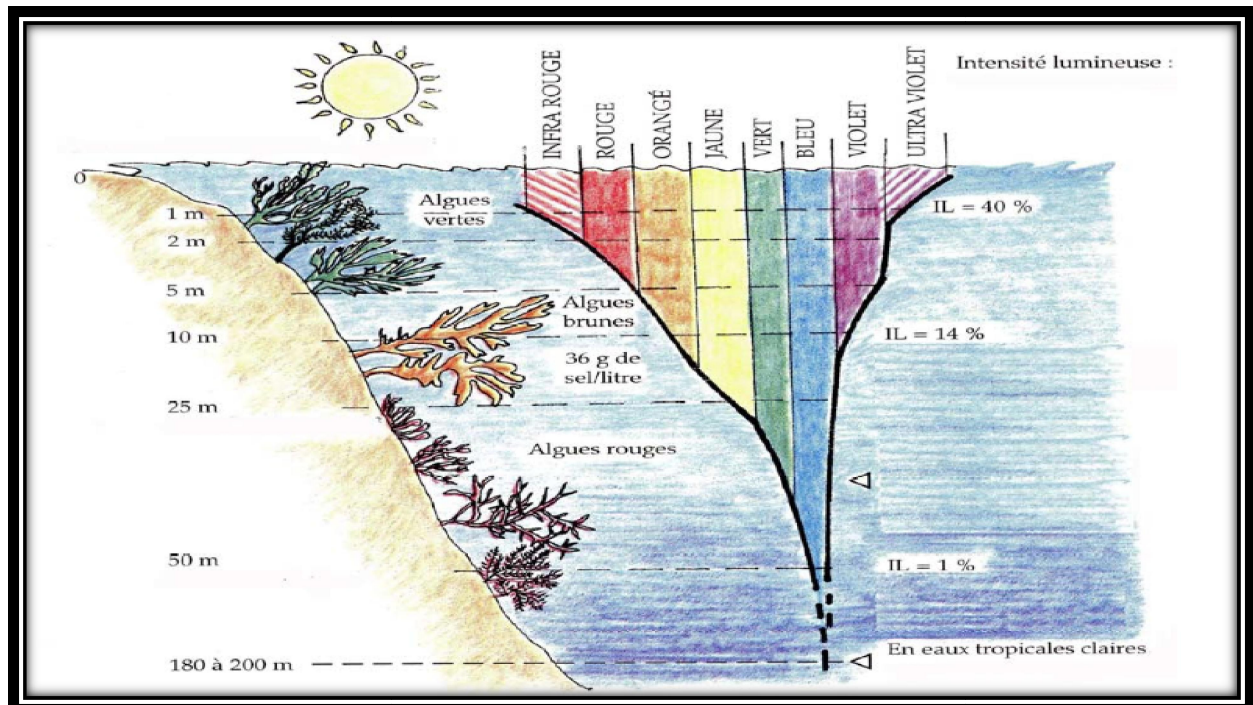


Figure 3. L'algue rouge *Lomentaria articulata* (à gauche) et *Corallina elongata* (à droite).

### 4. Facteurs de répartition des algues

Les algues sont liées à l'eau et peuvent dès lors s'installer dans tous les types d'habitat suffisamment humides et éclairés. On peut les retrouver en eau douce, en mer, sur sol humide et même sur la neige. Les algues étant photosynthétiques, elles sont dépendantes de la présence de la lumière.

Aussi, les algues nécessitent d'être fixées à un substrat, par conséquent, la texture, le degré de cohésion et la nature chimique du substrat ont une importance sur la répartition spatiale des espèces (Schaechter, 2009).



**Figure 4. Facteur de répartition les algues marines.**  
(<https://lamaisondalzaz.files.wordpress.com>).

Deux facteurs jouent un rôle primordial dans cette répartition :

- l'eau, et plus précisément la durée de l'absence d'eau due au mouvement des marées,
- la quantité et la qualité (longueurs des radiations) de la lumière disponible.

## 5. Production mondiale des algues marines

La production mondiale de macroalgues s'élève à près de 25 millions de tonnes en 2013 (FAO, 2014) : 96 % de ce tonnage provient de la culture d'algues dans les pays d'Asie de l'Est et du Sud-est, et le reste provient d'Amérique du Sud, d'Afrique, d'Europe puis d'Océanie.

Les producteurs principaux sont la Chine, l'Indonésie et les Philippines qui, à eux seuls, totalisent les quatre cinquièmes de la production. Cette production est majoritairement destinée à l'alimentation humaine directe (76,1%), à l'extraction des métabolites (11,2 %), le reste est exploité dans différents secteurs: l'alimentation animale et l'agriculture (FAO, 2010). L'ampleur de la consommation directe est due aux pays asiatiques.

L'Europe participe de manière très anecdotique à la production mondiale, avec une production d'environ 320 000 t en 2013 (Maguire, 2015). La quasi-totalité de son tonnage est produite à partir d'algues sauvages (près de 87 %) et provient majoritairement de la Norvège, de la France et du Danemark.

**Tableau2. Production mondiale de macroalgues marines (FAO, 2010).**

région	Pays	Quantité (tonnes/poids frais) (2008)
Asie de l'Est et du Sud -Est	Chine	9 922 400 (62,8 %)
	Indonésie	2 164 600 (13,7%)
	Philippines	1 674 800 (10,6%)
	République de Corée	932 200 (5,9%)
	Japon	458 200 (2,9%)
	RPD-Corée	442 400 (2,8%)
Amérique latine	Chili	21 700 (0,14%)
Afrique	Tanzanie. Madagascar, Afriquedu Sud	14 700 (0,093%)
Europe	Russie, France, Espagne	864

## 6. Applications des algues marines

Il existe plusieurs domaines économiques qui font appel à des algues ou à des phycocolloïdes. Elles présentent actuellement une source nutritionnelle et un produit à valeur montante, surtout en Asie où elles sont utilisées directement comme aliments, ou indirectement surtout par l'industrie de phycocolloïdes (agars et alginates). Elles sont utilisées en agriculture comme engrais et fourrage, dans l'industrie alimentaire et pharmaceutique, dans le textile, et dans bien d'autres domaines (Chopin, 1997).

### 6.1. 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).

## 6.2. En agriculture

Depuis longtemps les populations littorales fertilisaient leurs terres à l'aide de macroalgues surtout avec les grandes algues brunes qui sont recueillies généralement au niveau des plages, puis lavées et coupées. Les effets des macroalgues comme fertilisants diffèrent selon l'algue utilisée. En général, ce n'est pas dû seulement aux composants chimiques de l'algue et à la valeur nutritionnelle de l'algue, mais aussi aux propriétés physiques des polysaccharides de l'algue lesquels aident à améliorer la structure du sol (Kim, 1970).

## 6.3. Dans le domaine pharmaceutique et médical

Plusieurs composés chimiques isolés des macroalgues sont biologiquement actifs dont certains possèdent une activité pharmacologique efficace (Rorrer and Cheney, 2004). Parmi ces composés bioactives, on trouve les polyphénols dont les flavonoïdes et phlorotannins.

## 6.4. Dans la biotechnologie

Le processus biotechnologique des macroalgues marines concerne 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 and Cheney, 2004). L'ingénierie biotechnologique (biomoléculaire) des macroalgues 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).

## 6.5. Dans le traitement des eaux usées

La technique dite de lagunage représente une alternative économique et efficace à des systèmes de traitement (les rejets des villes, de l'industrie, des fermes aquacoles, des entreprises agricoles). La capacité des algues à absorber les nutriments issus d'élevages piscicoles a été démontrée à partir de cultures d'algues en bassin (Cohen et Nori, 1991).

L'intérêt de l'utilisation des macroalgues pour le traitement des eaux usées en eau salée a été démontré dès la fin des années 70 dans des mélanges d'eau usée et d'eau de mer (Guist et Humm, 1976).

## *Caulerpa racemosa* et *Corallina elongata*

### 1. *Caulerpa racemosa*

#### 1.1. Description

*Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* est une Chlorobionte (« algue verte ») marine de couleur verte, reconnaissable par ses axes rampants (stolons) avec des rhizoïdes et des frondes dressées portant des ramules en forme de vésicules. Sa taille peut atteindre entre 1 et 11 cm. Elle a une reproduction sexuée et végétative (Klein & Verlaque, 2008).

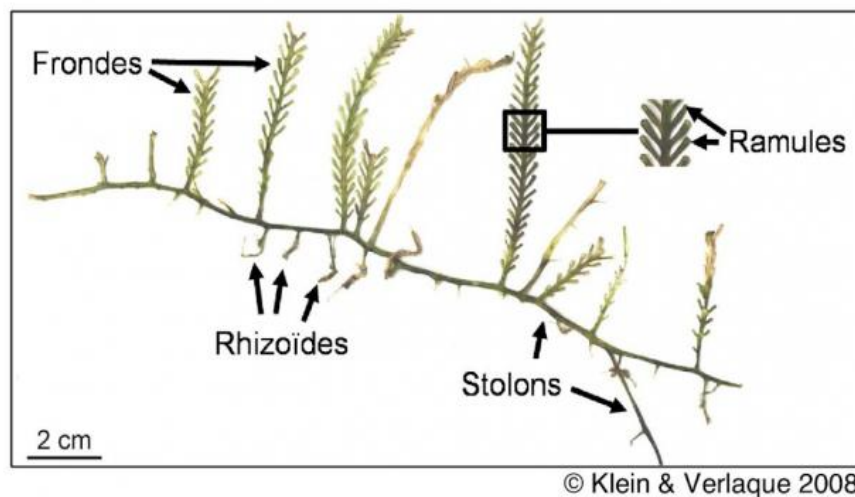


Figure 5. Schéma représentative de *Caulerparacemosa var cylindracea* .

#### 1.2. Taxonomie

**Division :** *Chlorophytum*

**Classe :** *Chloroiphyceae*

**Ordre :** *Bryopsidales*

**Famille :** *Caulerpaceae*

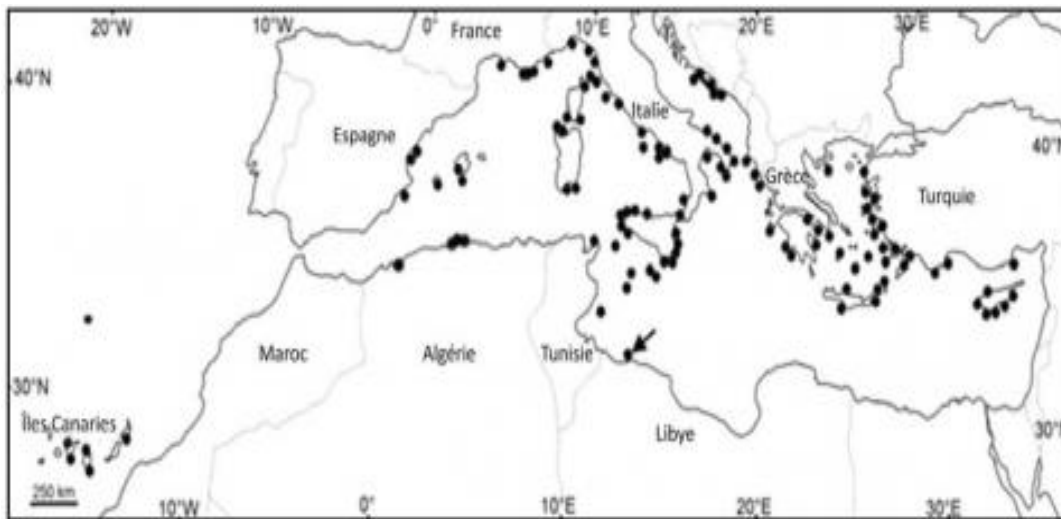
**Genre :** *Caulerpa* (Lamoureux, 1809)

**Espace :** *Caulerparacemosa* (forsskal) ; agardh1872).

**Sous-espèce :** *Caulerparacemosavar. cylindracea* (sonder) verlaque, huismamand bouderesque (2003).

### 1.3. Distribution

L'espèce est native de l'Indopacifique, d'une petite région entre Perth et Hopetoun en Australie du sud-ouest. Elle a été découverte en Méditerranée sur différentes côtes : En Italie (Alongi et al., 1993), en Albanie (Di Martino et Giaccone, 1995), à Malte (Stevens, 1999), en Tunisie (Belkhiria, 1999), en Espagne (Ballesteros et al., 1999), en Turquie (Cirik, 1999), en France (Joussonet et al., 2001), en Croatie (Zuljevic et al., 2003), en Algérie (Oud-Ahmed et Meinesz, 2007), à Chypre (Christophorou et al., 2008) et au Monténégro (Cottallorga et al., 2008), ainsi que sur les côtes méditerranéennes du Maroc (Enclave Espagnole De Ceuta) et à Monaco (Cottallorda et al., 2008).



**Figure 6.** Première identification de *Caulerpa racemosa* en Libye en 1991 (flèche) et localisations déterminées depuis (points) en méditerranée et aux îles canaries (Verlaque et al. 2004 ; Piazzini et al. 2005).

### 1.4. Distribution de *Caulerpa racemosa* sur le littoral algérien

La présence de l'algue invasive *Caulerpa racemosa* dans les différentes zones décrites en Méditerranée en 2006 (Ould Ahmed et Meinesz, 2007) renforce l'hypothèse de la dissémination anthropique de cette algue dans cette mer (Verlaque et al. 2000 ; 2003 ; 2004 ; Piazzini et al, 2005). Elle a été signalée également dans plusieurs localités de la région d'Alger entre les années 2006 et 2009. De nos jours, elle a été identifiée dans neuf zones de la côte algéroise et dans deux autres à Mostaganem, sur la côte ouest algérienne. Cette algue est probablement bien distribuée sur le littoral algérien, mais peu d'informations émanent des régions ouest par rapport au centre du littoral algérien.

*Caulerpa racemosa* a été observée pour la première fois en Algérie en 2005, sans pour autant être abondante (SERIDI et KABRANE, 2010). C'est essentiellement depuis 2006, que l'ampleur de la propagation de *Caulerpa racemosa* a été mise en évidence (Ould Ahmed et Meneisz, 2007).



**Figure 7.** Localisation géographique de *Caulerpa racemosa* en Algérie (rectangle en jaune) dans l'Ouest Algérien (Bouiadjra et al. 2010)

Ces auteurs ont identifiée l'algue pour la première fois à Bou-Ismaïl en 2006. D'autres travaux ont permis de mentionner sa présence à Bordj El Kiffan à l'est d'Alger (SERIDI, 2007) et dans différentes zones du littoral d'Alger (LAMOUTI et al. 2011).

Sur la côte ouest algérienne, BOUIADJRA et ses collaborateurs déterminèrent la présence de plusieurs peuplements dans le golf d'Arzew à Stidia et à proximité du port de Salamandre à l'Ouest de Mostaganem (BOUIDJRA *et al*, 2010-a, 2010-b).

D'autres études universitaires réalisées dans les régions du centre ont permis de l'observer à différentes profondeurs (au-delà de -20 m), mais n'ont pas fait l'objet de publications (SERIDI et KABRANE, 2010).

Il faut savoir que la représentation de la distribution actuelle de *Caulerpa racemosa* en Algérie n'est que partielle, l'expansion de l'algue sur l'ensemble du littoral n'étant pas parfaitement connue.

**Tableau 3. Caractéristiques des colonisations de *Caulerparacemosa* en Algérie B. Bachir Bouiadjra et al. 2010)**

Location	Geographic coordinates*		Depth (m)	Substratum	Surface (m <sup>2</sup> )	Reference	
	Latitude, N	Longitude, E					
Tamentfoust	36°48'29.64"	03°13'52.56"	0.50	-	-		
Sidi-Fredj	36°45'55.2"	02°50'50.82"	0.50	-	-	Ould-Ahmed and Meinesz 2007	
Bou Ismail	36°41'39.23"	02°47'50.67"	0.50	-	-		
Salamandre	Station 1	35°55'12.46"	00°03'28.32"	0.50	Sand	1.30	Present study
	Station 2	35°55'11.62"	00°03'28.30"	0.50	Sand	2.24	Present study
	Station 3	35°55'08.07"	00°03'27.20"	0.60	Rock	04	Present study
	Station 4	35°55'06.15"	00°03'27.09"	0.80	Sand	150	Present study
Stidia	Station 1	35°50'1.45"	00°00'49.79"	0.50	Sand – Rock	200	Present study
	Station 2	35°50'2.29"	00°00'49.12"	0.40	Sand – Rock	1.30	Present study
	Station 3	35°50'3.96"	00°00'48.94"	0.40	Sand – Rock	210	Present study
	Station 4	35°50'4.22"	00°00'47.30"	0.30	Sand – Rock	2.80	Present study

## 1.5. Ecologie de l'espèce

### 1.5.1. Habitat

*Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* colonise les habitats benthiques entre 0 et 40 m de profondeur (max. 70 m), à l'exception des herbiers denses de *Posidonieocéanique* et des substrats meubles instables. Les écosystèmes pristines (exemple : Parc National de Port-Cros) sont colonisés par cette espèce invasive au même titre que les écosystèmes plus ou moins dégradés (verlaque ,2008.)

### 1.5.2. Température

La température moyenne à la surface de la mer au sud de l'Australie ; varie entre 14.0°C à 16.0°C en hiver et 22,5°C en été (verlaque et al, 2003). Par contre, en mer méditerranée ; *Caulerpa racemosa* et est exposée à une température ambiante qui peut être inférieure à 8°C (Klein et Verlaque ,2008).

### 1.5.3. Salinité

Des manipulations expérimentales des conditions de salinité ont montré que la croissance la plus élevée de *Caulerparacemosa* des eaux côtières sud-ouest de l'Australie a été observée à un taux de salinité qui varie entre 30 et 40 pour mille (Carothers et al, 1993). De tel travaux n'ont pas été réalisés sur les populations méditerranéennes, mais cette Caulerpe a été retrouvée dans des endroits de la méditerranée, où la salinité atteint 37,7‰ (Alibis et al, 1997 ; Mastrototaro et al, 2004).

## 1.6. Impact Et Gestion

La colonisation du substrat par *Caulerparacemosavar. Cylindracea* entraîne des changements des communautés benthiques en termes de diversité, d'abondance, et de dynamiques saisonnières de la flore (Klein & Verlaque 2008, 2009) et de la faune (Vázquez-Luis *et al.* 2009). La présence d'une matrice de *Caulerpa* modifie les paramètres physicochimiques au niveau des sédiments (Piazzi *et al.* 2005). Une gestion de l'espèce n'est actuellement ni pratiquée ni envisagée. Des études d'éradication en France et en Italie ont montré qu'une éradication manuelle était impossible (Klein & Verlaque 2008 ; 2011).

## 2. *Corallina elongata*

### 2.1. Caractéristique écologique des Corallinacées

Parmi les Rhodophycées, les Corallinacées sont un groupe d'algues rouges calcaires représentant la majorité des espèces algales calcifiantes actuelles. Apparues au début du Crétacé, elles se sont ensuite progressivement développées jusqu'à atteindre un pic de diversité au cours du miocène. Elles sont considérées comme un élément clé des cycles du carbone et des carbonates depuis le Cénozoïque (Basso 2012).

Les Corallinacées présentent une hétérogénéité morpho-fonctionnelle sans valeur taxonomique (Cabioch, 1988) caractérisée par deux groupes: les Corallinacées géniculées et non-géniculées. Les algues géniculées sont des algues articulées, branchues, dont les thalles sont composés de segments flexibles non calcifiés alternant avec des articles calcifiés complètement rigides. Les algues non géniculées sont des algues non articulées au thalle complètement rigide. Elles peuvent se développer sur des substrats durs comme algues calcaires encroûtées (ACE) ou exister sous forme libre sans substrat d'attache, ce sont les rhodolithes. Alors que les géniculées se disloquent en particules fines après leur mort et sont quasiment indétectables dans les archives géologiques, les corallines non géniculées

S'intègrent presque dans leur intégralité sous forme de fossiles dans les couches géologiques. La très large répartition des Corallinacées ainsi que leur fonctionnement très homogène suggèrent un mode de vie très stable à travers les ères géologiques (Giraud & Cabioch 1979) c'est-à-dire de faibles variations dans le type de milieu colonisé et le fonctionnement physiologique.

Les Corallinacées sont très abondantes et diversifiées dans tous les océans. Aucun autre groupe de macroalgues n'occupe une gamme d'habitats aussi variée (Steneck, 1986). Présentes des pôles jusqu'aux zones tropicales, elles se développent à toutes les profondeurs de la couche photique. Ce sont d'ailleurs souvent les dernières algues pluricellulaires rencontrées en profondeur (Giraud & Cabioch, 1979; Steneck, 1986).

Elles atteignent jusqu'à une centaine de mètres de profondeur dans les eaux très claires des milieux tropicaux avec un maximum relevé à 268 mètres (Littler et al, 1985). Les Corallinacées ont des rôles biologiques et écologiques majeurs dans les milieux qu'elles colonisent (Nelson, 2009). Elles sont considérées comme espèces ingénieures de certains écosystèmes (coralligène, bancs de maërl) et comme des producteurs majeurs de CaCO<sub>3</sub>, en particulier dans les zones polaires et tempérées (Nelson, 2009; Basso, 2012).

## **2.2. Description de l'algue rouge *Corallina elongata***

*Corallina elongata* (« corail » et « allongé ») est une petite algue rouge, dont le thalle est le plus souvent gris-violacé et blanchi par la lumière, dressé sur un disque basal comprimé de (4 à 5cm de haut) qui est fortement incrusté de calcaire, ramifié avec des formes et des couleurs variables. C'est une espèce pérennante, infralittorale, peuplant les rochers, les cuvettes d'eau éclairées, relativement photophile et plus nettement abondante dans les milieux calmes, semi-agités dans l'étage infralittoral. Elle peut supporter un assèchement et forme à basse mer un revêtement continu sur le bord des cuvettes littorales.

C'est une espèce vivace, fertile en été et qui vit plusieurs années. *Corallina elongata* est une algue très tolérante vis-à-vis de la pollution (Ellis et Solander, 1786).



**Figure 8.** *Corallina elongata* (Ellis & Solander, 1786) (Fonte: <http://www.guiry.org>).

### 2.3. Taxonomie

**Embranchement:** *Rhodophytes*

**Classe:** *Rhodophycées.*

**Sous-classe:** *Floridéophycées*

**Ordre:** *Corallinales*

**Famille:** *Corallinacées*

**Genre:** *Corallina*

**Espèce:** *elongata* (*J. Ellis et Solander, 1786*).

### 2.4. Caractéristiques du taxon (Écologie).

C'est une algue peuplant les rochers éclairés (espèce photophile), en eau calme ou semi agitée (mode calme) dans l'étage infralittoral supérieur en Méditerranée et en Atlantique. Elle est très tolérante vis à vis de la pollution, en effet on la rencontre souvent dans les milieux portuaires pollués: c'est une espèce opportuniste (Ellis et Solander, 1786).

### Composition chimique et caractéristiques nutritionnelles des macroalgues.

Les algues ont des potentialités nutritionnelles très riches, ceci se justifie par: la présence d'une fraction minérale variée et abondante qui constitue un apport important de macroéléments et oligoéléments, par la présence de protéines en générale bien équilibrées en acides aminés et présentes en quantités non négligeables dans certaines espèces, par un contenu vitaminique varié où la plupart des vitamines sont représentées, par une fraction lipidique faible mais cependant, dans certaines espèces riche en acides gras polyinsaturés et enfin par leur contenu en fibres ayant des structures variées et originales différentes des fibres des végétaux terrestres. La composition chimique des macroalgues marines varie suivant plusieurs facteurs: L'espèce (tableau 4), le stade de maturité, l'habitat naturel et les conditions environnementales (Kaimoussiet *al*, 2004; Ortiz et al., 2006).

**Tableau 4. Valeur nutritive d'espèces de macroalgues en (%) (Dhargalka & Pereira, 2005).**

Macroalgues	Protéine	Lipide	Carbohydate	Cendre
Ulva	26,1	2,1	42	7,8
Enteromorpha	19,5	0,3	64,9	15,2
Laminaria	16,1	2,4	39,3	19,6
Sargassum	19	2,9	33	16,2
Padina	18,81	1,7	31,6	10,3
Porphyra	28,4	4,5	45,1	6,9
Phodymenia	21,5	1,7	44,6	5,3
Gracilia	24,37	1,8	61,75	11,3

#### 1. Les lipides

Les lipides sont essentiels pour tous les organismes vivants en tant que composants de membranes, composés de stockage d'énergie, et comme signalisation cellulaire Molécules (Eyster 2007). Bien que les humains et d'autres mammifères Synthétisent les lipides, des lipides essentiels doivent être obtenus à partir d'huiles ou de graisses alimentaires.

Contrairement aux microalgues qui renferment jusqu'à 40 à 60% de leur poids sec en triglycérides (Georgianna et Mayfield, 2012), les macrophytes marines ne dépassent généralement pas 2-4,5% de poids sec en tant que lipides, principalement sous forme de phospholipides et de glycolipides (Holdt et Kraan, 2011). Malgré que la teneur soit faible ; cependant, du point de vue qualitatif, les lipides algaux présentent une proportion en acide gras essentiels importante qui est les  $\omega$ -3 polyinsaturés (acide alpha-linolénique et acide eicosapentaénoïque (EPA) et les acides  $\omega$ -3 tels que le 18 :4 n-3, qui est absent chez d'autres organismes.

Ces acides gras protègent des maladies cardiovasculaires et cérébro-vasculaires ( Assoumani M.B., 1997) , sont actifs contre les œdèmes, les inflammations, les érythèmes et le flux sanguin (Khan W et al., 2009). Les algues rouges contiennent des taux élevés d'acide gras polyinsaturés à 20 carbones : l'acide gras oméga 3, EPA, ( $\omega$ 3-C20:5), qui constitue 50% des acides gras polyinsaturés chez *Porphyra spet Palmariapalmata* (Darcy-Vrillon B, 1993). Ces eicosanoïdes sont dérivés de l'acide arachidonique biologiquement actifs fréquemment trouvés dans les organismes marins. Le ptilodéne est un eicosanoïde de l'algue rouge *Ptilotafilicina qui* a montré une activité inhibitrice de la 5-lipoxygénase humaine. Un autre dérivé d'eicosanoïdes, le 12-(S)-acide hydroxyeicosapenta-énoïque isolé de l'algue rouge *Murrayellapericladus* est un puissant inhibiteur de l'agrégation plaquettaire (Bernari et al. 1994).

### 1.1. Acide gras polyinsaturés à longue chaîne

Il existe deux familles générales d'AGPI: les acides linoléiques (n-6 ou acides gras oméga 6) et les acides  $\alpha$ -linoléiques (n-3 ou les acides gras oméga-3). Les algues marines comprennent une portion non négligeable en AGPI à longue chaîne. Les plus importantes ces AGPI sont les acides gras essentiels (AGE) acide eicosapentaénoïque (EPA; 20: 5 n-3) et le docosahexaénoïque Acide (DHA; 22: 6 n-3) avec leurs précurseurs l'acide  $\alpha$ -linoléique (ALA; 18: 3 n-3) et l'acide docosapentaénoïque (22: 5 n-3) (Cottin et al., 2011).

Le premier produit d'ALA dans la voie de synthèse des AGPI C20-22 est l'acide stéaridonique (SA, 18: 4n-3), et cet acide gras peut représenter une partie importante des AGPI dans certaines macroalgues comestibles (légumes de mer) (Guil-Guerrero, 2007).

L'EPA est l'AGPI prédominant dans de nombreux légumes de la mer avec l'acide arachidonique (20: 4 n-6), en particulier dans les algues rouges (Norziah et Ching, 2000; Wen et al. 2000; Ortiz et al., 2009) où l'EPA représente jusqu'à 50% de la teneur totale en acides gras comme c'est l'exemple de *Palmaria palmata* (van Ginneken et al., 2011).

Plusieurs études récentes ont analysé les acides gras constitutifs d'un grand nombre de macroalgues rouges, brunes et vertes d'origine polaire (20 espèces)(Graeve et al., 2002), tempérée(16 espèces)(Schmid et al. 2014) (10 espèces) (McCauley et al., 2015), et tropicale (27 espèces)(Kumari et al., 2010), (22 espèces) (Kumar et al., 2011)et malgré une certaine variabilité, les espèces rouges (Rhodophyta) et brunes (Phaeophyceae) avaient une forte proportion d'AG totaux dont l'EPA et l'acide arachidonique, alors que les algues vertes (Chlorophyta) avaient une faible teneur en EPA (en% d'AG totaux), mais étaient enrichi en AGPI C18 LC.

### 1.2. Stérols

Les stérols sont la principale composante nutritionnelle des algues, ils sont le constituant chimique le plus important de microalgues. Les stérols sont principalement présents dans les plantes, les animaux et les champignons, avec le stérol animal le plus célèbre connu sous le nom de «cholestérol». Le cholestérol est vital pour la fonction cellulaire et affecte la fluidité de la membrane cellulaire animale. Il agit également comme messager secondaire dans la signalisation du développement.

Différentes espèces d'algues ont des stérols différents, comme les algues vertes contiennent de l'ucoscholestérol, du cholestérol, du cholestérol à base de méthylène et du  $\beta$ -sitostérol tandis que les algues brunes contiennent du fucostérol, le cholestérol et le brassicasterol. Les algues rouges contiennent des stérols comme le des mosterol, le cholestérol, le sitostérol, le fucostérol et chalinasterol (Sanchez-Machado et al, 2004 ; Whittaker et al, 2000).

Le fucostérol est produit dans de nombreuses algues, en particulier rouges et brunes (Pereira et al., 2016), et ce composé peut avoir un intérêt dans le traitement des complications du diabète et de l'hypertension artérielle ainsi que d'autres problèmes majeurs de santé (Abdul et al., 2016). Les algues brunes (*Laminaria et Undaria*) contiennent 83% - 97% de fucostérol du total en stérol (662 - 2320  $\mu\text{g} / \text{g}$  de poids sec), et des mosterol le représente 87% - 93% de la teneur totale en stérol chez les algues rouges (*Palmaria et Porphyra*) (87 - 337  $\mu\text{g} / \text{g}$  de poids sec). Cependant, l'algue rouge *C. crispus* contient du cholestérol comme stérol majeur. Il est rapporté expérimentalement que le stérol des plantes comme le  $\beta$ -sitostérol et le fucostérol conduit à la diminution de la concentration de cholestérol dans le sérum des animaux et des humains (Whittaker et al, 2000).

## 2. Les protéines

Parmi les macroalgues marines, les algues rouges et vertes comme par exemple, *Porphyra spp.*, *Pyropiaspp.*, *Palmariapalmata*, *Ulvaspp.* (Laitue Bsea)] contiennent souvent des niveaux élevés de protéines (en% de poids sec) par rapport aux niveaux inférieurs dans la plupart des algues brunes (Dawczynski et al.,2007; Holdt et Kraan, 2011; Pereira, 2011; Taboada et al.,2013; Angell et al., 2016).

Pendant les périodes de limitation des éléments nutritifs comme lors de la stratification estivale des eaux côtières, les teneurs en protéines macroalga les diminuent et les proportions d'acides aminés changent (Galland-Irmouli et al. 1999; Johnson et al. 2014; Schiener et al. 2015).

Une étude saisonnière (Octobre 2010-octobre 2011, 3-8 mois échantillonnage/ espèce) de la teneur en protéines de quatre kelps (*Laminariadigitata*, *Laminariahyperborea*, *Saccharinalatissima*, *Alaria Esculenta*) sur la base de trois répliques / espèces arécemment démontré une relation inverse entre la teneur en protéines (plus élevé en hiver) et le contenu en polysaccharide (plus élevé en été) (Schiener et al., 2015).

Parmi les acides aminés contenus dans les algues, l'alanine et glycine contribuent également aux arômes distinctifs de certaines algues marines (Holdt et Kraan 2011).

Le taurin est spécialement abondant chez les algues rouges marines, par exemple elle atteint 1 à 1,3 g par 100 g de poids sec chez l'algue Nori (Niwa et al. 2008). Bien que la taurine ne soit pas un acide aminé essentiel pour les adultes, c'est une composante des acides biliaires complexes qui contribue à la diminution, des taux de cholestérol dans le sang (Medeiros et Wildman 2015).

En général, les protéines dans la plupart des algues sont digérées moins complètement que les protéines de référence telles que la caséine (une protéine du lait) dans des systèmes modèles in vitro contenant des enzymes digestives telles que La pepsine, la pronase et la pancréatine, avec des preuves que cela est dû en particulier aux fibres inhibitrices solubles (Fujiwara-Arasaki et al. 1984; Fleurence, 1999a; Urbano et Goni 2002).

## 3. Les polysaccharides

Il existe dans la nature de nombreuses variétés de polysaccharides répertoriées, auxquelles l'intérêt porté est proportionnel aux propriétés ou applications potentielles. Ces polysaccharides peuvent être d'origine végétale, c'est le cas de l'amidon, de la cellulose, des pectines ou des gommés.

Ils peuvent également être issus des algues comme les alginates, les carraghénanes, l'agar ou les fucanes, ou encore être d'origine animale (héparine, chondroïtine), ou microbienne (dextranes, xanthanes).

Quelle que soit leur origine ils se caractérisent tout par propriétés biologiques et rhéologique spécifiques à l'origine de leur application diverses.

Les polysaccharides forment un groupe hétérogène de polymères de compositions multiples et variés, et de longueur différente. Ils sont construits à partir de résidus mono saccharidiques liés entre par des liaisons dites glycosuriques, les liaisons ainsi formées peuvent avoir la configuration alpha et béta (Robyt, 1998).

### 3.1. Composition chimique et structure des polysaccharides d'algues

Chez les algues, il existe une grande variété saccharidiques, qu'elles soient neutres, acides ou aminées, mais seul un nombre restreint d'entre elles sera rencontré couramment dans les polysaccharides d'algues.

C'est le cas par exemple de certains hexoses tels que le galactose (sous sa forme D ou L), le D-glucose, le D-mannose, ou encore de certains acides uroniques tels que l'acide mannuronique, l'acide glucuronique ou l'acide guluronique.

Ces monosaccharides sont généralement présents au sein de la chaîne polysaccharidiques sous forme de pyranose, ou cycle à 6 chaînons. Un dérivé du galactose, le 3,6 anhydrogalactose est également couramment rencontré les algues rouges. Enfin il faut souligner la présence de certains pentoses tels que le D-xylose ou encore le L-arabinose également présents sous leur forme pyranosique (Mabeau et Fleurence, 1993).

#### 3.1.2. Les différents types de polysaccharides des algues

Les polysaccharides algaux forment une vaste famille au sein de laquelle on distingue :

- **Les polysaccharides de réserve (stockés à l'intérieur de la cellule)**

Chez les algues brunes, il s'agit de la laminarine (polymère du 1,3- $\beta$ -glucopyranose), chez les algues rouges, de l'amidon floridé en (polymère du 1,4- $\alpha$ -glucose), et chez les algues vertes, du glucane (polymère du 1,4- $\beta$ -glucose)(Kloareg et Quatrano, 1988.)

- **Les polysaccharides de faible poids moléculaire**

Solubles dans le milieu, ils passent au travers de la membrane pour réguler la pression osmotique. Chez les algues rouges, on distingue plusieurs espèces dont deux isomères : le floridoside et l'isofloridoside participant à la régulation osmotique.

Chez les algues brunes, plusieurs espèces sont également présentes dont un type particulier de saccharide sous forme de polyols, le D-mannitol, qui représente jusqu'à 25% du poids sec de l'algue.

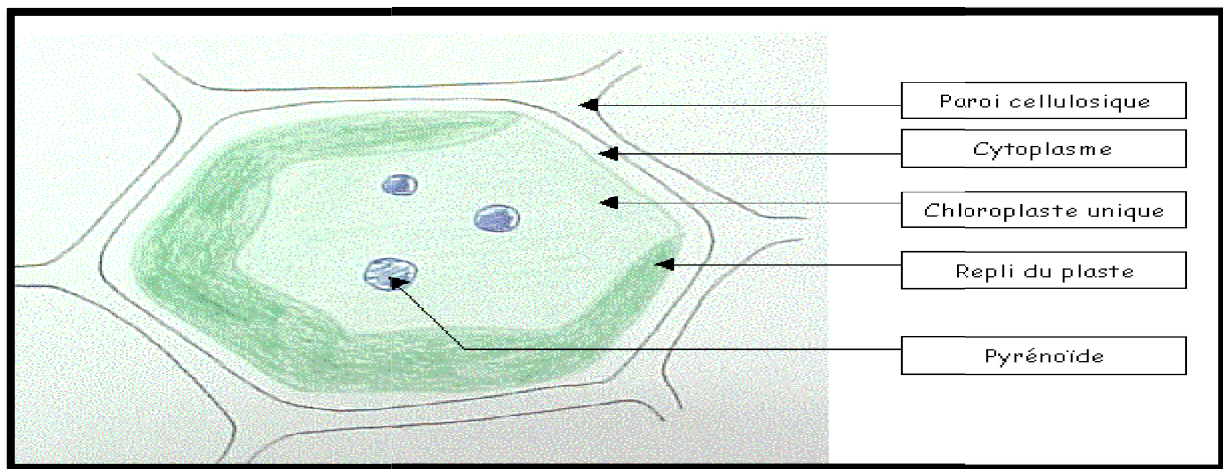
Enfin, les algues vertes comportent des traces de monosaccharides tels que le fructose ou le saccharose.

- **Les polysaccharides de structure**, c'est à dire ceux de la paroi, appelés polysaccharides pariétaux, comprennent :
  - Une phase squelettique, constituée de polysaccharides insolubles (cellulose, mannanes, xylanes)
  - une phase matricielle contenant des polysaccharides de structure plus hydrosolubles noyés dans la matrice (ou zone amorphe), dans laquelle ont lieu les échanges cationiques. La nature des polysaccharides matriciels est spécifique à chaque type d'algue, et sera développée plus tard.

#### a) Les polysaccharides matriciels d'algues vertes (chlorophycées)

Les polysaccharides matriciels des algues vertes marines ont été considérés comme des hétéropolysaccharides ramifiés sulfatés (percival, 1979). Ils ont été divisés en trois principaux groupes :

- Les xyloarabino galactanes sulfatés comportant environ 17% de sulfate et présents dans les algues de l'ordre des Cladophorales et des Codiales. Il n'y a pas vraiment d'unité répétitive, mais plutôt des portions comportant des blocs de (1,4)-L-arabinose, séparés par des unités D-galactose sont en position terminale.
- Les glucuronoxylorhamnanes sulfatés extraits des ulvales par exemple et comportant 22% de groupement sulfates, et 16 à 22% d'acide uronique selon les espèces.
- 
- Les glucuronoxylorhamnogalactanes sulfatés et les rhamnogalactogalacturonanes (ulvales), peu différents des acides pectiques des végétaux supérieurs mis à part la présence de sulfate (lahaye, 2001).

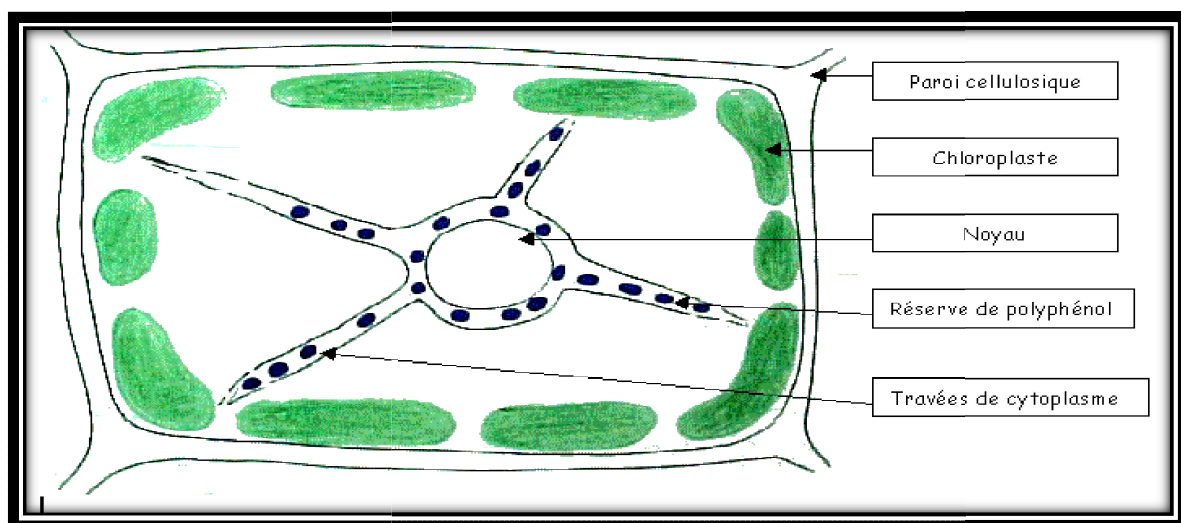


**Figure 9.** Schéma d'observation d'une cellule d'algue verte au microscope photonique (site SVT - <http://www.ac-rennes.fr/pedagogie/svt>).

### b) Les polysaccharides matriciels d'algues brunes (phéophycées)

Trois principaux types des polysaccharides matriciels sont issus des algues brunes les fucanes ; les ascophylanes et les alginates.

- **Les fucanes**, ou fucoidanes, constituent une famille hétérogène de polymères à base d'unités L-fucose liées en alpha-(1,2) et sulfatés en 4, dont la composition varie depuis les molécules riches en fucose vers des molécules plus pauvres en cet ose comportant de grandes proportions de galactose, de xylose ou encore d'acide uronique (Percival, 1979).



**Figure 10.** Schéma d'observation d'une cellule d'algue brune au microscope photonique (site SVT - <http://www.ac-rennes.fr/pedagogie/svt>).

Il arrive d'ailleurs fréquemment que certaines algues brunes comportent un mélange de fucanes de compositions différents. C'est le cas notamment des fucanes d'*Ascophyllum nodosum* (Hevolot et al, 2001).

- **Les ascophyllames** dont la chaîne principale est constituée principalement d'acides uronique : acide D-glucuronique, acide mannuronique et guluronique, portant des ramifications de type xylose ou fucose (Percival, 1979).
- **Les alginates** qui représentent le mucilage matriciel moyen des algues brunes (entre 10 et 45% du poids sec du thalle) (Kloareg Et Quatrano, 1988). Ils sont dans un premier temps transformés sous forme d'acide alginique pour être extraits de ces dernières, puis stabilisés à l'aide d'un contre-ion approprié tel que le calcium par exemple (Lahaye, 2001 a).

Présents au sein de l'algue sous forme d'alginates, c'est sous la forme d'acide alginique qu'ils sont extraits, caractérisés et employés.

L'acide alginique est un polymère linéaire constitué de deux unités mono saccharidique : l'acide B-D-man uronique et son épimère en C<sub>5</sub> l'acide alpha-L-guluronique de type (1,4).

La molécule d'acide alginique comporte des fractions riches en acides man uronique (appelées blocs M) dans zones uniquement formés par des acides guluronique (blocs G), et une fraction où les deux unités d'acides uronique sont liées alternativement entre elles (blocs MG ou GM). Chaque bloc pouvant contenir 20 à 30 unités.

La structure primaire de l'acide alginique dépend donc à la fois du rapport M/G, mais aussi des proportions relatives des trois types de blocs dans la chaîne. Ce rapport M/G varie généralement de 0,25 à 2,25 selon l'espèce, l'âge des tissus et leur nature, ainsi que la saison et le lieu de récolte (Kloareg et Quatrano, 1988).

### c) Les polysaccharides matriciels d'algues rouges (rhodophycées)

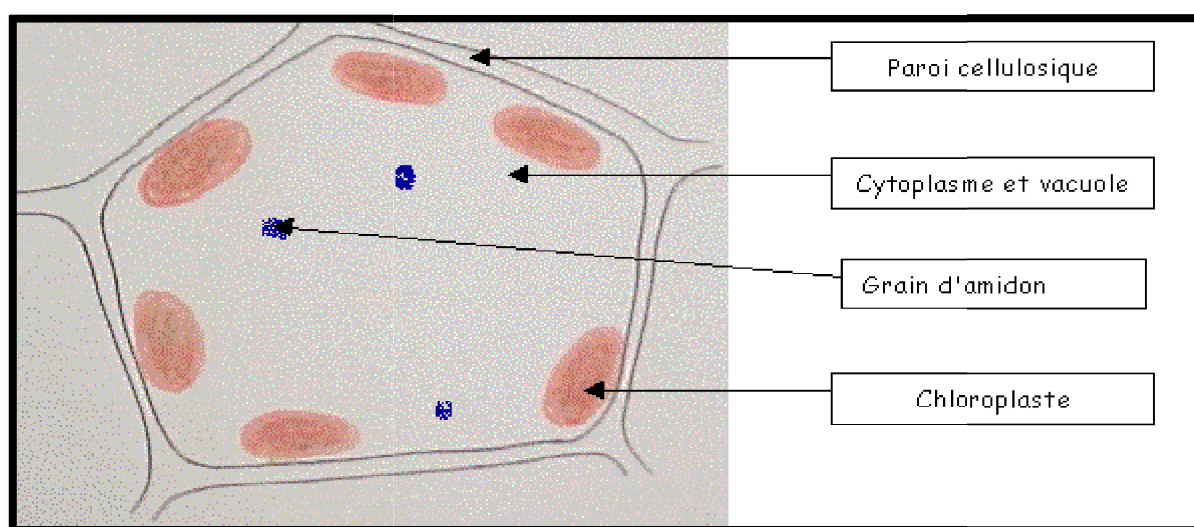
Les algues rouges sont une source industrielle connue de galactanes sulfatés pariétaux aux propriétés gélifiantes et texturants (Usov, 1992).

Les agarocolloïdes et les carraghénanes sont les principaux polysaccharides matriciels. Tous deux sont construits sur la base d'un enchaînement linéaire d'unités 3-B-D-galactopyranose et 4-alpha-galactopyranose alternées régulièrement. L'unité B-galactose appartient toujours à la série D, alors que l'unité alpha-galactose est de configuration D chez les carraghénanes, et sous la forme L chez les agarocolloïdes.

De plus, une part plus ou moins importante des résidus alpha-galactose peut exister sous la forme de 3,6-anhydrogalactose.

Enfin, un certain nombre de groupements hydroxyles de ces galactopyranose peut être sulfaté, méthylé, pyruvaté ou encore substitué par un monosaccharide, générant des unités répétitives dites « masquées » (Anderson Et Rees, 1965).

De manière générale, les carraghénanes contiennent toujours plus de groupements sulfate que les agars (Usov , 1998) , mais moins de substituant méthyles ( Craigie, 1990), et les poids moléculaires de ces deux types de polysaccharides sont généralement importantes (supérieures à 1000 KDa) (Kloareg et Quatrano, 1988).



**Figure 11.** Schéma d'observation d'une cellule d'algue rouge au microscope photonique (site SVT - <http://www.ac-rennes.fr/pedagogie/svt>).

Des études du couplage des polysaccharides d'algues (et autres) à la santé des microbiomes intestinaux et de leur hôte animal ou humain sont un domaine de recherche actif et nécessaire (Bäckhed et al. 2005; Hehemann et al. 2010; Cantarel et al. 2012).

Ces réponses bénéfiques peuvent inclure un risque réduit de le diabète, l'hypertension et la cardiopathie cardiaque (Institute-of- Médecine 2005).

Cependant, la complexité des interactions parmi les fibres fonctionnelles et diététiques et le microbiome de l'intestin conteste les efforts pour démontrer le fonctionnement aliments et avantages biomédicaux des polysaccharides d'algues (de Jésus Raposo et al. 2015; Dhargalkar, 2015).

L'étude des sous-fractions polymères extraites de structure les polysaccharides fournissent une tactique exploratoire utile pour évaluer les avantages fonctionnels potentiels de la consommation des aliments macroalgues, et il établit un moyen quantitatif pour déterminer

Les effets saisonniers ou environnementaux sur la qualité des aliments (Stengel et al. 2011; Mak et al. 2013).

Les quantités et les compositions de ces polysaccharides varient parmi les espèces et avec des changements saisonniers et environnementaux (Bourgougnon et Stiger-Pouvreau, 2011; Mak et al. 2013).

#### 4. Les éléments 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 des éléments représentés est énorme : calcium, sodium, magnésium, potassium, phosphore, iode, fer, zinc, magnésium, sélénium, etc. Un apport élevé de calcium, potassium et de sodium, est associé à la pression systolique moyenne inférieure et moins de risques d'hypertension. Toutes les algues offrent un niveau extraordinaire le potassium qui est très similaire au niveau du plasma humain.

Les algues transformées sont largement utilisées comme minéraux et en métaux des suppléments nutritionnels (Kay 1991), mais l'efficacité de ces suppléments est peu quantifiée. La plupart des études souffrent de limitations expérimentales sérieuses, y compris de courte durée de l'étude, petite taille d'échantillon et documentation insuffisante d'ingrédients actifs. Il y a relativement peu de littérature décrivant le contenu minéral des macroalgues et des aliments microalgues (Cabrita et al. 2016).

La généralisation nutritionnelle sur le contenu minéral des algues est difficile à cause de parfois grandes variations saisonnières, géographiques et taxonomiques dans le contenu minéral des algues marines (Jensen 1993).

Par exemple, les algues indonésiennes vertes, brunes et rouges contiennent des niveaux élevés de potassium, de calcium et de sodium, mais de manière significative des niveaux inférieurs en fer et en zinc que celles du Japon (comme *Porphyra* *yezoensis*, *Ulva* (*Enteromorpha*) et *Sargassum* (Takeshi et al. 2005).

##### 4.1. 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 macroalgues *Ulva* sp. Encore plus intéressant, l'algue calcaire lithothamniée contient de 25 à 34 % de calcium. Le calcium de l'algue *Lithothamnium calcareum* se solubilise très bien dans les conditions gastriques (PH= 15) et produit quantitativement de calcium ionisé bio disponible (Assoumani M.B., 1997).

L'extrait riche en minéraux provenant de l'algue marine rouge *Lithothamnium calcareum*, a montré un effet inhibiteur sur la croissance des cellules de cancer du côlon humain (Aslam et al, 2009).

## 4.2. Iode

Il existe une longue histoire reliant la consommation d'algues par les humains et l'incidence réduite du goitre et d'autres troubles de la thyroïde. La carence en iode provoque une hypothyroïdie alors que l'excès l'absorption d'iode peut induire à l'hyper ou l'hypothyroïdie (Miyai et al, 2008).

Les algues sont une bonne source nutritionnelle pour l'iode, en particulier dans les régions où d'autres aliments sont déficients, mais la teneur en iode des légumes marins disponibles dans le commerce varie considérablement parmi les espèces, les méthodes de préparation (Plusieurs composés d'iode sont solubles dans l'eau) et la durée de stockage (l'iode peut se vaporiser dans des conditions humides) (Teas et al. 2004).

De nombreuses macroalgues sont lavées et séchées pour stockage. Ces étapes de traitement n'ont pas réduit significativement la teneur en iode chez trois espèces communes *Alaria Esculenta*, *Palmariapalmata* et *Ulvaintestinalis*, mais la réhydratation suivie de l'ébullition dans l'eau a abaissé la teneur en iode de 14 à 75% (Nitschke et Stengel, 2016).

Pas toute les algues brunes accumulent des niveaux élevés d'iode; par exemple, Les Kelps *Undaria* (wakame) et *Alaria* (atlantique wakame) ont des niveaux d'iode inférieurs qui sont comparables à *PalmariaPalmata* (dulce, (Macartain et al, 2007;Rhatigan 2009; Holdt et Kraan 2011; Schiener et al., 2015).

En revanche, des niveaux élevés d'iode dans d'autres macroalgues brunes comme par exemple *Laminaria* et *Saccharina*( Teas et al., 2004b;Miyai et al., 2008) ont suscité une vive inquiétude quant à la surconsommation de ces légumes de mer qui peuvent être particulièrement néfastes.( Michikawa et al 2012) ont signalé que la consommation d'algues plus de 2 jours par semaine semblaient corrélés avec un risque accru de cancer de la thyroïde en postménopause chez les femmes japonaises, bien que Wang et al (2016) n'ont pas trouvé une relation significative entre cette consommation et la survenue du cancer. Néanmoins, il existe des preuves claires que la consommation alimentaire d'algues entraîne des niveaux élevés d'iode chez les humains.

## 4.3. Le fer

Les macroalgues sont une source potentiellement riche en fer dans les régimes alimentaires pour l'Homme. (Garcia-Casal et al. (2007, 2009) ont mesuré les différences saisonnières dans la teneur en fer de quatre espèces d'algues communes aux eaux vénézuéliennes (*Ulvaspp.*, *Porphyra Spp.*, *Sargassum spp* et *Gracilariopsisspp.*, et se sont ces deux dernières qui avaient une teneur en fer nettement plus élevée que les deux autres. Selon ces auteurs, il y avait un

Cycle saisonnier selon lequel la teneur en fer était la plus élevée au printemps et l'été et le plus basse en automne et en hiver.

#### 4.4. Brome

La détermination de concentration de brome dans les urines de sujets féminins en Chine, au Japon et en Corée ont montré qu'il existe une corrélation avec leur consommation de fruits de mer et des macroalgues qui apparemment en sont une source majeure. Cependant, cette corrélation était faussée par la consommation de cultures terrestres traité avec du bromure de méthyle, ce qui peut augmenter considérablement l'apport total de brome.

### 5. Les vitamines

Les travaux concernant les teneurs en vitamines de différentes algues marines sont peu nombreux. Schiewer (1970) a mené une étude sur les proportions vitaminiques de plusieurs algues de la mer baltique, il a démontré des différences non significatives entre les trois groupes d'algues (brunes, vertes et rouges). Cependant, des variations en vitamines chez une même espèce sont très élevées pour trois raisons :

- L'état de développement annuel,
- L'influence du lieu de prélèvement,
- Variations annuelles saisonnières, maxima estival, minima hivernal.

Selon Marfaig (2004), la composition vitaminique des algues est très intéressante, malgré de grandes variations saisonnières. Les principales vitamines sont:

**-Vitamine B12:** Les algues contiennent une proportion non négligeable en vitamine B12, contrairement aux plantes terrestres qui en sont complètement dépourvues. Les travaux les plus récents semblent indiquer que la vitamine B12 des algues est bien bio disponible.

**-Vitamine C:** La vitamine C est présente en quantités importantes dans certaines algues vertes et brunes, à des taux variant entre (500 et 3000mg/Kg sec) alors que les algues rouges ont des teneurs en vitamine C de l'ordre de (100 à 800 mg/Kg sec).

**-Vitamine E:** Les algues brunes sont plus riches en vitamine E que les algues vertes et rouges. Parmi les algues brunes, les teneurs les plus élevées sont observées chez les fucales (*Ascophyllumet Fucus sp.*) qui contiennent entre 200 et 600 mg de tocopherols/Kg sec (Marfaig, 2004).

Enfin, il y a les défis écologiques à gagner une image large des algues alimentaires comme source nutritionnelle de vitamines. La production de vitamines et le métabolisme peuvent varier considérablement à travers diverses lignées d'algues (Croft et al. 2006; Helliwell et al. 2011, 2013).

## 6. Les pigments

### 6.1. Les 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 la  $\beta$ -carotène,  $\alpha$ -carotène et leurs dérivés dihydroxylés : zeaxanthine et lutéine.

La composition en caroténoïdes des algues vertes reste voisine de celle des plantes supérieures : Les principaux caroténoïdes présents sont le  $\beta$ - carotène, la lutéine, la violaxanthine, l'antheraxanthine, la zeaxanthine, et la neoxanthine.

Un grand nombre d'études a démontré les propriétés antioxydantes des caroténoïdes algaux et le rôle qu'ils jouent dans la prévention de plusieurs pathologies liées au stress oxydatif (Okuzumi et al, 1993; Yan et al, 1999).

Les caroténoïdes jouent un rôle important en tant qu'instrument photosynthétique constitutif essentiel, dans le centre de réaction des photo-systèmes où ils agissent comme :

- 1) pigment accessoire pour le traitement de la récolte légère pendant la photosynthèse
- 2) stabilisateurs structurels
- 3) pour l'assemblage de protéines dans les photosystèmes
- 4) inhibiteur pour de la photo-oxydation des radicaux libres par excès d'exposition à la lumière (Zhang et al, 1999).

### 6.2. La chlorophylle

La chlorophylle est le principal pigment photosynthétique. Elle est présente chez presque tous les organismes photosynthétiques et est à l'origine de leur couleur verte car elle absorbe fortement la lumière visible dans les longueurs d'onde correspondant au bleu et au rouge mais laisse filtrer une grande partie de la lumière verte. On dénombre jusqu'à plusieurs centaines de millions de molécules de chlorophylle dans un seul chloroplaste. Deux structures remarquables caractérisent cette molécule :

- Un noyau tétrapyrrolique ou chlorine, contenant un atome de magnésium en son centre ;
- une chaîne terpénique ou phytol, constituée de vingt atomes de carbone.

Il existe différentes formes de chlorophylles, dont les seules présentes chez les végétaux supérieurs sont la chlorophylle a et la chlorophylle b. Les autres formes (chlorophylles c et d) présentes chez certaines algues ou bactéries et sortent du cadre de notre étude. Comme le montrent, la structure des formes a et b de la chlorophylle est quasi identique, à l'exception d'une fonction aldéhyde située sur la chlorine (d'après Galston, 1994).

L'existence de la chlorophylle d et de sa variante la chlorophylle d', retrouvées chez les algues rouges et certaines cyanobactéries, et dont les propriétés de fluorescence diffèrent de celles de la chlorophylle a (Mimuro et al. 1999).

### 6.3. Les phycobiliprotéines

Les phycobiliprotéines sont des molécules hydrosolubles comportant une partie protéique liée de façon covalente à des chromophores ou bilines. Ces derniers sont composés de groupes tétrapyrroliques non cyclisés. On distingue trois familles de phycobiliprotéines, les phycoérythrines (rouges), les phycocyanines (bleues) et les allophycocyanines (bleu - 11 - turquoise) dont les chromophores sont respectivement les phycoérythrobilines, phycocyanobilines, et phycourobilines (Steinbeiss, J., et al, 1984).

Ces pigments peuvent coexister dans une même espèce, mais la phycoérythrine domine chez les Rhodophytes tandis que la phycocyanine est plus abondante et parfois seule présente chez les algues bleues (Cyanophytes). Localisés à la surface des thylacoïdes des algues rouges et bleues, ces pigments jouent le rôle d'antennes collectrices de photons. Leur rôle physiologique est de capter les photons de longueurs d'ondes différentes de ceux captés par les chlorophylles et de transférer cette énergie aux complexes chlorophylliens. La quantité de ces pigments varie en fonction de l'intensité lumineuse à laquelle sont exposées les cellules (Jahn, W et al. 1984).

### 7. Les polyphénols

Certaines algues marines contiennent des polyphénols appelés aussi phlorotannins. Ces derniers constituent un groupe très hétérogène de molécules selon leur structure et leur degré de polymérisation, fournissant ainsi une grande variété d'activités biologiques potentielles. Les teneurs les plus élevées sont retrouvées dans les algues brunes et varient entre 5 et 15% du poids sec (Marfaing, 2004). Il s'agit de polymères de phloroglucinol (1, 3,5-trihydroxybenzene). Ils peuvent constituer jusqu'à 15% du poids sec des algues brunes (Ragan and Glombitza, 1986; Targett and Arnold, 1998). La relation entre les substances

Phénoliques et le phloroglucinol dans les algues brunes a été mentionné en premier par Crato (1893) et ont par la suite été confirmé par Ragan (1976).

Le poids moléculaire des phlorotannins varie entre 126 Da et 650 KDa, mais le plus souvent ils se rangent entre 10 et 100KDa (Boettcher and Targett, 1993; Mc Clintock and Baker, 2001).

### **8. les fibres**

Les algues constituent des sources importantes de fibres (33 à 61 %) qui facilitent le transit intestinal. Leur structure est variées et originales différentes des fibres des végétaux terrestres, la fraction de fibres solubles, constituée selon l'espèce d'agar-agar, de carraghénane, de xylane, d'alginate, de fucane, de laminarane et d'Ulvan, offre un intérêt particulier lié à la nature chimique originale des monomères constitutifs (Lahaye, 1991).

Trois catégories apparaissent en fonction de leur dégradation par les bactéries intestinales humaines. Si les agars, carraghénanes, Ulvanes et fucanes sont très peu dégradés, les xylanes et laminaranes sont dégradés entièrement et rapidement, conduisant à la production importante d'acide gras à courte chaînes. Les alginates, eux, sont partiellement dégradés, après une phase de latence. Les oligo-alginate et oligo-laminaranes ainsi produits ont démontré des effets bifidogéniques in vitro, ce qui ouvre le champ à des applications de types prébiotique (Michel et al. 1999).

Il faut noter également que les alginates, très visqueux, modifient l'absorption intestinale du glucose et la réponse insulinique en retardant l'absorption du glucose (Vaugelade et al. 2000).

## But de travail

L'objectif de ce travail est l'étude du potentiel nutritionnel de deux algues : l'algue verte *Caulerpa racemosa* et l'algue rouge *Corallina elongata* et ce à travers l'étude de leur composition chimique.

## 1. Choix du site d'observation

### 1.1. Le littoral de Mostaganem

Mostaganem est une ville portuaire de la Méditerranée, située à l'ouest de sa Wilaya, à 363 Km à l'ouest d'Alger, à 89 Km à l'est Oran, à 48 Km d'Arzew et à 81 Km au Nord de Mascara- (ONS ,2008).

Mostaganem est située à 104 mètre d'altitude sur le rebord d'un plateau côtier. La ville contemple à l'ouest la large baie d'Arzew que termine le djebel Orousse. Le climat de Mostaganem se caractérise quasi quotidiennement par des brises de mer et de terre.



Figure 12. Situation géographique de la Wilaya de Mostaganem dans la Mer Méditerranée montrant le Site Etudié (Google Earth).

### 1.2. Plage de Salamandre

Ce Site se situe à 5 km de la ville de Mostaganem ; possède un trait de côte de 4000 m. Salamandre est une plage à caractère rocheux, quia une orientation vers l'ouest (Coordonnées : 35° 55' N/ 0° 03'E).

Ce site a été choisi en fonction de sa position limitrophe du port de commerce et de pêche de la Wilaya de Mostaganem. Ce Choix est basé sur le fait que l'eau de ballast des navires de commerce et les filets de pêches, constituent respectivement un vecteur d'introduction et un

Mode de dissémination de *Caulerparacemosa* (Verlaque et al, 2003, 2004 ; 2004 ; Zuljevic et al, 2004 ; Ruitton et al, 2005).



**Figure 13. Plage de salamandre (Google Earth).**

## 2. Collecte des échantillons et conservation

L'algue verte *Caulerpa racemosa* ainsi que l'algue rouge *Corallina elongata* ont été collectées au niveau de la plage de Salamandre durant le printemps (mars-mai 2017). Elles ont été d'abord lavées à l'eau de mer, puis transportées directement au laboratoire dans des sacs en plastique. Une fois au laboratoire, les algues ont été triées manuellement afin d'éliminer toute source de contamination (épiphytes, larves, crustacées, sable.....) puis lavées à l'eau distillée et séchées à l'air libre durant 48 à 72 heures.

## 3. Techniques analytiques

Les analyses et les différentes mesures ont été effectuées au niveau du laboratoire de technologie alimentaire et nutrition de L'Université De Mostaganem.

### 4.1. Détermination de la matière sèche et en eau (AFNOR, 1985).

La détermination de la « matière sèche » est réalisée par dessiccation de l'algue fraîche à l'étuve à 105°C pendant 24 h. La matière sèche, exprimée en pourcentage est calculée comme suit :

$$MS \% = (\text{poids creuset plein après séchage} - \text{poids creuset vide}) * 100 / PE$$

PE : prise d'essai

La teneur en eau est déduite à partir de la matière sèche :

$$\% \text{ eau} = 100 - \text{MS}(\%)$$

#### **4.2. Détermination de la matière organique et minérale (AFNOR, 1985)**

La teneur en cendre ou matière minérale est obtenue par incinération de la matière sèche obtenue après déshydratation à 550 °C pendant 24 heures.

Le chauffage au four à moufles à 550 °C permet la destruction et l'élimination totale des matières organiques. La matière sèche se compose de matière organique et de matière minérale incombustible : ce sont les cendres.

Le creuset contenant la matière sèche déjà déterminée est placé au four à 550 °C. Après 24 h, le creuset est refroidi au dessiccateur puis pesé afin de déterminer la teneur en matière minérale (MM) :  $MM = (\text{poids de creuset contenant les cendres} - \text{le poids de creuset vide}) * 100 / MS$

#### **4.3 Technique d'extraction des lipides totaux à froid (Technique de Folch et al. 1957)**

L'objectif de cette technique est de déterminer la quantité de lipides totaux dans des échantillons de l'algue verte et rouge étudiée.

Les lipides extraits par cette technique à froid ne sont pas altérés et il est donc possible de mettre en place une chromatographie gazeuse pour déterminer le profil des acides gras.

##### **a. Principe**

A partir d'une masse connue de prise d'essai, les lipides totaux sont extraits à l'aide d'un mélange de solvants chloroforme + méthanol. Après ajout d'une phase aqueuse, cette extraction s'effectue par séparation de deux phases : la phase inférieure (chloroforme + lipides) et supérieure (méthanol + eau). Le filtrat obtenu est évaporé et la quantité de lipides mis à sec est pesée.

##### **b. Mode opératoire**

Dix grammes de chaque algue sont additionnés de 60 ml de réactif de Folch (méthanol+chloroforme). Ils sont broyés à l'aide d'un homogénéisateur (type Ultra thorax ou broyeur MSE) pendant 2 minutes. Le mélange obtenu est filtré sur verre fritté.

Ce filtrat est versé dans une ampoule à décanter. La séparation des phases s'effectue à l'aide de 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/lipides) filtrés sur sulfate de sodium ayant la propriété d'absorber l'eau est recueillie dans un ballon à col rodé préalablement pesé.

La phase supérieure (méthanol/eau) est rincée à l'aide de 50ml 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 .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.

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

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

$P_2$  : poids du ballon contenant les lipides.

$P_1$  : poids du ballon vide.

$P_E$  : prise d'essai.

#### 4.4. Dosage des protéines (Lowry, 1951)

La méthode de LOWRY (1951) pour la détermination du taux de protéines consiste à broyer une masse d'échantillons de 1g avec une eau physiologie suivie d'une filtration.

A partir du filtrat obtenu, un volume de 1 ml est prélevé auquel est rajoutée de l'eau distillée jusqu'à 100 ml.

En parallèle, une solution mère de BSA (0,025g de BSA dans 100 ml d'eau distillée) est préparée afin d'effectuer le courbe étalon.

Le réactif de LOWRY (voir annexe) est ajouté à raison de 5 ml dans chaque tube pour les tubes de préparation BSA (courbe d'étalonnage) ainsi que pour la solution à doser. Les tubes sont bien agités. Au bout de 10 minutes, 0,5 ml du FOLIN SIOCALTEU dilué à moitié (5 ml de Folin + 5 ml d'eau distillée) sont ajoutés dans les tubes BSA et les tubes échantillons. Les tubes sont vortexés et laisser 30 mn à l'obscurité au réfrigérateur. Par la suite les absorbances sont lu à la longueur d'onde 600 nm.

#### 4.5. Dosage des polysaccharides totaux

Les polysaccharides totaux ont été déterminés par la méthode de Dubois (1956) basée sur l'utilisation du phénol et de l'acide sulfurique concentré. En présence de ces deux réactifs, les oses donnent une couleur jaune-orange dont l'intensité, mesurée à 490 nm est proportionnelle à la concentration des sucres totaux.

Des concentrations différentes en glucose sont utilisées afin d'établir un courbe étalon.

#### 4.6. Dosage des fibres alimentaires totales

La détermination de la teneur en fibres alimentaires totales est basée sur la méthode adoptée par Li et Cardozo (1994). Très brièvement, chacune des algues est suspendue dans de l'eau pour solubiliser les sucres et d'autres composants hydrosolubles. Les composants de fibres hydrosolubles sont ensuite précipités avec de l'éthanol. Le résidu est lavé séquentiellement avec de l'éthanol à différents degrés puis avec de l'acétone. Ce résidu est ensuite séché. La teneur en fibres alimentaires totales est calculée après soustraction de la teneur en protéines et celles des cendres.

#### 4.7. Dosage des pigments (chlorophylle et caroténoïdes)

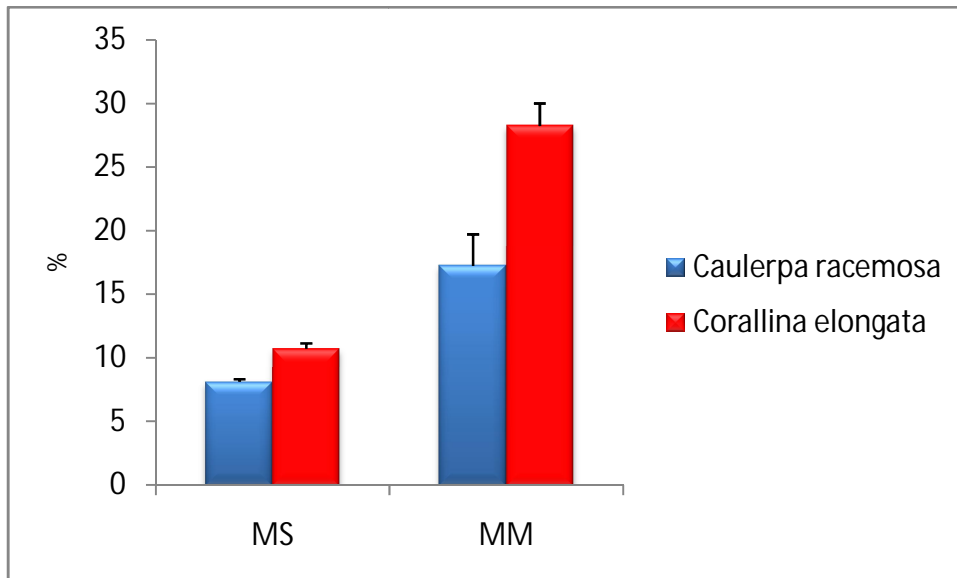
La chlorophylle totale ainsi que les caroténoïdes ont été estimés selon la méthode d'Arnon (1949) et Kirk et Allen (1965), respectivement. L'extraction de ces pigments a été réalisée avec de l'acétone à 80%. L'absorbance de l'extrait est lue à différentes longueurs d'ondes (663, 645 et 480 nm) pour l'estimation de la chlorophylle totale et des caroténoïdes.

#### 4.8. Analyses statistiques

Les données ont été analysées à l'aide d'une analyse de variance (ANOVA) à l'aide de Microsoft Office Excel 2010. La notation  $p < 0,05$  est utilisée pour toute différence significative.

### 1. Teneur en matière sèche

Les valeurs de la matière sèche des échantillons analysés sont représentées dans la figure 14.



**Figure 14.** Teneur en matière sèche (/100 g de matière fraîche) et matière minérale (/100g de MS) de *Caulerpa racemosa* et *Corallina elongata*.

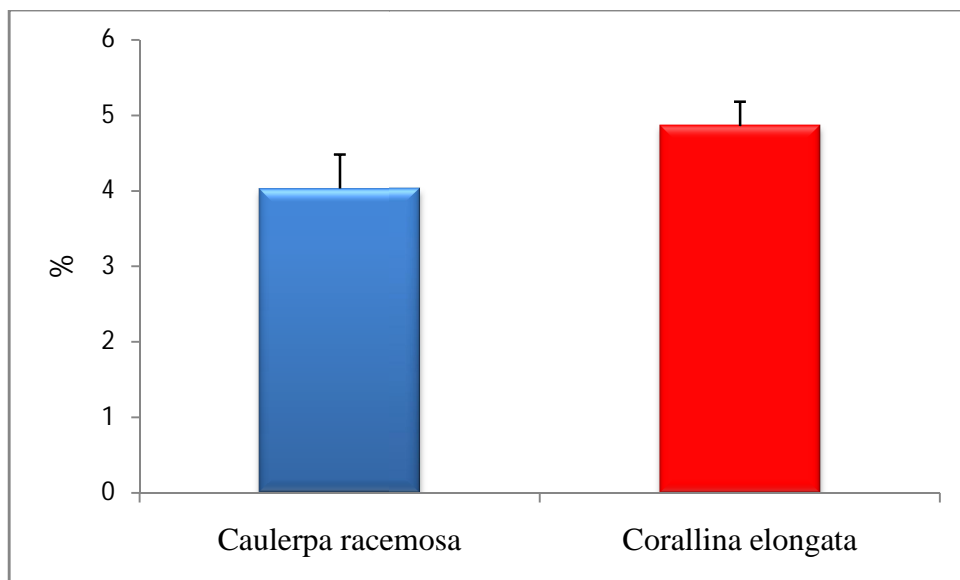
La teneur en matière sèche de l'algue *Caulerpa racemosa* est moins élevée par rapport à l'algue *Corallina elongata* (respectivement 8,13 et 10,73 % MF).

### 2. Teneur en matière minérale

L'algue *Corallina elongata* est plus riche en matière minérale comparée à l'algue verte *Caulerpa racemosa* (respectivement 28,25 et 17,25/100 g de MS,  $p < 0,05$ ) (figure 14).

### 3. Teneur en lipides

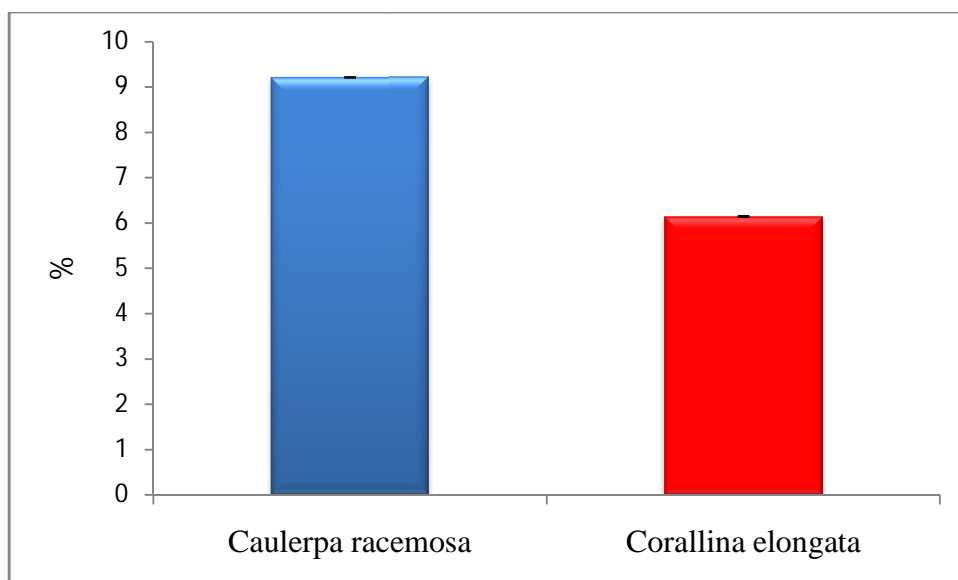
Les proportions des lipides totaux obtenues sur les échantillons de l'algue verte et rouge étudiées sont très semblables ( $p > 0,05$ ) (figure 15). En effet, les teneurs obtenues sont de 4,86 % et 4,03 % de matière sèche respectivement chez *Corallina elongata* et *Caulerpa racemosa*.



**Figure 15.** Teneur en lipides des deux algues *Caulerpa racomosa* et *Corallina elongata* (/100 g de matière sèche).

#### 4. Teneur des protéines

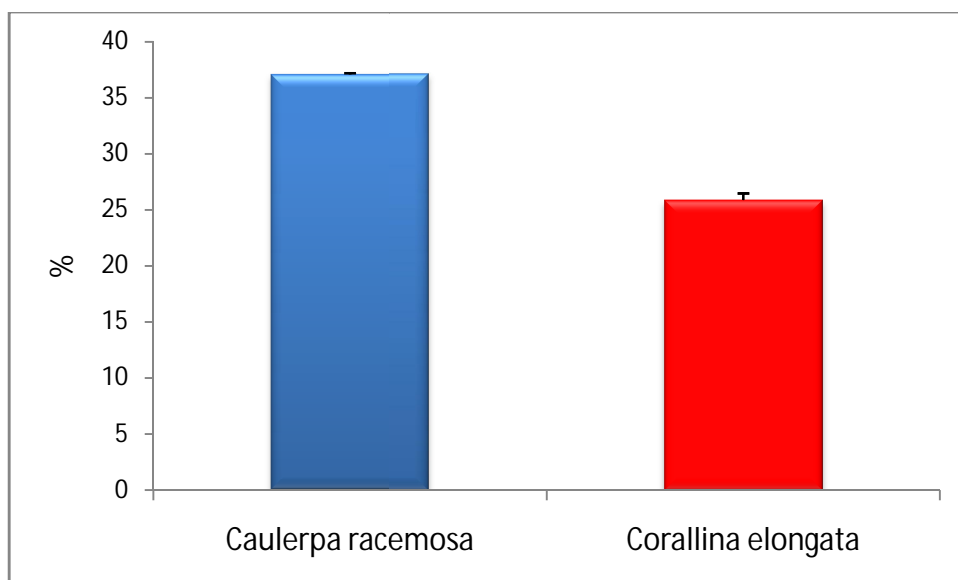
D'après la figure 16, il apparaît que la teneur en protéines de l'algue verte est plus élevée (9,21 % MS) que celle de l'algue rouge (6,14 % MS) ( $p < 0,05$ ).



**Figure 16.** Teneur en protéines (/100 g de matière sèche) chez *Caulerpa racemosa* et *Corallina elongata*.

### 5. Teneur des polysaccharides

Le taux des polysaccharides totaux chez *Caulerpa racemosa* est 1,4 plus élevé par rapport à celui de *Corallina elongata* (figure 17).

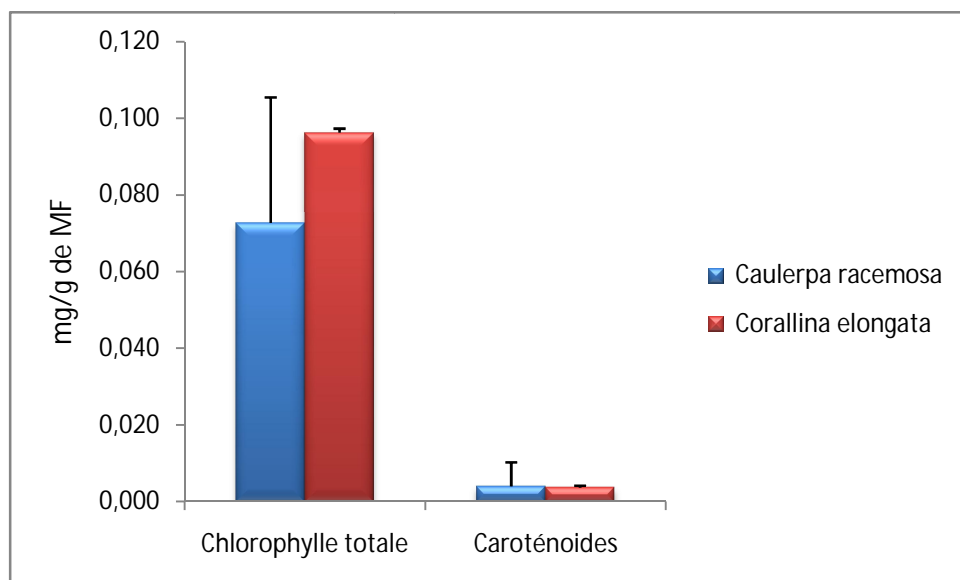


**Figure 17.** Teneur en polysaccharides totaux (/100 g de matière sèche) chez *Caulerpa racemosa* et *Corallina elongata*.

## 6. Teneur des pigments

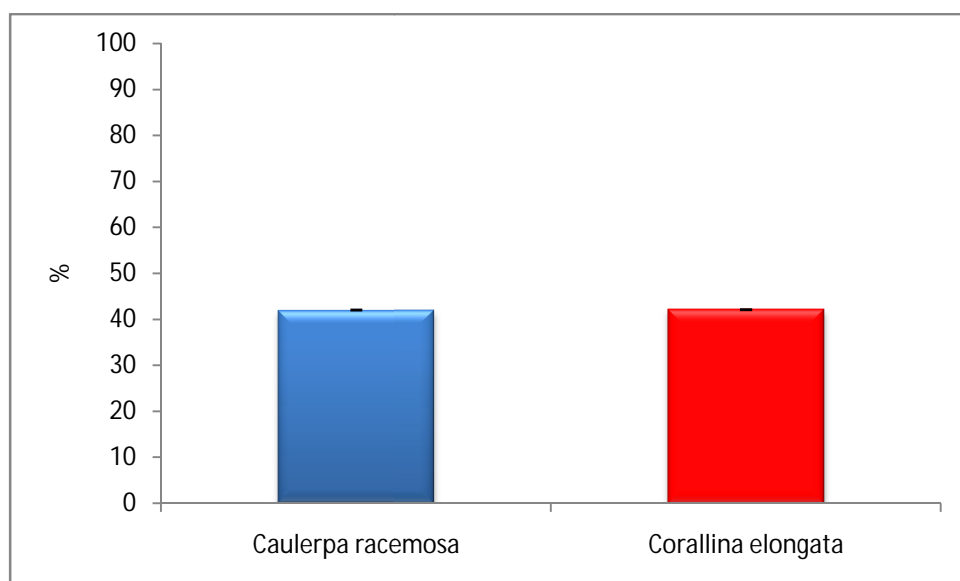
Le taux de chlorophylle totale chez *Corallina elongata* est 1,3 plus élevé par rapport à celui de *Caulerpa racemosa* (figure 18).

Les deux algues semblent contenir la même et faible proportion de caroténoïdes.



**Figure 18.** Teneur des pigments chez *Caulerpa racemosa* et *Corallina elongata* (mg/g de matière fraîche).

### 7. Teneur des fibres alimentaires



**Figure 19.** Teneur en fibres alimentaires totales (/100 g de matière sèche) chez *Caulerpa racemosa* et *Corallina elongata*.

D'après la figure 19, le taux des fibres alimentaires (% de matière sèche) chez l'algue verte *Caulerpa racemosa* est comparable à celui de l'algue rouge *Corallina elongata* ( $p>0,05$ ) et se situe au alentour de 40%.

## Discussion

### 1. Teneur en matière sèche

Il ressort de la figure 14, que les teneurs en matière sèche sont relativement élevées pour l'algue rouge comparativement à l'algue verte. Cette différence notée est tout à fait justifiée. En effet, les algues proviennent d'un milieu marin, elles sont immergées dans de l'eau durant tout leur cycle de vie, c'est ce qui explique leur contenu élevé en humidité qui est de 91,87% et 89,73% respectivement chez *Caulerpa racemosa* et *Corallina elongata*.

En général, les espèces d'algues diffèrent par leur contenu hydrique et ceci s'explique par la profondeur à laquelle se situent les différentes espèces d'algues. Les algues vertes situées au niveau de l'étage supralittoral sont sujettes à des périodes d'émersion et de dessiccation, ce qui est très rare chez les algues rouges (Mabeau and Fleurence, 1993). Toutefois, le taux d'humidité entre les deux algues est comparable ( $p > 0,05$ ) en raison du fait que ces deux algues ont été récoltées dans le même milieu et au même étage supralittoral et non pas en profondeur comme est généralement le cas des algues rouges.

### 2. Teneur en matière minérale

L'algue rouge *Corallina elongata* se distingue par un contenu plus important en minéraux par rapport à l'algue verte *Caulerpa racemosa* (respectivement 28,25 % MS et 17,25 % MS). La teneur élevée des minéraux chez cette algue rouge est due à sa nature calcaire et donc à la forte incrustation de calcaire (MacArtain et al, 2007; Mabeau & Fleurence, 1993).

L'eau de mer est très riche en minéraux, permettant aux végétaux marins de puiser une richesse incomparable de macroéléments et d'oligoéléments, ce qui en fait leur principal attrait, car les colloïdes des algues ont une forte attraction pour les sels minéraux hydrosolubles.

D'après la littérature, la teneur en minéraux chez les algues varie généralement entre 8% et 40% (Mabeau and Fleurence, 1993 ; MacArtain et al. 2007). Les valeurs obtenues dans notre étude correspondent à cet intervalle, mais, elles sont considérablement plus élevées que celles rapportées par d'autres auteurs particulièrement pour l'algue verte (Mabeau and Fleurence, 1993 ; MacArtain et al. 2007). Cependant, cette proportion est faible comparée à celle de *Caulerpa racemosa* de l'étude de Kumar et al (2011). La différence peut être expliquée par le fait que le contenu minéral des algues varie en fonction de plusieurs facteurs: espèce, localisation géographique, saison, variations environnementales et physiologiques, procédure de minéralisation (Mabeau and Fleurence, 1993; Kaehler and Kennish, 1996; Sanchez-Machado, 2004; Siddique et al., 2013). Les teneurs en minéraux obtenues avec les deux

Algues constituent un facteur intéressant pour combler les carences en minéraux de certains régimes alimentaires.

### 3. Teneur en lipides

Les deux algues se révèlent très pauvres en lipides. L'algue verte enregistre une valeur de 4,03g/100g MS, très comparable à celle de l'algue rouge qui enregistre une valeur de 4,86g/100g MS).

La teneur lipidique chez les algues est très faible et varie de 1 à 3% de la matière sèche. Du point de vue qualitatif, les lipides des algues diffèrent de ceux des végétaux terrestres. Ils présentent une proportion en acides gras essentiels supérieure et les acides gras insaturés sont prédominants (Darcy vrillon, 1993).

D'après la littérature, les teneurs en lipides chez les algues varient entre les espèces, la localisation géographique, la saison, la température, la salinité, l'intensité lumineuse, mais encore l'interaction entre ces facteurs, et enfin la méthode d'extraction utilisée (Myachita et al., 2013; Sanchez-Machado et al, 2004 a,b ; Yaich et al., 2011). A cet effet, Kumar et al (2011) rapportent un taux de 2,64 % en lipides dans *Caulerpa racemosa*, un taux inférieur à celui retrouvé dans notre étude.

Il est rapporté que les algues marines ne sont pas une source conventionnelle en énergie, avec un contenu faible en lipides, mais, leurs acides gras polyinsaturés, peuvent être aussi élevés que ceux des végétaux terrestres (Darcy Vrillon, 1993). De plus, du point de vue qualitatif, les lipides des algues diffèrent de ceux des végétaux terrestres.

### 4. Teneur des protéines

D'après la figure 16, les deux algues étudiées montrent des teneurs en protéines brutes moyennement élevées. La teneur la plus importante est enregistrée avec l'algue verte *Caulerpa racemosa* (9,21%), suivie de l'algue rouge *Corallina elongata*. (6,14%).

Les valeurs enregistrées avec les deux algues sont inférieures à celles rapportées par la littérature. En effet, d'après Fleurence (1999), la teneur protéique dans les algues varie entre (10 et 21%). Il est rapporté que la teneur en protéines des algues marines varie fortement entre les espèces et dépend des saisons et des conditions environnementales (Dawczynski et al., 2007; De Oliveira et al. 2009).

L'intérêt nutritionnel des protéines dépend aussi de leur digestibilité, car certaines algues ont des fibres représentés par des polysaccharides non digestibles, qui en se fixant sur les protéines, empêchent une bonne assimilation de celles-ci.

## 5. Teneur des polysaccharides

Les algues constituent des sources importantes de polysaccharides de 33 à 61% ayant des structures variées et originales, différentes de celles des végétaux terrestres. Du point de vue nutritionnel, la majorité des polysaccharides algaux sont représentés par des

Polysaccharides non digestibles, excepté pour l'amidon chez les algues vertes et le floridoside chez les algues rouges (Marfaing, 2004). Le taux de sucres chez *Caulerpa racemosa* est 1,4 plus élevé par rapport à *Corallina elongata*.

D'une manière générale, hormis la cellulose, les structures chimiques précises des polysaccharides insolubles restent très mal connues. Plus intéressante, la fraction des polysaccharides solubles représente de 51% à 56% des polysaccharides totaux chez les algues vertes et rouges, et de 67 à 87% chez les algues brunes.

Le contenu en polysaccharides dans les macro-algues est influencé par plusieurs facteurs environnementaux, biologiques et physiques. Par exemple, la période de récolte, l'espèce d'algue et le protocole d'extraction influencent les rendements en polysaccharides mais aussi leur structure. Ceci aura des conséquences importantes sur leur activité biologique (Marfaing, 2004).

## 6. Teneur des pigments

Il a été admis que la composition pigmentaire des algues soit la cause de leur répartition altitudinale. Les algues vertes riches en chlorophylles sont limitées aux zones peu profondes, tandis que, les algues rouge riches en caroténoïdes sont localisées plus profondément. Dans notre expérimentation, la teneur en chlorophylle de l'algue verte ne dépassait pas celle de l'algue rouge, qui dans la majorité des cas se trouve en profondeur, or, *Corallina elongata* a été collecté à la même profondeur que *Caulerpa racemosa*, et ont été donc exposées au même rayonnement du soleil.

Les teneurs en chlorophylle totale et en caroténoïdes chez *Caulerpa racemosa* dans cette étude sont moins élevées que celles retrouvées dans l'étude de Jayasankar et Ramalingam (1993) et celle de Kumar et al (2011). Ceci confirme que la localisation géographique exerce un effet significatif sur la teneur en différents composants dont les pigments.

La composition en caroténoïdes des algues vertes reste voisine de celle des plantes supérieures : Les principaux caroténoïdes présents sont le  $\beta$ - carotène, la lutéine, la violaxanthine, l'antheraxanthine, la zeaxanthine, et la neoxanthine. Un grand nombre d'études a démontré les propriétés antioxydantes des caroténoïdes algaux et le rôle qu'ils jouent dans la prévention de plusieurs pathologies liées au stress oxydatif (Okuzumiet al, 1993; Yan et al. 1999 in Marfaing, 2004).

## 7. Teneur des fibres

Parmi la proportion des fibres solubles polysaccharidiques, on y retrouve l'alginate, l'agar-agar, les carraghénanes, le fucoïdane, le laminarane, ...ect. Utilisés dans les aliments en tant qu'agents épaississants, gélifiants et émulsifiants, ces polysaccharides ont également

Récemment démontré de nombreuses activités biologiques, notamment anticoagulante, anti-inflammatoire, antivirale, immunostimulante.

D'après la figure 19, les deux algues étudiées montrent des teneurs en fibres alimentaires totale et relativement élevées.

Les macroalgues comestibles contiennent des quantités inhabituellement élevées en fibres, allant de 23,5% (*Codiumreediae*) à 64,0% de Poids sec dans *Gracilariaspp.*, des valeurs qui dépassent souvent Celles du son de blé (Ruperez et Saura-Calixto, 2001;McDermid et al, 2005; Benjama et Masniyom, 2012). D'ailleurs, selon certains auteurs (Lahaye, 1991 ; Dawczynski et al, 2007), les fibres totales contenues dans les algues comestibles sont beaucoup plus élevées que celles retrouvées dans les plantes supérieures

Pour notre part, les taux de fibres se situaient aux alentours de 40%, ce qui démontre que ces deux algues sont une source potentielle de fibres, composants nutritionnels important dans la ration alimentaire quotidienne. En effet, les fibres améliorent le transit intestinal et certains sont considérés comme des prébiotiques qui contribuent à l'amélioration de la santé du tractus digestif.

## Conclusion

Le présent travail s'est orienté vers l'étude de quelques éléments nutritifs de deux algues du littoral algérien : l'algue verte *Caulerpa racemosa* et l'algue rouge *Corallina elongata* collectées au niveau du littoral de la ville de Mostaganem (Salamandre).

A travers leur composition chimiques, ces deux algues ont démontré des potentialités nutritionnelles relativement intéressantes, ceci se justifie par:

- la présence d'une fraction minérale relativement élevée, ce qui constituerait un apport important et élevées en macroéléments et oligoéléments, notamment par l'algue rouge *corallina elongata* plus riches en matière minérale par rapport à l'algue verte *caulerpa racemosa* ;
- par la présence d'une proportion en lipides totaux faible chez les deux algues étudiées, mais qui restent cependant relativement élevée par rapport à ce que décrit la littérature.
- Ces deux algues constituent une source importante de polysaccharides, qui étaient plus élevés chez l'algue verte comparativement à l'algue rouge.
- Enfin, aussi bien *Caulerpa racemosa* que *Corallina elongata*, contiennent des teneurs assez intéressantes en fibres, ce qui représenterait un atout nutritionnel par rapport aux végétaux terrestres.

En perspective, il serait intéressant de pousser nos investigations à la caractérisation nutritionnelle de ces algues, particulièrement de la *Caulerpa racemosa* du point de vue qualitatif (Acides gras, acides aminés.....) et d'étudier son éventuelle contamination par les métaux lourds et ce à travers les différentes saisons. Ceci permettrait de cerner cette algue sur son potentiel nutritionnel et nutraceutique.

### A

Abed R M, Dobretsov S, Sudesh K (2008). Applications of cyanobacteria in biotechnology. *Journal of Applied Microbiology* 106 (1) : 1–12 (Livre Turquoise – Algues, filières du futur.11/2010).

Augier H., 2007, GUIDE DES FONDS MARINS DE MEDITERRANEE. ECOLOGIE, FLORE, FAUNE, PLONGEES , Guides du naturaliste, ed. Delachaux et Niestlé, 456p.  
Cabioch J., Floch J.-Y., Le Toquin A., Boudouresque C.-F., Meinesz A., Verlaque M., 2006, GUIDE DES ALGUES DES MERS D'EUROPE, MANCHE, ATLANTIQUE, MEDITERRANEE , Les guides du naturaliste, ed. Delachaux & Niestlé, 272p.  
Augustin M.A. and Hemar Y., Nano- and micro-structured assemblies for encapsulation of food ingredients. *Chem Soc Rev*, 2009, 38, 902-912.

Assoumani M.B., 1997. AquaMin, natural calcium supplement derived from seaweed. *Agro-Food-Industry HiTech*: 45-47.

Aslam, M. N. et. Al., 2009. Growth inhibitory affects of a mineralized extract from the red marine algae, *Lithothamnion calcareum*, on Ca<sup>2+</sup>-sensitive and Ca<sup>2+</sup>-resistant human colon carcinoma cells. *Cancer Letters*, 283(2), 186-19

### B

Balunas M, Kinghorn J (2005). Drug discovery medicinal plants. *Life science*. 78. 431.

Barrington K, Chopin T, Robinson S (2009). Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine temperate waters. *Integrated mariculture. a global review*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. 529: 7–46. (Livre Turquoise – Algues, filières du futur.11/2010).

Bailey, J. C. & Chapman, R. L. 1998. A phylogenetic study of the Corallinales (Rhodophyta) based on nuclear small-subunit rRNA gene sequences. *J. Phycol.* 34:692–705.

Bailey, J. C., Gabel, J. E. & Freshwater, D. W. 2004. Nuclear 18S rRNA gene sequence analyses indicate that the Mastophoroideae (Corallinales, Rhodophyta) is a polyphyletic taxon. *Phycologia* 43:3–12.

Bremer, B. 1994. Branch support and tree stability. *Cladistics* 10:295–304.

Brodie, J. & Guiry, M. D. 1988. Life history and reproduction of *Botryocladia ardreana* sp. nov. (Rhodophyta, Rhodymeniales) from Portugal. *Phycologia* 27:109–30.

Brodie, J. & Zuccarello, G. C. 2007. Systematics of the species rich algae: red algal classification, phylogeny and speciation. In Hodkinson, T. R. [Ed.] *Reconstructing the Tree of Life: Taxonomy and Systematics of Species Rich Taxa*. CRC/Taylor & Francis, Boca Raton, Florida, pp. 317–30.

Bailey, J. C. & Chapman, R. L. 1998. A phylogenetic study of the Corallinales (Rhodophyta) based on nuclear small-subunit rRNA gene sequences. *J. Phycol.* 34:692–705.

Bernari, Matthew W., Gerwick, William H., 1994. Eicosanoids from the tropical red alga *Murrayella pericladus*. *Phytochemistry* 36, 1233–1240. Boettcher and Targett, 1993; Mc Clintock and Baker, 2001 Blouin N, Calder BL, Perkins B, Brawley SH (2006) Sensory and fatty acid analyses of two Atlantic species of *Porphyra* (Rhodophyta). *J Appl Phycol* 18:79–85 Benkdad A, Laissaoui A, Tornero MV, Benmansour M, Chakir E, Garrido IM, Moreno JB (2011) Trace metals and radionuclides in macroalgae from Moroccan coastal waters. *Environ Monit Assess* 182:317–324

Bourgougnon N, Stiger-Pouvreau V (2011) Chemodiversity and bioactivity within red and brown macroalgae along the French coasts, metropol and overseas departments and territories. In: Kim S-E (ed) *Handbook of marine macroalgae: biotechnology and applied phycology*. John Wiley & Sons, Chichester, pp 58–105

### C

Cabioch, J. 1988. Morphogenesis and generic concepts in coralline algae – a reappraisal. *Helgol. Meeresunters.* 42:493–509.

Chamberlain, Y. M. & Cooke, P. J. 1984. Crustose corallines growing in sea-urchin cups at Fanore, Co. Clare. *Br. Phycol. J.* 19:190–1.

Chamberlain, Y. M. & Cooke, P. J. 1984. Crustose corallines growing in sea-urchin cups at Fanore, Co. Clare. *Br. Phycol. J.* 19:190–1.

Cabioch, J. 1972. E´ tude sur les Corallinac´ees II. La morphogene`se, conse´quences syste´matiques et phyloge´ne´tiques. *Cah. Biol. Mar.* 13:137–287.

Certik, M., Andrasi, P., Sajbidor, J., 1996. Effect of extraction methods on lipid yield and fatty acid composition of lipid classes containing  $\gamma$ -linolenic acid extracted from fungi. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 73, 357–365.

Cha S.H., Lee, K. & Jeon, Y., 2006. Screening of extract from red algae in Jeju from potential marine angiotensin-I converting enzyme (ACE) inhibitor activity. *Algae* 21:343-348.

Cottin SC, Sanders TA, Hall WL (2011) The differential effects of EPA and DHA on cardiovascular risk factors. *Proc Nutr Soc* 70:215–231  
Courtois J (2009) Oligosaccharides from plants and algae: production and applications in therapeutics and biotechnology. *Opin Microbiol* 12: 261–273

Cantarel BL, Lombard V, Henrissat B (2012) Complex carbohydrate utilization by the healthy human microbiome. *PLoS One* 7:e28742  
Cabrita ARJ, Maia MRG, Oliveira HM, Sousa-Pinto I, Almeida AA, Pinto E, Fonseca AJM (2016) Tracing seaweeds as mineral sources for farm-animals. *J Appl Phycol* 28:3135–3150

Croft MT, Warren MJ, Smith AG (2006) Algae need their vitamins. *Eukaryot Cell* 5:1175–1183

### D

Darcy-Vrillon B, 1993. Nutritional aspects of the developing use of marine macroalgae for the human food industry. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 44 (1 p. 1/4), S23-S35.

Dhargalka & Pereira, (2005). Seaweed: Promising plant of the Millennium, *Science And Culture*, Vol. 71, Nos. 3-4).

Dawczynski C, Schaefer U, Leiterer M, Jahreis G (2007) Nutritional and toxicological importance of macro, trace, and ultra-trace elements in algae food products. *J Agric Food Chem* 55:10470–10475  
de Jesus Raposo FM, Bernado de Moraes AM, Santos Costa de Moraes RM (2015) Marine polysaccharides from algae with potential biomedical applications. *Mar Drugs* 13:2967–3028  
Dhargalkar V (2015) Uses of seaweeds in the Indian diet for sustenance and well-being. *Sci Cult* 80:192–202

### E

Eldem T., Speiser P. and Hincal A., Optimization of spray-dried and -congealed lipid micropellets and characterization of their surface morphology by scanning electron microscopy. *Pharm Res*, 1991, 8

### F

Fleurence J., Gutbier G., Mabeau S., Leray C.\* \* Centre d'Ecologie et Physiologie Energétiques, CNRS, 23 rue Becquerel, 67087 Strasbourg  
*Journal of Applied Phycology*, 1994, n° 6, p. 527-532 -

Fleurence F, Kaas R., 1999. Les algues marines: une source méconnue de protéines végétales. *Equinoxe* 56: 12-7

Fishelson, L. 2000. Marine Animal Assemblages along the Littoral of the Israeli Mediterranean Seashore: The Red-Mediterranean Seas Communities of Species. Italian Journal of Zoology, 67(4): 393-415.

FAO FishStat 2014. Productions halieutique et aquacole mondiales. Consulté sur <http://data.fao.org/statistics>.

Fujiwara-Arasaki T, Mino N, Kuroda M (1984) The protein value in human nutrition of edible marine algae in Japan. Hydrobiologia 116/117:513–516

Fleurence J (1999b) Seaweed proteins: biochemical, nutritional aspects and potential uses. Trends Food Sci Technol 10:25–28

### G

-Garon-Lardiere, S., 2004. Etude structurale des polysaccharides pariétaux de l'algue rouge *Asparagopsis armata* (Bonnemaisoniales). Université De Bretagne Occidentale.

-Garon-Lardiere, S., 2004. Etude structurale des polysaccharides pariétaux de l'algue rouge *Asparagopsis armata* (Bonnemaisoniales). Université De Bretagne Occidentale.

Gibbons G.; Goad, T.; Goodwin, T., 1967. Phytochem. 6, 677.

Gonzalez R, Rodriguez S, Romay C, et al., 1999. Anti-inflammatory activity of phycocyanin extract in acetic acid-induced colitis in rats. Pharmacological Research 39: 55-9

Girard, J. P.; Marion, C.; Liutkus, M.; Boucard, M.; Rechencq, E.; Vidal, J. P.; Rossi, J. C., 1988. *Planta Med.*, 54, 193.

Guil-Guerrero JL (2007) Stearidonic acid (18:4 n-3): metabolism, nutritional importance, medical uses and natural sources. Eur J Lipid Sci Technol 109:1226–1236

Graeve M, Kattner G, Wiencke C, Karsten U (2002) Fatty acid composition of Arctic and Antarctic macroalgae: indicator of phylogenetic and trophic relationships. Mar Ecol Prog Ser 231:67–74  
Galland-Irmouli A-V, Fleurence J, Lamghari R, Lucon M, Rouxel C, Barbaroux O, Bronowicki J-P, Villaume C, Gueant J-L (1999) Nutritional value of proteins from edible seaweed *Palmaria palmate* (Dulse). J Nutr Biochem 10:353–359

Garcia-Casal MN, Pereira AC, Leets I, Ramirez J, Quiroga ME (2007) High iron content and bioavailability in humans from four species of marine algae. J Nutr 137:2691–2695

Garcia-Casal MN, Ramirez J, Leets I, Pereira AC, Quiroga MF (2009) Antioxidant capacity, polyphenol content and iron bioavailability from algae (*Ulva* sp., *Sargassum* sp and *Porphyra* sp.) in human subjects. *Br J Nutr* 101:79–8

### H

Hebert, P. D. N., Cywinska, A., Ball, S. L. & DeWaard, J. R. 2003. Biological identifications through DNA barcodes. *Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 270:313–21. Holmgren, P., Holmgren, N. H. & Bartlett, L. C. 1990. *Index Herbariorum, Part 1. The Herbaria of the World.* Koeltz Scientific Books, Königstein.

Huntley M, Redalje DG (2007) CO<sub>2</sub> Mitigation et Renewable Oil from Photosynthetic Microbes: A New Appraisal. *Mitigation et Adaptation Strategies for Global Change* 12: 573-608

Haslam, 1989; Hagerman, 2002.

Haslam, 1975; Porter, 1989.

Hehemann JH, Kelly AG, Pudlo NA, Martens EC, Boraston AB (2012) Bacteria of the human gut microbiome catabolize red seaweed glycans with carbohydrate-active enzyme updates from extrinsic microbes. *Proc Natl Acad Sci U S A* 109:19786–19791

Holdt SL, Kraan S (2011) Bioactive compounds in seaweed: functional Food applications and legislation. *J Appl Phycol* 23:543–597

Halliwell B, Gutteridge JMC (2007) *Free radicals in biology and medicine*, 4th edn. Clarendon, Oxford

<http://www.futura-sciences.com/planete/definitions/botanique-cyanobacterie-122/>

Holdt SL, Kraan S (2011) Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *J Appl Phycol* 23:543–597

### I

Idler, Saito, A.; Wiseman, P., 1968. *Steroids*, 465.

### J

Johansen, H. W. 1976. Current status of generic concepts in coralline algae (Rhodophyta). *Phycologia* 15:221–44. Johansen, H. W. 1981. *Coralline Algae, a First Synthesis.* CRC Press, Boca Raton, Florida, 239 pp.

Jean-Blain, 1998; Bruneton, 1999; Mueller-Harvey, 2001.

Jahn, W., Steinbeiss, J., Zetsche, K. - Light intensity adaptation of phycobiliprotein content of the red alga *Porphyridium*. *Planta*, 1984, 161, 536-539.

Jiang HM, Chen F (2000) Effects of temperature and temperature shift on docosahexanoic acid production by the marine microalga *Cryptocodinium cohnii*. *JAOCS* 77:613–617

Jiang HM, Gao KS (2004) Effects of lowering temperature during culture on the production of polyunsaturated fatty acids in the marine diatom *Phaeodactylum tricornutum* (Bacillariophyceae). *J Phycol* 40: 651–654

### K

Klein J. & Verlaque M. (2008). *Marine Pollution Bulletin* 56: 205-225.

Klein J. & Verlaque M. (2009). *Hydrobiologia* 636: 369-378.

Klein J.C. & Verlaque M. (2011). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 91: 117-125.

-Kaimoussi, A., Mouzdahir, A., Saih, A., 2004. Variations saisonnières des teneurs en métaux (Cd, Cu, Fe, Mn et Zn) chez l'algue *Ulva lactuca* prélevée au niveau du littoral de la ville d'El Jadida (Maroc). *Comptes Rendus Biologies*. 327, 361–369.

Khan W., Rayirath U.P.; Subramanian S.; Jithesh M.N.; Rayorath P.; Hodges D.M., Critchley A.T., Craigie J.S., Norrie J., Prithiviraj B.; Seaweed Extracts as Biostimulants of Plant Growth and Development, *J Plant Growth Regul* (2009) 28:386–399

Kumari P, Kumar M, Gupta V, Reddy CRK, Jha B (2010) Tropical marine macroalgae as potential sources of nutritionally important PUFAs. *Food Chem* 120:749–757

### L

Laboratoire d'éco-développement des espaces, Département des sciences de l'environnement, Faculté des sciences, Université Djillali Liabès, BP 89, SIDI-BEL-ABBÈS, 22000, ALGÉRIE.

Courriel : bentaallah.a@gmail.com

Lahaye M., 1998. NMR spectroscopic characterization of oligosaccharides from two *Ulva rigida ulvan* samples (Ulvales, Chlorophyta) degraded by a lyase. *Carbohydr. Res.* 314: 1-12

Lahaye M., 1991. Marine algae as source of fibers: determination of soluble and insoluble dietary fibre content insome sea-vegetables . Journal Sciences Food Agricol. 54: 587-94.

### M

Mabeau S (1990). Le charme discret des macro-algues?. De l'orient à l'occident. vol. 88, pp. 24-29

Mohamed El Amine Bentaallah et Ahmed Kerfouf, « Prolifération de l'algue *Caulerpa racemosa* dans les écosystèmes littoraux de l'Algérie : état des lieux et des connaissances », *Physio-Géo*, Volume 7 | -1, 157-164.

Mohamed El Amine Bentaallah et Ahmed Kerfouf, « Prolifération de l'algue *Caulerpa racemosa* dans les écosystèmes littoraux de l'Algérie : état des lieux et des connaissances », *Physio-Géo* [En ligne], Volume 7 | 2013, mis en ligne le 29 juin 2013, consulté le 17 mars 2017. URL : <http://physio-geo.revues.org/3238> ; DOI : 10.4000/physio-geo.3238

Metting FB (1996) Biodiversity et application of microalgae. Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology 17: 477-489 Muller R.H., Radtke M. and Wissing S.A., Nanostructured lipid matrices for improved microencapsulation of drugs. Int J Pharm, 2002, 242, 121-128.

McClements D.J., Decker E.A. and Weiss J., Emulsion-based delivery systems for lipophilic bioactive components. J Food Sci, 2007, 72, 109-124.

Morgan KC. Wright JLC, Simpson FJ. 1980. Review of chemical constituents of the red algae. *Palmaria palmata*. Econ. Bot; 34: 27–50.

MAGUIRE J. 2015. An overview of the European algal industry and guide to best practice. NETALGAE. PowerPoint presentation - Seagriculture symposium. Cherbourg

Michel C, Benard C, Lahaye M, et al., 1999. Les oligosides algaux comme aliments fonctionnels : étude in vitro de leurs effets cellulaires et fermentaires. Sci. Aliments 19: 311-32.

Mishra VK, Temelli F, Ooraikul B, Shacklock PF, Craigie JS (1993) Lipids of the red alga, *Palmaria palmata*. Bot Mar 36:169–174

Medeiros DM, Wildman REC (2015) Advanced human nutrition. Jones & Bartlett, Burlington

Mak W, Hamid N, Liu T, Lu J, White WL (2013) Fucoïdan from New Zealand *Undaria pinnatifida*: monthly variations and détermination of antioxidant activities. *Carbohydr Polym* 95:606–614

MacArtain P, Gill CIR, Brooks M, Campbell R, Rowland IR (2007) Nutritional value of edible seaweeds. *Nutr Rev* 65:535–543

Miyai K, Tokushige T, Kondo M, Iodine Res G (2008) Suppression of thyroid function during ingestion of seaweed *Bkombu*<sup>^</sup> (*Laminaria japonica*) in normal Japanese adults. *Endocr J* 55:1103–1108

### N

N. OULD AHMED et A. MENEISZ (2007), H. SERIDI (2007), B. BACHIR BOUIDJRA et al. (2010-a, 2010-b), S. LAMOUTI et al. (2011), modifiées.

Norziah MH, Ching CY (2000) Nutritional composition of edible seaweed *Gracilaria changgi*. *Food Chem* 68:69–76

Niwa K, Furuita H, Yamamoto T (2008) Changes of growth characteristics and free amino acid content of cultivated *Porphyra yezoensis* Ueda (Bangiales Rhodophyta) blades with the progression of the number of harvests in a nori farm. *J Appl Phycol* 20:687–693

### O

Okuzumi *et al.*, 1993; Yan *et al.*, 1999 in Marfaing, 2004).

### R

-Ramade, A., 2009. *Eléments d'écologie appliquée*, 4ème édition, Edition Dunod, 689 p.

Remirez D, Gonzalez A, Merino N, et al., 1999. Effect of phycocyanin in Zymosan-induced arthritis in mice. Phycocyanin as an antiarthritic compound. *Drug Dev Res* 48: 70-5.

Ragan and Glombitza, 1986; Targett and Arnold, 1998

Rhatigan P (2009) *Irish seaweed kitchen; the comprehensive guide to healthy everyday cooking with seaweeds*. Booklink

Ruperez P, Saura-Calixto F (2001) Dietary fibre and physicochemical properties of edible Spanish seaweeds. *Eur Food Res Technol* 212: 349–354

### S

See more at: <http://www.alguemarket.com/info/generalite#sthash.TzElxrbX.dpuf>

(Schaechter, 2009 ) Giger-Reverdin, S., 2009. Les variations du bilan carbone des ruminants d'élevage. Renc Rech Rumin. 16.

Schmid M, Guiheneuf F, Stengel DB (2014) Fatty acid contents and profiles of 16 macroalgae collected from the Irish Coast at two seasons. J Appl Phycol 26:451–463

Schiener P, Black KD, Stanley MS, Green DH (2015) The seasonal variation in the chemical composition of the kelp species *Laminaria digitata*, *Laminaria hyperborea*, *Saccharina latissima* and *Alaria esculenta*. J Appl Phycol 27:363–373

Site SVT - <http://www.ac-rennes.fr/pedagogie/svt>).

Stengel DB, Macken A, Morrison L, Morley N (2004) Zinc concentrations in marine macroalgae and a lichen from western Ireland in relation to phylogenetic grouping, habitat and morphology. Mar Pollut Bull 48:902–909

### T

Takagi, M., Karseno, Yoshida T. Effect of salt concentration on intracellular accumulation of lipids and triacylglyceride in marine microalgae *Dunaliella* cell. J Biosci Bioeng. 2006 Mar ;101 (3):223- 226

Takeshi S, Yumiko Y-S, Joko S (2005) Mineral components and antioxidant activities of tropical seaweeds. J Ocean Univ China 4: 205–208

Teas J, Hebert JR, Fitton JH, Zimba PV (2004a) Algae—a poor man's HAART? Med Hypotheses 62:507–510

### U

Urbano MG, Goni I (2002) Bioavailability of nutrients in rats fed on edible seaweeds, Nori (*Porphyra tenera*) and Wakame (*Undaria pinnatifida*), as a source of dietary fibre. Food Chem 76:281–286

### V

Vázquez-Luis M., Sanchez-Jerez P. & Bayle-Sempere J.T. (2009). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 84: 161-170.

Vaugelade P, Hoebler C, Bernard F, et al. 2000. Non-starch polysaccharides extracted from seaweed can modulate intestinal absorption of glucose and insulin response in the pig. *Reprod. Nutr.* 24. Viguerie N, Millet.

### Y

Yuan H, Song J, Li X, Li N, Dai J (2006) Immunomodulation and antitumor activity of  $\kappa$ -carrageenan oligosaccharides. *Cancer Lett* 243: 228–234

### Z

-Zhu, J., Filippich, L.J., Alsalami, M.T., 1992. Tannic acid intoxication in sheep and mice. *Res.*

*Vet. Sci.* 53,280-292.