

République Algérienne Démocratique et Populaire

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

## MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

**Msad Malak Farah**

Pour l'obtention du diplôme de

**MASTER EN HYDROBIOLOGIE MARINE ET CONTINENTALE**

**Spécialité: Bio ressources marines**

**THÈME**

**Valorisation de l'algue invasive *Rugulopteryx okamurae* et de quelques types d'algues en produits cosmétiques**

Soutenue le 07/07/2025

DEVANT LE JURY

Président	Benzidene Hiba	MCA	U. Mostaganem
Encadrant	Borsali Sofia	MCA	U. Mostaganem
Co-encadrant	Ait Mohamed Amer Lilia	MCB	U. Mostaganem
Examineur	Bilami Malika	MAA	U. Mostaganem

*Année universitaire 2024/2025*

*Dédicace*

**Je dédie ce travail**

**A mes parents, qui ont tout sacrifié pour me voir réussir.**

**Vous êtes la source de mes efforts et la flamme de mon cœur.**

**A mon frère Adem et ma sœur mon amour Rym**

**Vous êtes la lumière de mes jours, mon soutien moral, source du bonheur**

**A ma tante Lila, tu m'as toujours transmis la force, la persévérance et la joie de vivre.**

**A mon âme sœur Lamia pour sa présence de tous les instants et pour les beaux souvenirs.**

### ***Remerciements***

Je rends grâce à Dieu Tout-Puissant, qui m'a accordé la santé et la volonté nécessaires pour entreprendre et mener à bien ce mémoire.

J'exprime notre profonde gratitude à Madame Borsali Sofia, dont l'encadrement de qualité, la patience, la rigueur et la disponibilité ont été indispensables tout au long de la réalisation de ce travail. Sans son soutien précieux, ce mémoire n'aurait pas pu voir le jour dans de telles conditions.

J'adresse également nos sincères remerciements aux membres du jury, Madame Bilami, et Madame Benzidene Hiba et Madame Ait Lilia, ainsi qu'à l'ensemble de nos professeurs, pour leur générosité et la grande patience dont ils ont fait preuve malgré leurs nombreuses responsabilités académiques et professionnelles.

## Résumé

Ce mémoire s'inscrit dans une démarche de valorisation durable des ressources marines, en particulier les algues. Il s'intéresse à l'espèce *Rugulopteryx okamurae*, une algue brune invasive présente sur les côtes atlantiques et méditerranéennes, dont la prolifération pose des problèmes écologiques et socio-économiques. Bien que cette algue ne soit pas encore utilisée concrètement dans la fabrication de produits cosmétiques, son potentiel en tant que matière première naturelle est exploré dans le cadre de cette étude.

Dans un premier temps, cette étude porte sur la valorisation de plusieurs types d'algues déjà reconnues et utilisées en cosmétique, notamment pour la fabrication artisanale de savons. Ces algues comme *Cystoseira foeniculacea*, *Ulva lactuca* ou *Chondrus crispus* qui sont connues pour leurs propriétés bénéfiques pour la peau : hydratation, action antioxydante, apaisante et revitalisante. Leur richesse en polysaccharides, minéraux et vitamines en fait des ingrédients naturels recherchés dans les formulations cosmétiques.

Dans un second temps, on a étudié les caractéristiques chimiques et biologiques de *Rugulopteryx okamurae* afin d'évaluer son potentiel d'intégration future dans des produits cosmétiques, notamment les savons. Malgré une utilisation encore limitée à ce jour, des analyses préliminaires suggèrent la présence de composés bioactifs intéressants. La valorisation de cette algue pourrait ainsi représenter une solution innovante pour limiter son impact environnemental tout en créant de nouveaux débouchés économiques.

Ce travail vise donc à établir un lien entre recherche écologique, innovation cosmétique et développement durable.

**Mots clés :** Algues, *Chondrus crispus*, *Cystoseira foeniculacea*, plage de la Salamandre, produits cosmétiques, *Rugulopteryx okamurae*, valorisation, Spiruline, *Sargassum muticum*, *Stidia*, *Ulva lactuca*.

## **Abstract**

This thesis is part of a sustainable approach to the valorization of marine resources, particularly seaweeds. It focuses on *Rugulopteryx okamurae*, an invasive brown alga found along the Atlantic and Mediterranean coasts, whose proliferation raises ecological and socio-economic concerns. Although this species is not yet used in cosmetic product manufacturing, its potential as a natural raw material is explored in this study.

The first part of the study examines the valorization of several types of seaweed already recognized and used in cosmetics, particularly for artisanal soap production. Algae such as *Cystoseira foeniculacea*, *Ulva lactuca*, and *Chondrus crispus* are known for their beneficial effects on the skin: moisturizing, antioxidant, soothing, and revitalizing. Their richness in polysaccharides, minerals, and vitamins makes them highly valued ingredients in cosmetic formulations.

The second part investigates the chemical and biological characteristics of *Rugulopteryx okamurae* to assess its potential future integration into cosmetic products, especially soaps. Although its current use is limited, preliminary analyses suggest the presence of promising bioactive compounds. Valorizing this seaweed could thus offer an innovative solution to reduce its environmental impact while creating new economic opportunities.

This work aims to establish a connection between ecological research, cosmetic innovation, and sustainable development.

**Keywords:** Alga, *Chondrus crispus*, *Cystoseira foeniculacea*, Salamandre beach, cosmetic products, *Rugulopteryx okamurae*, valorization, Spiruline, *Sargassum muticum*, *Stidia*, *Ulva lactuca*. seaweed, soap,

## الملخص

يندرج هذا البحث ضمن نهج يهدف إلى تثمين الموارد البحرية بشكل مستدام، لا سيما الطحالب. ويركز على نوع من ، المنتشر على السواحل الأطلسية والمتوسطية، والذي تسبب *Rugulopteryx okamurae* الطحالب البنية الغازية يُدعى انتشاره في مشكلات بيئية واقتصادية-اجتماعية. وعلى الرغم من أن هذه الطحلب لا يُستخدم بعد في صناعة المنتجات التجميلية، فإن هذا البحث يستكشف إمكانياته كمادة خام طبيعية

يتناول الجزء الأول من الدراسة تثمين عدة أنواع من الطحالب المعروفة والمستخدمه بالفعل في مستحضرات التجميل، لا ، *Ulva lactuca*، و *Cystoseira foeniculacea*: سيما في صناعة الصابون اليدوي. من بين هذه الطحالب ، والتي تُعرف بفوائدها للبشرة مثل الترطيب، ومفعولها المضاد للأكسدة، والمهدئ، والمنعش. *Chondrus crispus* وتُعد غناها بالسكريات المتعددة والمعادن والفيتامينات من العوامل التي تجعلها مكونات طبيعية مطلوبة في التركيبات التجميلية.

بهدف تقييم إمكانياته *Rugulopteryx okamurae* أما الجزء الثاني، فيتناول الخصائص الكيميائية والبيولوجية لطحلب للاستخدام في المنتجات التجميلية مستقبلاً، وخاصة في صناعة الصابون. وعلى الرغم من محدودية استخدامه حالياً، تشير التحاليل الأولية إلى وجود مركبات نشطة حيويًا ذات أهمية. ويمكن أن يُشكل تثمين هذا الطحلب حلاً مبتكرًا للحد من أثره البيئي وخلق فرص اقتصادية جديدة

يهدف هذا العمل إلى الربط بين البحث البيئي والابتكار في مجال مستحضرات التجميل والتنمية المستدامة

، *Ulva lactuca*، التثمين، المنتجات التجميلية، الطحالب، الصابون، *Rugulopteryx okamurae*: الكلمات المفتاحية  
*Chondrus crispus*.

**Listes d'abréviations :**

EPA : agence de protection de l'environnement

MAA : acide méthacrylique

µg : micro gramme

FAO : organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

% : pourcentage

Km : kilomètre

T : température

## Liste des figures

Figure 01 : <i>Chondrus crispus</i>	10
Figure 02 : Cycle de reproduction de <i>Chondrus crispus</i>	11
Figure 03 : <i>Ulva lactuca</i>	12
Figure 04: Carte représentative de la distribution mondiale de l'algue verte <i>Ulva lactuca</i> (facility 2013)	12
Figure 05 : Spiruline sous microscope	13
Figure 06 : <i>Cystoseira foeniculacea</i>	15
Figure 07 : <i>Sargassum muticum</i>	16
Figure 08: Les phases successives d'une introduction d'espèce (Boudouresque, 1999)	18
Figure 09 : Progression de <i>R. okamurae</i> dans la méditerranée et les risques associés (Garcia Gomez <i>et al.</i> , 2020)	22
Figure 10 : <i>Rugulopteryx okamurae</i> (Dawson) I.K. Hwang, W.J. Lee et H.S. Kim de l'étang de Thau	24
Figure 11 : Distribution géographique de <i>Rugulopteryx okamurae</i> (MTERD, 2020)	27
Figure 12 : A : Tapis dense sous l'eau (Scorsonelli, 2021) ; B : <i>Rugulopteryx okamurae</i> (Le bris, 2019)	28
Figure13: Récolte des algues sur terrain (Photo personnelle)	30
Figure 15 : Localisation géographique de zone de Stidia Mostaganem (Taleb, 2021)	30
Figure16 : Plage de la salamandre (Photo personnelle)	31
Figure17 : Espèces échantillonnées ; A : <i>Cystoseira foeniculacea</i> ; B : <i>Chondrus crispus</i> ; C : <i>Sargassum muticum</i> (Photos personnelles)	31
Figure18 : Séchage des algues à l'air libre (Photos personnelles)	32
Figure 19 : Broyage des algues	32
Figure 20: <i>Rugulopteryx okamurae</i> (Salamandre, Photo personnelle)	33
Figure 21: Etapes de fabrication du savon	35
Figure 22 : Composition en acides gras obtenue pour <i>Rugulopteryx okamurae</i> (moyenne $\pm$ ET, n = 3) (Radia NA Belhadj <i>et al.</i> , 2024)	37
Figure 23 : Savons des d'algues échantillonnées	42

### *Liste des tableaux*

Tableau 1 : Composition approximative de <i>Rugulopteryx okamurae</i> (moyenne $\pm$ ET, n = 3) (Radia NA Belhadj <i>et al</i> , 2024)	36
Tableau 2 : Monosaccharides présents dans <i>Rugulopteryx okamurae</i> (moyenne $\pm$ ET, n = 3) (Radia NA Belhadj <i>et al</i> , en 2024)	38
Tableau 3 : Teneur en minéraux de <i>Rugulopteryx okamurae</i> (moyenne $\pm$ ET, n = 3) (Radia NA Belhadj <i>et al</i> , 2024)	39
Tableau 04 : Comparaison entre les trois méthodes de saponification	41

Résumé  
 Liste des abréviations  
 Liste des figures  
 Liste des tableaux

## *Sommaire*

Introduction	1
<b>Chapitre 1 : Synthèse bibliographiques sur les Algues</b>	
<b>1- Introduction</b>	4
<b>2- Les algues en Algérie</b>	4
<b>2-1- Les algues vertes</b>	5
<b>2-2- Algues brunes (Phéophycées)</b>	5
<b>2-3- Les algues rouges (Rhodophycées)</b>	6
<b>2-4- Les Cyanobactéries ou les algues bleues</b>	6
<b>3- Intérêt des algues marines dans le monde</b>	6
<b>4- Composition chimique</b>	6
<b>4-1- Fibres</b>	7
<b>4-2- Lipides</b>	7
<b>4-3- Calcium</b>	7
<b>4-4- Caroténoïdes</b>	8
<b>4-5- Les pigments et les composés phénoliques</b>	8
<b>5- Dans le domaine pharmaceutique et médical</b>	9
<b>5-1- Antioxydants naturels d'origine marine</b>	9
<b>6- En cosmétique</b>	9
<b>7- Présentation des espèces échantillonnées</b>	9
<b>7-1- <i>Chondrus crispus</i></b>	9
<b>7-1-1- Morphologie</b>	9
<b>7-1-2- Classification</b>	10
<b>7-1-3- Reproduction</b>	10
<b>7-1-4- Distribution et habitat</b>	11
<b>8- <i>Ulva lactuca</i></b>	11
<b>8-1- Position systématique</b>	11

8-2- Description	12
8-3- Distribution Géographique	12
8-4- Composition biochimique	13
9- Spiruline	13
9-1- Morphologie de la Spiruline	13
9-2- Taxonomie	14
9-3- Température	14
9-4- Les Eléments nutritifs	14
9-5- La reproduction	15
10- <i>Cystoseira foeniculacea</i> (Linnaeu)	15
10-1- Description morphologique	15
10-2- Écologie	15
10-3- Distribution	16
11- <i>Sargassum muticum</i>	16
11-1- Morphologie	16
11-2- Reproduction	16
11-3- Écologie	16
<b>Chapitre 2 : Les algues invasives et Impacts écologiques</b>	
I- Les algues invasives et leurs impacts	17
I-1- Les espèces invasives	17
I-1-1- Le processus d'introduction	17
I-2- Les impacts causés par ces espèces marines invasives	18
I-2-1- Impacts environnementaux	18
I-2-2- Impacts sur la santé et sur le bien-être humain	18
I-2-3- Impacts économiques	19
I-2-4- Impacts culturels	19
I-3- Voies et vecteurs d'introduction	19
I-5- Détection précoce, réponse rapide	20
II-1- Présentation de l'algue <i>Rugulopteryx okamuræ</i>	21
II-2- Origine	21
II-3- Biologie et écologie	23

<b>II-3-1- Biologie</b>	<b>21</b>
<b>II-3-1-1- Classification (Lamare, 2021)</b>	<b>21</b>
<b>II-3-1-2- Description</b>	<b>21</b>
<b>II-4- Reproduction</b>	<b>24</b>
<b>II-4-1- Reproduction végétative et asexuée</b>	<b>25</b>
<b>II-4-2- Sa propagation</b>	<b>25</b>
<b>II- 5- Alimentation</b>	<b>26</b>
<b>II-6- Pigmentation</b>	<b>26</b>
<b>II-7- Distribution géographique et dynamique d'invasion</b>	<b>27</b>
<b>II-7-1- Zones Touchées</b>	<b>27</b>
<b>II-7-2- Mode de Dispersion</b>	<b>27</b>
<b>- Transport maritime</b>	<b>27</b>
<b>- Courants marins</b>	<b>27</b>
<b>II-7-3- Habitat</b>	<b>28</b>
<b>Impacts Écologiques</b>	<b>28</b>
<b>II-8- Un impact économique important</b>	<b>29</b>
<b>Chapitre 3 : Matériel et méthodes</b>	
<b>1-Le plateau de Mostaganem</b>	<b>30</b>
<b>2-Sites de prélèvement</b>	<b>30</b>
<b>2-1- Plage de Stidia</b>	<b>30</b>
<b>2-2- Plage de salamandre</b>	<b>31</b>
<b>3- Echantillonnage</b>	<b>31</b>
<b>3-1- Identification des algues</b>	<b>31</b>
<b>5- Récolte de <i>Rugulopteryx okamurae</i></b>	<b>33</b>
<b>6- Préparation de savon</b>	<b>34</b>
✓ <i>Préparation</i>	<b>34</b>
✓ <i>Quelles sont les conditions optimales de conservation d'un savon à base melt and pour ?</i>	<b>34</b>
<b>Chapitre 4 : Résultats et discussion</b>	
<b>1-Valorisation de l'algue <i>Rugulopteryx okamurae</i></b>	<b>36</b>
<b>1-1-Valorisation biochimique</b>	<b>36</b>
<b>1-1-1- Composition immédiate</b>	<b>36</b>
<b>1-1-2-Profil des acides gras</b>	<b>37</b>

<b>1-1-3-Profil des monosaccharides</b>	<b>38</b>
<b>1-1-4- Composition minérale</b>	<b>38</b>
<b>1-2- Valorisation énergétique (bioénergie)</b>	<b>39</b>
<b>1-3- Valorisation agricole et fertilisante</b>	<b>39</b>
<b>1-4- Extraction de composés bioactifs et pharmaceutiques</b>	<b>39</b>
<b>1-5- Valorisation en biomatériaux (bioplastiques, compostables)</b>	<b>40</b>
<b>1-6- Utilisation en alimentation animale</b>	<b>40</b>
<b>2- Valorisation en fabrication de savon</b>	<b>40</b>
<b>Conclusion générale</b>	<b>43</b>
<b>Références bibliographiques</b>	<b>45</b>

# **INTRODUCTION**



L'écosystème marin qui recouvre plus de 70 % de la surface de la planète, représente un réservoir inestimable de biodiversité et une source majeure de biomolécules aux applications multiples. Parmi les organismes marins, les macro-algues jouent un rôle écologique crucial en tant que producteurs primaires, mais elles suscitent également un intérêt croissant dans le domaine des biotechnologies.

Leur richesse en composés bioactifs tels que les polysaccharides, les polyphénols, les pigments et les acides gras en fait des ressources naturelles de choix pour des secteurs variés, allant de l'agroalimentaire à la pharmacologie, en passant par la cosmétique.

Depuis plusieurs décennies, l'industrie cosmétique s'est tournée vers les actifs marins pour répondre à une demande accrue en produits naturels, durables et respectueux de l'environnement. Les extraits d'algues sont ainsi largement utilisés pour leurs propriétés hydratantes, anti-oxydantes, anti-inflammatoires et régénératrices, qui répondent parfaitement aux attentes des consommateurs soucieux de préserver leur santé cutanée tout en privilégiant des solutions éco-responsables.

Plus largement, la valorisation des algues en cosmétique s'inscrit dans une tendance mondiale vers la "blue-economy" ou économie bleue, qui vise à exploiter durablement les ressources marines.

Traditionnellement, ce sont des espèces comme *Laminaria digitata* (algue brune), *Chondrus crispus* (algue rouge) ou encore *Ulva lactuca* (algue verte) qui sont exploitées dans les formulations cosmétiques. Leur composition chimique, riche et variée, offre un large spectre d'activités biologiques : les alginates et les carraghénanes confèrent des propriétés gélifiantes et hydratantes ; les fucoïdanes et phlorotannins apportent des effets antioxydants et protecteurs ; tandis que les caroténoïdes (comme la fucoxanthine) et les acides gras essentiels participent à la prévention du vieillissement cutané. Ces actifs naturels sont intégrés dans des soins hydratants, des sérums anti-âges, des masques et des produits capillaires, illustrant l'importance croissante de la mer comme source d'innovation pour la cosmétique.

Cependant, au-delà des espèces marines exploitées traditionnellement, un enjeu écologique majeur a récemment émergé en Méditerranée et sur les côtes atlantiques européennes : la prolifération de l'algue invasive *Rugulopteryx okamurae*. Originaires de la région Asie-Pacifique, cette algue brune de l'ordre des Dictyotales a été introduite accidentellement en Europe via le ballastage des navires et les échanges aquacoles. Sa propagation rapide a profondément bouleversé les écosystèmes locaux, entraînant une homogénéisation des habitats, une réduction de la biodiversité autochtone et des perturbations des activités



économiques liées à la mer, notamment la pêche et le tourisme. Sa capacité à coloniser de vastes surfaces en un temps réduit est due à une grande tolérance aux variations environnementales et à une production élevée de biomasse. Cette prolifération pose la question de la gestion durable de cette espèce : comment transformer une nuisance écologique en une ressource à valeur ajoutée ?

Des études récentes ont mis en lumière le potentiel biotechnologique de *Rugulopteryx okamurae*. Cette macro-algue brune présente une composition biochimique particulièrement riche : elle contient des diterpènes spécifiques (ruguloptones, okamuradiol) aux activités antimicrobiennes et anti-inflammatoires documentées, des polyphénols et phlorotannins aux propriétés anti-oxydantes puissantes, ainsi que des polysaccharides sulfatés (comme les alginates) capables de retenir l'eau et d'améliorer l'hydratation cutanée. Ces caractéristiques font de cette algue une candidate idéale pour l'intégration dans des formulations cosmétiques, en tant qu'ingrédient actif pour des soins de la peau et des cheveux. Sa valorisation permettrait non seulement de développer des produits innovants et naturels, mais aussi de contribuer à la gestion de cette espèce envahissante, en créant une filière de récolte et de transformation qui favorise une économie circulaire.

Parallèlement à *Rugulopteryx okamurae*, d'autres macro-algues, invasives ou non, méritent d'être considérées pour leurs apports spécifiques en cosmétique. *Sargassum muticum* et *Undaria pinnatifida*, également invasives dans certaines régions, sont riches en fucoïdane et en caroténoïdes, tandis que *Asparagopsis armata* et *Palmaria palmata* (algues rouges) fournissent des composés azotés et des pigments hydrosolubles (phycoérythrine, phycocyanine) aux effets protecteurs et revitalisants. La combinaison de ces différentes ressources marines ouvre la voie à une diversification des ingrédients cosmétiques, répondant aux nouvelles exigences du marché en matière de naturalité et de durabilité.

Dans un contexte où l'industrie cosmétique est en pleine mutation pour s'adapter aux enjeux environnementaux et aux attentes des consommateurs, la valorisation de biomasses marines comme *Rugulopteryx okamurae* s'inscrit dans une stratégie gagnant-gagnant : elle permet de limiter les impacts écologiques d'une espèce invasive tout en offrant des perspectives économiques pour les zones littorales affectées. Cette approche innovante nécessite toutefois des recherches approfondies pour optimiser les procédés d'extraction, garantir la sécurité et l'efficacité des extraits, et assurer la viabilité économique de la filière.

Ainsi, l'étude de la valorisation de *Rugulopteryx okamurae* et d'autres types d'algues en cosmétique s'avère pertinente et stratégique. Elle soulève des questions scientifiques (identification et caractérisation des composés bioactifs), technologiques (procédés



d'extraction et de formulation), environnementales (gestion durable des ressources marines) et économiques (création de filières locales et d'emplois verts).

Bien que nous n'ayons pas manipulé cette espèce directement en raison de sa rareté et de contraintes d'approvisionnement, son potentiel de valorisation reste central dans une approche de développement durable. Intégrer une réflexion sur l'utilisation de *Rugulopteryx okamurae* dans la chaîne de valeur cosmétique même à un stade prospectif permet d'envisager des solutions novatrices face aux enjeux environnementaux et économiques liés à son expansion.

Ainsi, la présente étude s'inscrit dans une double démarche : d'une part, expérimenter l'incorporation d'extraits de différentes algues marines dans la fabrication de savons naturels ; d'autre part, explorer, à travers une revue scientifique et une réflexion prospective, le potentiel de valorisation de *Rugulopteryx okamurae* dans les cosmétiques. Ces initiatives s'inscrivent pleinement dans les principes de la bioéconomie bleue circulaire, en transformant une ressource naturelle ou invasive en un actif valorisable, fonctionnel et respectueux de l'environnement.

Notre document s'articule en une introduction, quatre chapitres et une conclusion générale

- Le premier chapitre présente une synthèse générale sur les algues
- Le second englobe des généralités sur les algues invasives et leurs impacts économiques
- Le troisième chapitre présentera le différent matériel et les méthodes utilisées lors de notre étude
- Le dernier chapitre présentera une discussion générale sur nos résultats
- La conclusion présentera l'essentiel des informations acquises lors de notre étude

## CHAPITRE 1

# **SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUES SUR LES ALGUES**



### 1- Introduction

Les algues (phycophytes), reconnues dès le début du 20<sup>ème</sup> siècle, regroupent les végétaux chlorophylliens fondamentalement aquatiques (eaux douces, eaux thermales et milieux marins) (Ainane, 2011). Cette flore constitue le premier maillon de la chaîne alimentaire. Elle représente une source naturelle cruciale dans différents domaines tels que : l'alimentation, l'agriculture, l'industrie, la médecine et la pharmacie (Olier, 2017).

Les algues sont des végétaux eucaryotes regroupant un ensemble d'organismes très variés toutes contenant de la chlorophylle ce qui leur confère la spécificité d'être autotrophes, elles vivent en milieu aquatique ou dans les lieux humides (Jean, 2010).

Elles se différencient par la taille, la forme et la couleur. Il existe deux grands groupes des algues marines qui sont : les micro-algues et les macro-algues dont la différence porte essentiellement sur leurs tailles et leurs structures moléculaires.

Les micro-algues sont des organismes vivants apparus, sous leur forme primaire d'une Cyanobactérie, sur Terre il y a 3,7 milliards d'années (Chopin, 2009) et invisible à l'œil nu, par contre les macro-algues sont grandes et plus évoluées.

Les macrophytes benthiques constituent d'excellents bioindicateurs de l'état écologique de l'environnement (Bricker *et al.*, 1999 ; Gibson *et al.*, 2000). Ils contribuent à l'amélioration de la transparence de l'eau en stabilisant les sédiments et jouent un rôle fondamental en tant que bâtisseurs d'écosystèmes. Servant de support aux épiphytes, ils occupent des positions clés dans la chaîne trophique et offrent des habitats indispensables aux invertébrés ainsi qu'aux poissons (Haury *et al.*, 2008 ; Delmail, 2011).

De plus, leur mode de vie sédentaire en fait d'excellents indicateurs de la qualité de l'eau (Belsher, 1977 ; Diez *et al.*, 1999). En effet, une exposition prolongée aux nutriments et autres contaminants entraîne des modifications notables : les espèces les plus sensibles disparaissent, remplacées par des espèces beaucoup plus résistantes (Murray et Littler, 1978). Ainsi, l'étude des communautés de macroalgues s'avère particulièrement utile pour suivre les variations de la qualité de l'eau (Fairweather, 1990).

Aujourd'hui, les algues sont un enjeu de développement économique crucial. Le montant que l'industrie des algues brasse chaque année augmente et était estimé entre 5,5 et 6 milliards de dollars en 2003 (Ahnich, 2013).

### 2- Les algues en Algérie

L'Algérie est un pays avec une côte maritime s'étalant sur 2148 km (Ministère de l'environnement, 2024) et qui constitue une source riche en algues marines, qui reste



cependant inexploitée, ainsi que les algues constituent un enjeu de développement économique ; La Méditerranée renferme plus de huit cents espèces et la flore algale du littoral algérien reste largement inexplorée. Cependant, en regroupant tous les taxons et stades d'algues signalés sur les côtes algériennes (d'Ouest en Est), plus de 468 taxons ont été répertoriés (Perret-Boudouresque et Seridi, 1989).

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

### 2-1- Les algues vertes

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 (Lucifer, 2018).

Elles sont de formes très variées, uni-ou pluricellulaires. Leurs plastes sont colorés en vert par les chlorophylles a et b, auxquelles sont associés des carotènes et des xanthophylles.

La photosynthèse permet la formation d'amidon, comme pour les plantes supérieures, la plupart des algues vertes vivent en eau douce ou en milieux marins, mais certaines espèces peuvent également se développer sur terre. Elles jouent un rôle important dans l'oxygénation des eaux, favorisant ainsi la vie animale (Garon-Lardiere, 2004).

### 2-2- Algues brunes (Phéophycées)

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

Les algues brunes aident également à lutter contre le changement climatique en absorbant le dioxyde de carbone de l'atmosphère et en le convertissant en matière organique. Cela peut réduire la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Les algues brunes jouent un rôle important dans les écosystèmes marins et les moyens de subsistance humains, et leur protection et leur conservation sont essentielles pour assurer la santé et la durabilité (Chouikhi 2013).



### 2-3- Les algues rouges (Rhodophycées)

Les rhodophycées, ou algues rouges, constituent un groupe très varié. Leur couleur caractéristique est due à la présence de plastes roses contenant un pigment rouge, la phycoérythrine, qui se combine avec d'autres pigments, notamment les chlorophylles, pour leur donner leur teinte spécifique. La plupart de ces algues 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 notamment complexe (Garon-Lardiere, 2004).

### 2-4- Les Cyanobactéries ou les algues bleues :

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

### 3- Intérêt des algues marines dans le monde

La quantité d'algues produites annuellement par culture ou récolte dans le monde est de l'ordre de 9 millions de tonnes d'algues fraîches. Les producteurs fondamentaux sont la Chine, la Corée et le Japon qui, à eux seuls, totalisent les quatre cinquièmes de la production principalement par la culture (90 % de cette production). Cette production est majoritairement pour l'alimentation humaine directe qui représente 75 % de la production mondiale.

La deuxième utilisation est l'extraction des colloïdes, qui représente 12,5 %. Le restant est exploité dans les différents domaines que sont l'agriculture, l'alimentation animale, la cosmétique (Mac Hugh DJ, 2003).

### 4- Composition chimique

La valeur nutritionnelle des algues peut s'expliquer en grande partie par la présence associée de trois grandes catégories de composants (fibres, minéraux et protéines), mais également par la présence de métabolites présentant des propriétés antioxydantes et antiradicalaires tels que caroténoïdes, tanins, flavonoïdes et polyphénols (Julie, 2010).



### 4-1- Fibres

Les algues possèdent des quantités intéressantes de fibres, particulièrement sous forme soluble. Selon la variété, une portion d'algues fraîches peut contenir jusqu'à 8 % de la quantité de fibres recommandée quotidiennement, et les algues séchées, quant à elles, contiendraient de 35 % à 50 % de leur poids sous forme de fibres (Jiménez-Escrig *et al.*, 2000).

Dans les trois types d'algues on trouve différentes types des fibres pour les algues brunes on trouve des alginates et des fucanes et des laminariales. Les algues rouges pourront contenir des galactanes plus ou moins sulfatés (agar et carraghénanes), des porphyranes ou des xylanes ainsi que des glucides de réserve. Enfin, les algues vertes alimentaires sont constituées d'ulvanes et peuvent également contenir de l'amidon comme glucide de réserve (Lahaye, 1991 ; HoldtSL, 2011).

### 4-2- Lipides

La teneur lipidique des algues est très faible : de 1 à 5 % de la matière sèche. Les lipides algaux présentent une proportion en acides gras essentiels importante (Darcy-Vrillon B, 1993).

Les algues rouges présentent une forte teneur en acides gras polyinsaturés à 20 atomes de carbone. Chez des espèces comme *Porphyra sp.* et *Palmaria palmata*, l'acide eicosapentaénoïque (EPA) représente à lui seul environ 50 % de ces acides gras polyinsaturés. (Marfaig, 2004).

L'étude de la fraction lipidique de l'algue brune *Cystoseira sedoïdes* des côtes algériennes, a révélé une multitude d'acides gras de C12 à C20, parmi lesquels se distinguent les acides gras saturés et insaturés (Benchabane, 1989).

Les algues vertes dont la composition en acides gras est la plus proche de celle des végétaux supérieurs ont par rapport à ceux-ci, un taux plus élevée en acide oléique (C18:1) et en acide alpha-linolénique ( $\alpha$ 3-C18:3) (Marfaig, 2004).

### 4-3- Calcium

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



### 4-4- Caroténoïdes

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

### 4-5- Les pigments et les composés phénoliques

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

Ils ont dès le début du 19<sup>ième</sup> siècle constitué un critère important dans la classification des algues. Le rôle physiologique de ces molécules est de capter l'énergie lumineuse.

Selon la nature des pigments surnuméraires conjointe à la chlorophylle, les plastes sont parfois verts (Chlorophytes), parfois jaunes ou bruns (Chromophytes), ou encore rouges (Rhodophytes) (Ruiz, 2005).

On distingue, principalement la chlorophylle (a) dont la présence est nécessaire à la photosynthèse chez toutes les algues photosynthétiques et la chlorophylle (b), dans un rapport des formes a et b de 4:3, selon (Satpati, 2011 et Sirbu, 2006, le contenu en chlorophylle chez *Ulva lactuca* est de 0,77 mg/g.

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

Les composés phénoliques sont habituellement trouvés dans les écosystèmes terrestres, les plantes marines, les micros et macro-algues (Trigui, 2013), ils sont sensibles de présenter différentes activités biologiques y compris des propriétés anti-oxydantes et antimicrobiennes (Bravo, 1998) il existe au moins 8000 polyphénols bioactifs différents.

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



### 5- Dans le domaine pharmaceutique et médical

Plusieurs composés chimiques isolés des macro-algues sont biologiquement actifs dont certains possèdent une activité pharmacologique productive (Rorrer et Cheney, 2004).

Une étude sur l'isolement et la détermination de la structure chimique de nouveaux métabolites secondaires pouvant présenter des activités biologiques à potentialités pharmacologiques a été effectuées à partir de deux algues méditerranéens *Cysticeira crinita* et *Lyngbya majuscula* (Praud, 1994).

#### 5-1- Antioxydants naturels d'origine marine

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

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

### 6- En cosmétique :

Revitalisantes, amincissantes, les algues possèdent de très importantes vertus pour les soins de la peau. Les effets hydratants et stimulants des extraits d'algues ont été démontrés par des études cliniques. Le développement de ces secteurs en plein croissance, repose sur :

- les techniques classiques de la chimie et l'ingénierie, et les procédés associés à la chimie et la biocatalyse (Benmahioul, 2015).
- La biotechnologie, basée principalement sur les techniques de culture in vitro (culture en conditions axéniques de tissus, de cellules et de protoplastes), la biologie moléculaire et la génomique (Benmahioul, 2015).

### 7- présentation des espèces échantillonnées :

#### 7-1- *Chondrus crispus*

##### 7-1-1- Morphologie

Algue rouge avec cartilage, lisse régulier plat a frondes à ramification dichotomie. Il a un peu près Forme en éventail. Certaines variantes peuvent être épaisses Des frondes étroites.

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographiques sur les Algues



La couleur varie du violet profond, du rouge, du jaune Et les tons verts. Lorsqu'ils sont sous l'eau, le ramifié Les pointes des gamétophytes femelles montrent un bleu-violet Iridescence.

Plante touffue basse, < 15 cm de haut souvent avec un Irisation bleue. Souvent confondu avec *Mastocarpus stellatus* (Lobban et Harison, 1994)

Cette espèce a un thallus canalisé avec épaissi Bords et structures reproductrices formées dans Papilles de surface (Figure 01).

### 7-1-2- Classification

Phylum : Rhodophyta

Classe : Florideophyceae

Commande : Gigartinales

Famille : Gigartinaceae

Genre : Chondrus

Espèce : *C. crispus*



**Figure 01** : *Chondrus crispus*

### 7-1-3- Reproduction

*Chondrus crispus* a deux phases macroscopiques morphologiquement similaires dans leur cycle de vie.

Femelle fertile : sori ovale gonflé, souvent trouvé par paires à l'extrémité de la fronde.

Femelle fertile : Non visible à l'œil nus et difficile à identifier (Soler-villa *et al*, 2022) .

Tétra-sporophytes : les sori tétra-sporangiaux ne dépassent que légèrement du thallus, avec des formes ovales ou linéaires trouvé sur la partie supérieure de la fronde et abondamment dans le cycle de vie de *Chondrus crispus*. Indiquer par la figure Ci-dessous, résumant les différents cycles de vie haploïde (n), diploïde (2n) et le type de carraghénane (Figure 02).

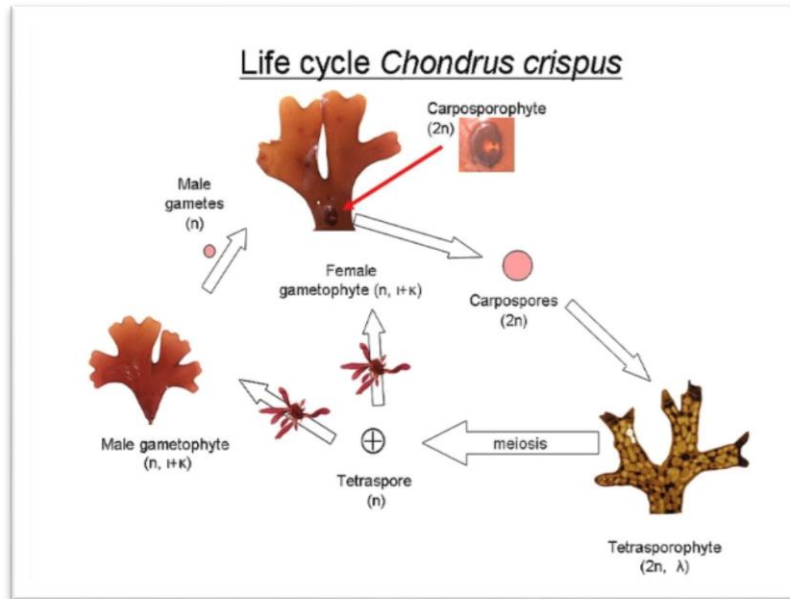


Figure 02 : Cycle de reproduction de *Chondrus crispus*

#### 7-1-4- Distribution et habitat

Cette espèce (Figure 2) se trouve des deux côtés de l'Atlantique N. Il est généralement attaché à des roches ou à des pierres au milieu intertidal inférieur dans les zones abritées, mais aussi confinée à faible Intertidale dans les zones exposées (Soler-villa *et al*, 2022).

#### 8- *Ulva lactuca* :

**8-1- Position systématique :** Selon la classification Linéenne (Carl Von Liné, 1758)

Règne : Plantae

Embranchement : Chlorophyta

Classe : Ulvophyceae

Ordre : Ulvales

Famille : Ulvaceae

Genre /Espèce : *Ulva Lactuca* (Carl von linéé, 1753)



**Figure 03 :** *Ulva lactuca*

### 8-2- Description

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

### 8-3- Distribution Géographique

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

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



**Figure 04:** Carte représentative de la distribution mondiale de l'algue verte  
*Ulva lactuca* (facility 2013)



### 8-4- Composition biochimique

La composition biochimique des algues marines est généralement connue pour être fortement influencée par les conditions environnementales locales (saison, pollution...) et l'emplacement géographique (ElSaid et ElSikaily, 2013), riche en vitamine C (8 fois plus que l'orange) en vitamine A, calcium, chlorophylle, fer (2 fois plus que les germes de blé), magnésium (10 fois plus que les germes de blé), *Ulva lactuca* a une teneur élevée en protéines et est assez pauvre en lipides (Borsali *et al*, 2021).

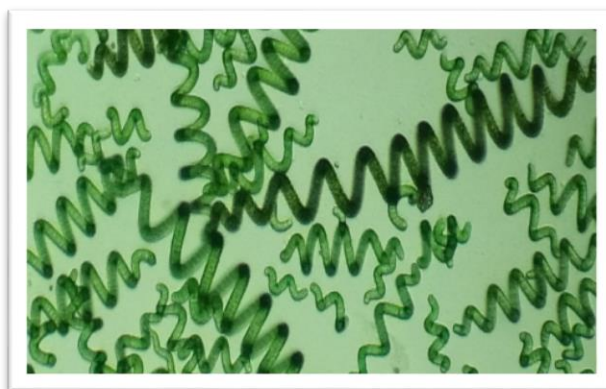
S que la liste des ingrédients INCI répertorie un extrait d'*Ulva lactuca* par le numéro CAS 97281-59-9, en tant qu'agent de protection de la peau (Khairy et ElSheikh, 2015).

### 9- Spiruline

#### 9-1- Morphologie de la Spiruline

La spiruline est généralement décrite comme une algue microscopique multicellulaire et filamenteuse bleu verte de forme hélicoïdale spiralée (dont elle tire son nom, *Arthrospira platensis*) à une morphologie très variable, selon la souche et les conditions de milieu de culture (Figure 05).

Elle se compose de cellules végétatives présentent des parois facilement visibles, empilées bout à bout, appelées filaments ou trichomes le filament est mobile, non ramifié et prend une forme hélicoïdale uniquement en milieu liquide a une longueur moyenne d'environ 250  $\mu\text{m}$ , un diamètre de 10 à 12  $\mu\text{m}$  et s'enroule en 6 ou 7 spires ; Cette forme hélicoïdale typique donne à la spiruline l'allure d'un minuscule ressort, elle lui permet de se déplacer dans l'eau en adoptant le mouvement d'une vis, à une vitesse de 5  $\mu\text{m/s}$  (Charpy *et al.*, 2008).



**Figure 05** : Spiruline sous microscope



### 9-2- Taxonomie :

Le bicarbonate de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ) ou le carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) sont généralement utilisés comme sources de carbone, tandis que le nitrate de sodium ( $\text{NaNO}_3$ ), le nitrite de sodium ( $\text{NaNO}_2$ ) ou l'urée ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ) fournissent de l'azote.

Le phosphate de potassium ( $\text{K}_2\text{-HPO}_4$ ) ou le phosphate de sodium ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) sont des sources courantes de phosphore, tandis que le sulfate de fer ( $\text{FeSO}_4$ ), le chlorure de magnésium ( $\text{MgCl}_2$ ) et le chlorure de potassium ( $\text{KCl}$ ) fournissent des minéraux essentiels. Ces éléments doivent être fournis dans des proportions appropriées et surveillés régulièrement pour maintenir des conditions de croissance optimales pour la Spiruline (Borowitzka, 2000).

La Spiruline fait partie des cyanobactéries, apparue sur la terre il y a environ trois milliards et demi d'années, elle est considérée souvent comme une algue planctonique microscopique. C'est en fait une bactérie appartenant aux cyanobactéries filamenteuses du genre *Arthrospira*, le plus souvent enroulée en spires d'où son nom commercial (Girardin, 2005).

L'espèce du Spiruline (*Arthrospira platensis*) se compose de trichomes atteignant  $350\mu$  de long, de  $5$  à  $11\mu$  de diamètre, un peu rétrécis au niveau des articulations. Les tours de spire ont un diamètre de  $20$  à  $50\mu$ , diminuant légèrement vers les extrémités (Fox, 1999).

### 9-3- Température :

Les premiers repères concernant les températures sont à peu près les mêmes que pour l'homme  $37^\circ\text{C}$ , température idéale pour pousser la vitesse de croissance de la Spiruline (Falquet, 1996).

Des températures supérieures à  $40^\circ\text{C}$  ne lui conviennent pas, et, elle meurt lorsqu'elle est exposée à  $43^\circ\text{C}$ . Par ailleurs, à  $20^\circ\text{C}$ , sa croissance est pratiquement nulle (Fox, 1999).

### 9-4- Les Eléments nutritifs

La culture réussie de la Spiruline dépend de la disponibilité adéquate d'éléments nutritifs essentiels qui soutiennent sa croissance et sa reproduction, ces éléments comprennent des sources de carbone, d'azote, de phosphore et de minéraux (Borowitzka, 2000).

Le bicarbonate de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ) ou le carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) sont souvent utilisés comme sources de carbone, tandis que le nitrate de sodium ( $\text{NaNO}_3$ ), le nitrite de sodium ( $\text{NaNO}_2$ ) ou l'urée ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ) fournissent de l'azote.

Le phosphate de potassium ( $\text{K}_2\text{-HPO}_4$ ) ou le phosphate de sodium ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) sont des sources courantes de phosphore, tandis que le sulfate de fer ( $\text{FeSO}_4$ ), le chlorure de magnésium ( $\text{MgCl}_2$ ) et le chlorure de potassium ( $\text{KCl}$ ) fournissent des minéraux essentiels. Eléments doivent être fournis dans des proportions appropriées et surveillés régulièrement pour maintenir des conditions de croissance optimales pour la Spiruline (Borowitzka, 2000).



### 9-5- La reproduction

La Spiruline se reproduit suivant un mode végétatif asexué, la multiplication ne se produit que par fragmentation, le trichome forme des cellules spéciales appelées Nécriidies assimilées à des disques de séparation agissent comme des cellules spécialisées uniques), permettant la rupture du trichome, au niveau des quelles le trichome est divisé en plusieurs parties pour donner de nouveaux filaments de 2 à 4 cellules appelés Hormogonies (Théodore, 2017).

Les cellules d'hormogonie subissent des processus d'agrandissement et de maturation, chaque individu va donner deux individus par scissiparité, qui sont identiques génétiquement et plus ou moins morphologiquement (Théodore, 2017).

### 10- *Cystoseira foeniculacea* (Linnaeu)

#### 10-1- Description morphologique

- Plantes en touffes (caespitose), jusqu'à 50 cm de hauteur (Figure 06).
- Couleur brun clair à brun foncé, non irisées
- Fixation au substrat par une tenue irrégulière
- Axes dressés, cylindriques et épineux, jusqu'à 12 mm de diamètre
- Branches aplaties, ramification distique dans un plan, marge dentée et côte médiane proéminente
- Absence de tophules, aérocytes et organes reproducteurs observés
- Cryptostomates abondants (Bouafif et al, 2014).



Figure 06 : *Cystoseira foeniculacea*

#### 10-2- Écologie

- Forme généralement considérée comme typique des profondeurs importantes (> 50 m)
- Observée ici dans la zone sublittorale supérieure, entre 0,5 et 3 m de profondeur



- Préfère les rivages rocheux modérément à très exposés (Bouafif et *al*, 2014).

### 10-3- Distribution

- Description originale dans la mer Adriatique (Ercegovia, 1952)

- Signalée ensuite dans les Baléares et d'autres régions méditerranéennes (Bouafif et *al*, 2014)

## 11- *Sargassum muticum*

### 11-1- Morphologie

*Sargassum muticum*, ou sargasse japonaise, est une algue brune autotrophe capable de photosynthèse efficace grâce à ses vésicules aérifères qui assurent sa flottabilité et son exposition à la lumière (Figure 07).



**Figure 07 :** *Sargassum muticum*

### 11-2- Reproduction

Elle se reproduit sexuellement par un cycle monogénétique diploïde, avec des gamètes produits dans des réceptacles hermaphrodites de mai à septembre, et aussi très fréquemment par reproduction asexuée via des fragments capables de régénération sur de longues distances (Bazes et *al*, 2009).

### 11-3- Écologie

*S. muticum* colonise la zone intertidale inférieure jusqu'à la zone sublittoral, préférant les zones calmes à modérément exposées, sur substrats durs comme rochers, coquillages ou structures artificielles. Elle forme des peuplements denses qui peuvent réduire la lumière sous-jacente et concurrencer les espèces autochtones, comme observé dans l'étang de Thau (France).

Cette algue invasive, originaire du Japon, s'est largement répandue en Europe depuis les années 1960, notamment en Méditerranée, Atlantique et Manche, où elle impacte les écosystèmes benthiques et la conchyliculture (Ifremer).

**CHAPITRE 2 :**  
**LES ALGUES INVASIVES ET LEURS**  
**IMPACTS ÉCOLOGIQUES**



### I- Les algues invasives et leurs impacts

Les espèces envahissantes marines sont considérées comme l'une des principales causes de la perte de biodiversité en Méditerranée (Galil, 2007; Coll *et al.*, 2010), en modifiant potentiellement tous les aspects des écosystèmes marins et des autres écosystèmes aquatiques. Elles représentent un problème grandissant et un impact nocif sur l'environnement marin, l'économie et la santé humaine (Galil, 2008). Il s'agit d'un phénomène généralisé sur toutes les régions de la Méditerranée (Galil, 2007, 2009 ; Zenetos *et al.*, 2010).

Elles sont considérées comme des « espèces focales » et devraient être surveillées dans toutes les régions (Pomeroy *et al.*, 2004). C'est pourquoi il est si difficile de prévoir à quel moment une espèce exotique envahira le lieu, car l'invasion n'a pas toujours lieu. Généralement, le processus d'invasion se compose de plusieurs étapes principales.

Du transport des espèces vers de nouveaux habitats, à leur établissement et finalement à leur propagation. Chaque étape est délimitée par une série de barrières qui déterminent si une espèce progresse à l'étape suivante du processus d'invasion et devient finalement une espèce envahissante (Blackburn *et al.*, 2011). Les espèces envahissantes doivent progressivement surmonter une série de barrières géographiques, de survie, de reproduction et de dispersion avant de finalement se disperser dans de nouveaux environnements.

A ce stade final du processus d'invasion, l'espèce peut éventuellement subir un cycle de « croissance/décroissance », « boom and bust » et subissent une période de déclin rapide ou d'augmentation rapide des populations, comme celles observées dans les premiers stades d'une invasion pour certaines espèces marines exotiques (Zenetos *et al.*, 2010). Pour cette raison, il est largement admis que le meilleur facteur pour distinguer les espèces envahissantes des autres espèces exotiques est de confirmer leur caractère envahissant dans d'autres parties du monde. (Boudouresque et Verlaque, 2002).

#### I-1- Les espèces invasives

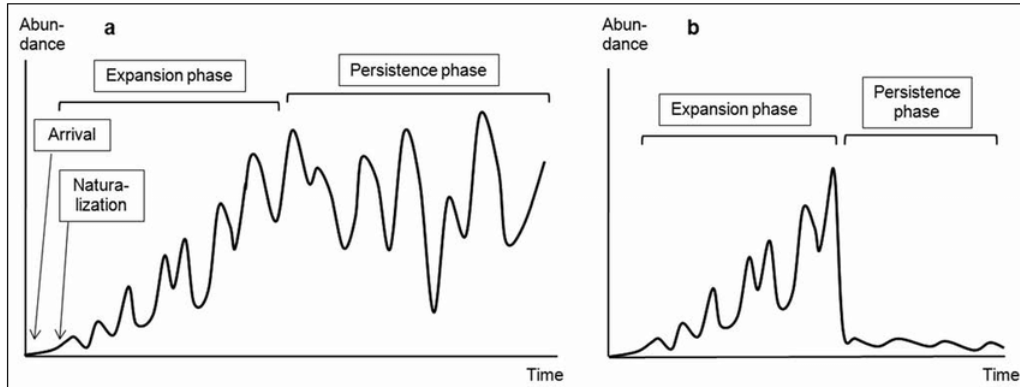
Nous définissons une espèce envahissante comme une espèce introduite qui a un fort impact écologique et/ou économique. (Clout, 1998; Boudouresque et Verlaque, 2002, Occhipinti et Galil, 2004). En méditerranée, 101 espèces d'organismes photosynthétiques pluricellulaires sont considérer introduites, 8 d'entre elles au moins sont considérées invasives (Boudouresque et Verlaque, 2002).

##### I-1-1- Le processus d'introduction

En général, le processus d'introduction des espèces (Figure 08) comprend quatre phases successives :



- l'arrivée,
- la phase d'implantation (naturalisation),
- la phase d'expansion 4) la phase de persistance. Parfois; l'espèce introduite peut avoir une phase de déclin naturel juste après son expansion.



**Figure 08:** Les phases successives d'une introduction d'espèce (Boudouresque, 1999).

Phases successives de l'introduction d'une espèce. A. Le « modèle de fluctuation naturelle ». B. Le « modèle d'expansion et de récession ». Modifié et redessiné de Boudouresque (1999a).  
Les différentes phases d'un processus d'introduction d'espèce. A. Le modèle des fluctuations naturelles. B. Le modèle "boom and bust". Modifié et redessiné d'après Boudouresque (1999a).

### I-2- Les impacts causés par ces espèces marines invasives

#### I-2-1- Impacts environnementaux

La perte de la biodiversité native peut-être à cause de plusieurs facteurs :

- Prédation des espèces indigènes
- Diminution de la disponibilité de l'habitat pour les espèces indigènes
- Concurrence supplémentaire
- Parasites et maladies
- Etouffement et envahissement
- Hybridation entraînant une dilution du gène
- Modifications du fonctionnement des écosystèmes
- Modifications de la circulation alimentaire
- Mauvaise qualité de l'eau (Poorter, 2009)

#### I-2-2- Impacts sur la santé et sur le bien-être humain

L'impact sur de ces algues invasives sur l'Homme est vraiment considérable sous plusieurs points, de par les parasites et les différentes maladies qui peuvent être parfois mortelles, mais



aussi bien la perte de zone de loisirs, ex. dépôts d'algues, envahissements des aquifères, suffocation des plages (Poorter, 2009).

### I-2-3- Impacts économiques

- Interférence avec les ressources biologiques qui constituent la base de la pêche et la mariculture (ex. quand les stocks de poisson ou de mollusques s'effondrent, ou lorsque une mariculture est affectée par des espèces invasives ou des agents pathogènes)
- Interférence avec les activités de pêche (ex. encrassement ou déchirement des filets)
- Perturbation du tourisme
- Dommages aux infrastructures (contamination des tuyaux, quais, bouées, etc.)
- Les frais de nettoyage ou de contrôle
- Les frais médicaux ou de quarantaine (Poorter, 2009)

### I-2-4- Impacts culturels

Se fait via la compétition avec des espèces natives récoltées pour la consommation, et surtout par la dégradation d'habitats et de ressources culturellement importants, comme les voies d'eau (Poorter, 2009)

### I-3- Voies et vecteurs d'introduction

Une introduction accidentelle se produit lorsqu'une espèce pénètre dans un nouveau territoire en tant qu'« auto-stoppeur » ou « passager clandestin » par le commerce, les voyages ou le transport. Il s'agit notamment des principales sources d'adoption liées au transport longue distance. Transfert des eaux de ballast associé aux gros navires. Encrassement de la coque associé non seulement aux grands navires, mais aussi aux yachts et aux petits bateaux ; Une introduction involontaire, même sur de courtes distances, peut être causée par de nombreuses autres activités. Ils peuvent être le résultat d'aiguillages délibérés.

Exemple:

- Bouées sales ; Porter du matériel de pêche et de plongée ; Transfert vers les bateaux de plaisance et petits bateaux.
- Agents pathogènes étrangers provenant de mollusques importés ou d'autres produits de l'aquaculture

Les espèces peuvent devenir envahissantes en migrant naturellement, en nageant ou en nageant là où les humains ont créé des connexions artificielles entre des zones auparavant séparées comme : des canaux et/ou les voies de détournement.

Les introductions volontaires sont celles où le transfert des organismes a été planifié ; Certaines espèces exotiques ont été introduites afin d'être relâchées dans la nature, comme :



- Les espèces de poissons relâchées pour augmenter les prises au niveau local ; ou encore par les plantes introduites pour la gestion des bancs de boue ou des dunes (Poorter, 2009).

- Introduire des végétaux pour gérer les berges et les dunes

De nombreuses espèces exotiques sont introduites et sont censées rester enfermées d'une façon ou d'une autre, ou à des fins qui n'impliquent pas qu'elles soient relâchées dans la nature. Mais très souvent, ces espèces s'échappent ou sont rejetées dans l'environnement.

Cette catégorie comprend :

- La mariculture (fermes à huîtres, saumons, etc.
- Le peuplement d'aquariums
- Le commerce de fruits de mer vivants
- Le commerce d'appâts vivants
- Les algues qui sont utilisées pour les emballages (ex. d'appâts).

### **I-5- Détection précoce, réponse rapide**

Une fois qu'une espèce est introduit dans un lieu, il est important de la localiser et de l'identifier et de prendre des mesures immédiates avant qu'elle ne s'établisse et ne se propage. Compte tenu de l'ouverture du milieu marin, cela peut être difficile. Cependant, si un envahisseur est découvert alors qu'il est confiné dans une zone relativement petite, il peut être éradiqué si la réaction est suffisamment rapide.

C'est pourquoi la surveillance est si importante. Il peut être spécifique à un site, par exemple en se concentrant sur les ports où des espèces exotiques peuvent être introduites ou sur des zones d'intérêt particulier qui nécessitent une protection maximale. Il peut s'agir d'une espèce cible spécifique à une espèce identifiée comme présentant un risque très élevé, ou il peut s'agir de quelque chose de plus général.

La surveillance peut être effectuée par des réseaux ou des organisations chargés de détecter les espèces envahissantes, en se concentrant principalement sur les cibles prioritaires, les emplacements à haut risque ou les ressources précieuses. Il peut également être déployé par des organisations ou des individus capables de détecter des invasions lors d'autres activités. Les employés d'entreprises menacées ou les personnes intéressées par les activités récréatives et autres qui se déroulent dans le milieu marin peuvent former des réseaux très efficaces pour lutter contre les agressions. Les habitants connaissent souvent bien leur région et peuvent remarquer des changements (Poorter, 2009).



### II-1- Présentation de l'algue *Rugulopteryx okamurae*:

*Rugulopteryx okamurae* est une algue brune de grande taille, facile à détecter, une légère confusion possible lors de son identification avec des espèces du genre *Dictyota* (Lamour, 1809) mais qui sont absentes de France Métropolitaine.

*R. okamurae* est cantonnée à l'étang de Thau depuis 2002 où elle a été introduite involontairement via les activités ostréicoles (Verlaque *et al.* 2009) ; Elle peut également être involontairement introduite en grande quantité à travers le trafic maritime comme à Gibraltar, Elle présente des facteurs compatibles à son établissement et à son expansion particulièrement en relation avec l'augmentation des températures (Garcia-Gomez *et al.* 2020), surtout en Méditerranée, mais aussi dans le Golfe de Gascogne (Jeschke et Zanolli 2020). Ses consommateurs naturels ne sont pas connus. Toutefois, cette algue produit des substances pouvant limiter sa consommation (Verlaque *et al.* 2009).

L'algue *Rugulopteryx Okamurae*, originaire d'Asie, est arrivée dans l'océan Atlantique en 2015, depuis, elle s'est étendue, atteignant les Açores en 2019 et les îles Canaries en 2022, il s'agit d'une macro-algue invasive et en pleine expansion, qui met en péril la biodiversité marine, en 2022, elle a été inscrite sur la liste des espèces exotiques envahissantes de l'Union européenne (UE), car elle a un fort impact biologique, écologique et socio-économique, avec un impact significatif sur le secteur de la pêche.

La quantité de biomasse de *Rugulopteryx okamurae* présente le long de la côte est un sujet de préoccupation pour le secteur de la pêche, car elle entraîne une diminution des captures et a un impact négatif sur le fonctionnement des engins de pêche.

Dans ces secteurs, l'espèce connaît des pics de prolifération depuis 2015 et rentre en compétition avec des espèces indigènes sciaphiles comme *Astroides calycularis* (Garcia-Gomez *et al.*, 2020). Elle est également mise en cause dans les modifications des communautés coralliennes (Sempere-Valverde *et al.*, 2021).

### II-2- Origine

*Rugulopteryx okamurae* est une phéophycée commune dans les zones tempérées du Pacifique Nord-Ouest tels que Philippines, Taïwan, Chine, Corée et Japon (Huang, 1994), mais selon (Norris, 2010) son aire de répartition s'étend des zones tropicales au golfe de Californie.

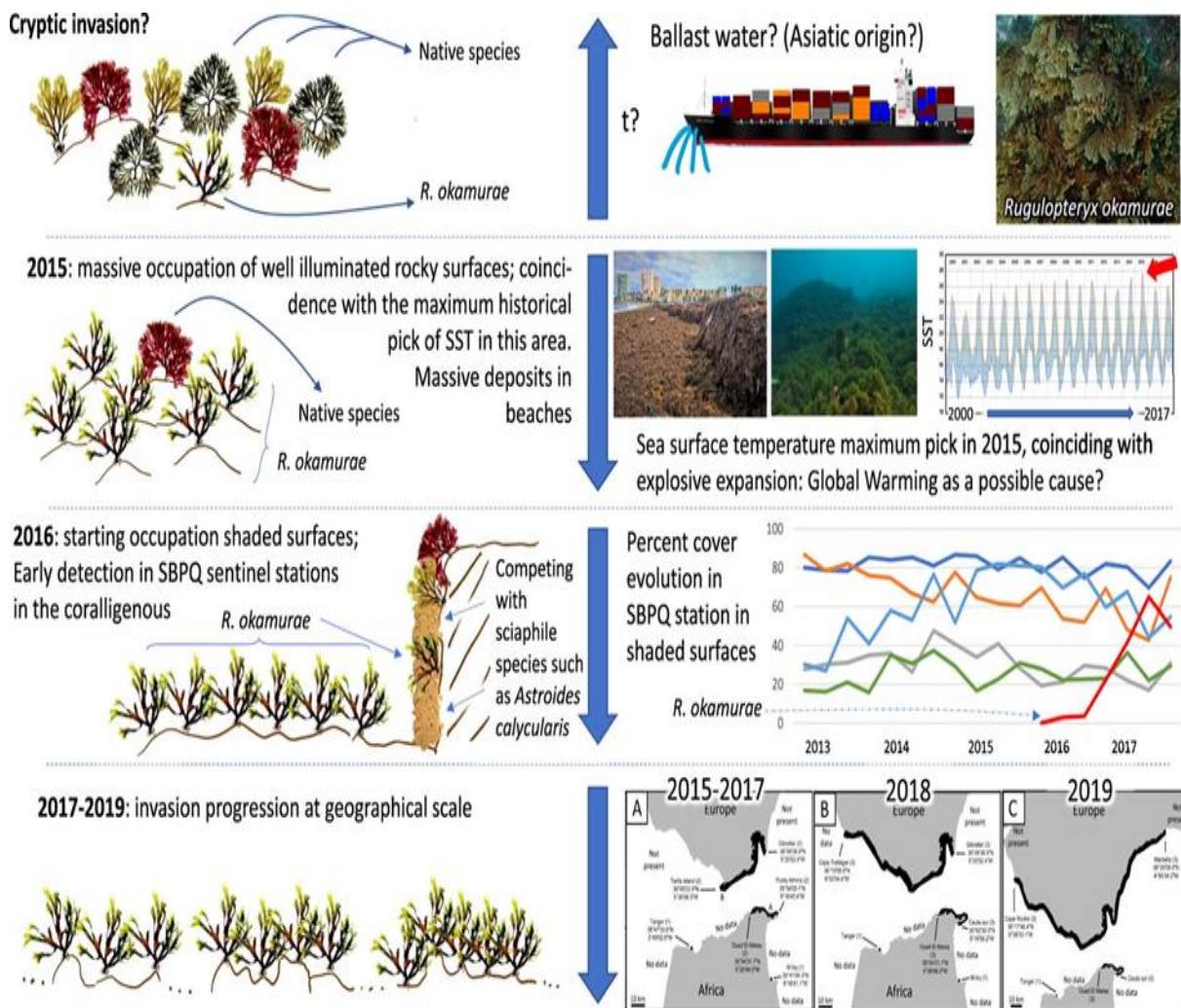
En Méditerranée, c'est une algue exotique signalée depuis 2002 dans la zone nord-ouest, où elle a été accidentellement introduite dans l'étang de Thau, sur la côte française, par l'importation de semences pour l'élevage d'huîtres japonaises (*Crassostrea gigas*) (Verlaque *et al.*, 2009).

## Chapitre 2 : Les algues invasives et Impacts écologiques



En 2015, *Rugulopteryx okamurae* a été détecté au large des côtes de Ceuta (Afrique du Nord) et un an plus tard, il recouvrait la majeure partie des fonds rocheux éclairés de la zone, obligeant les machines de nettoyage municipales à éliminer plus de 5 000 tonnes de biomasse algale des plages de Ceuta (Ocaña *et al.*, 2016 ).

Entre 2015 et 2016, *R. okamurae* a colonisé la majeure partie des fonds rocheux du littoral du détroit de Gibraltar (García-Gómez *et al.*, 2018), les observations préliminaires de *R. okamurae* dans le détroit de Gibraltar (Altamirano-Jeschke *et al.*, 2016, Altamirano-Jeschke *et al.*, 2017, El Aamri *et al.*, 2018, García-Gómez *et al.*, 2018) indiquent que le processus d'invasion agressive et les impacts écologiques et paysagers provoqués par cette algue sont sans précédent dans les eaux européennes (Figure 09 ).



**Figure 09 :** Progression de *R. okamurae* dans la méditerranée et les risques associés (Garcia Gomez *et al.*, 2020).



### II-3- Biologie et écologie

#### II-3-1- Biologie

##### II-3-1-1- Classification (Lamare, 2021)

Embranchement : Ochrophyta      Ochrophytes    ou Hétérokontes, ou Straménopile

Classe :      Phaeophyceae Phéophycées

Ordre :      Dictyotales    Dictyotales

Famille :     Dictyotaceae Dictyotacées

Genre :      *Rugulopteryx*

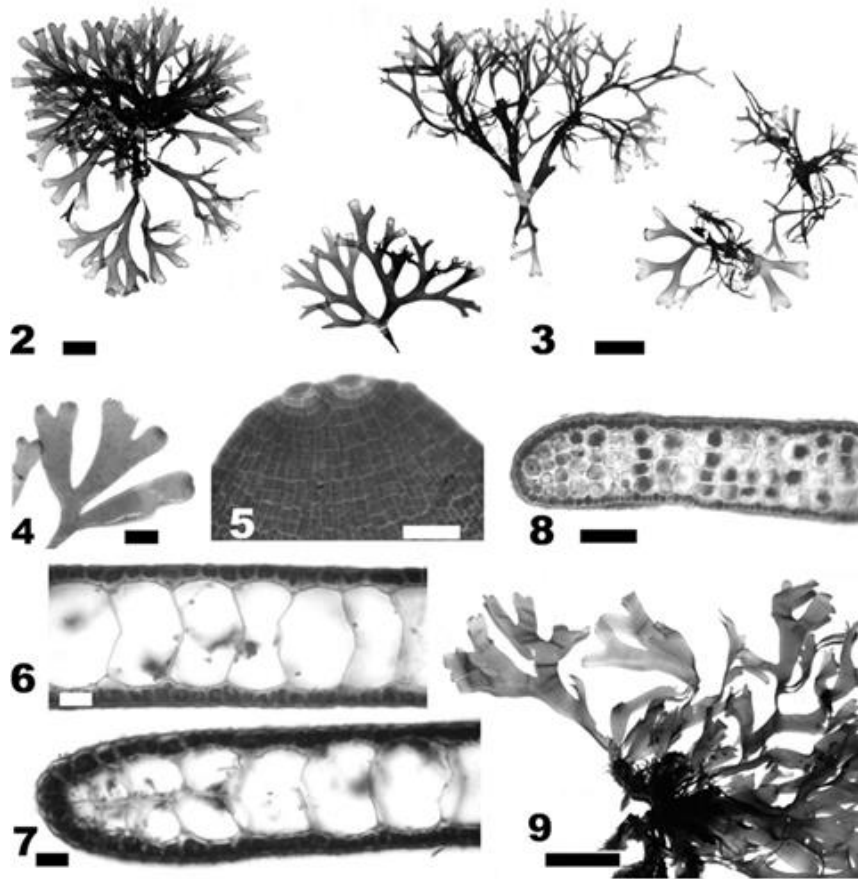
Espèce :     *okamurae*

##### II-3-1-2- Description

*Rugulopteryx okamurae* pousse dans des eaux subtidales peu profondes et peut être présente toute l'année sous forme de bases rhizoïdales dormantes (Figure10). À l'échelle macroscopique, ses individus se caractérisent par un thalle membraneux, dressé et à ramifications dichotomiques, avec des marges lisses, mesurant entre 10 et 20 cm de hauteur, fixé par des rhizoïdes situés uniquement à la base du thalle. Les frondes forment un flabelle comprimé et se regroupent en formations denses, avec une variation intra spécifique observable (Hwang *et al*, 2009).

Au niveau microscopique, le thalle est composé d'une médulle, épaisse d'une cellule au centre, et de deux à trois cellules près des marges (Clerck *et al*, 2006 ; Hwang *et al*, 2009). Les structures reproductrices sont dispersées uniformément sur toute la surface du thalle, contrairement à d'autres espèces du genre *Rugulopteryx* où elles se concentrent dans les concavités.

Comme les autres membres du genre, les sporanges de *R. okamurae* sont portés par deux cellules pédonculaires. Cette espèce est capable de produire facilement des propagules sous forme de rameaux proliférants, qui apparaissent à la surface du thalle et donnent naissance à de nouvelles plantes du même niveau de ploïdie. Bien qu'elle puisse être confondue avec certaines espèces du genre *Dictyota*, telles que *Dictyota pinnatifida*, *D. dichotoma*, *D. spiralis*, *D. cyanoloma* ou *D. fasciola*, *R. okamurae* constitue une entité taxonomique distincte (Hwang *et al*, 2009).



**Figure 10 :** *Rugulopteryx okamurae* (Dawson) I.K. Hwang, W.J. Lee et H.S. Kim de l'étang de Thau.

Fig. 2–3. Habitude (H7643 et H7652, juin 2005). Barres 5 1 cm. Fig. 4. Partie supérieure du thalle (H7643). Barre 5 5 mm. Fig. 5. Détail d'une partie apicale du thalle avec deux cellules apicales (H7643). Barre 5 100 mm. Fig. 6. Coupe transversale du thalle, détail de la partie médiane avec une couche de cellules médullaires (H7643). Barre 5 20 mm. Fig. 7. Coupe transversale du thalle, détail de la marge avec deux couches de cellules médullaires (H7643). Barre 5 20 mm. Fig. 8. Coupe transversale du thalle, détail de la partie basale avec plusieurs couches de cellules médullaires (H7643). Barre 5 100 mm. Fig. 9. Port d'un spécimen humide avec des sangles ondulées (H7643). Barre 5 1 cm.

#### II-4- Reproduction

*R. okamurae* présente des capacités de prolifération et de propagation élevées par multiplication végétative à partir de très petits fragments de thalles sur les substrats durs, mais aussi comme épiphyte sur d'autre macro-algues, ou même sur des animaux tels que les oursins et les concombres de mer (Jeschke et Zanolla, 2020).

L'espèce est dioïque et se reproduit au travers d'un cycle digénétique isomorphe, elle se situe entre le printemps et l'été ; Les organes reproducteurs des gamétophytes (à n chromosomes) apparaissent sur le thalle, sous forme de petites taches sombre ; Les gamètes femelles et



mâles sont réunis en sores, les gamètes femelles (oosphères) ne sont pas flagellés et sont immobiles contrairement aux gamètes mâles (anthérozoïdes).

Lors de la fécondation, il y a formation d'un zygote (œuf). Celui-ci se développe en un thalle ou une génération sporophytique (à  $2n$  chromosomes) produisant, après méiose, des sporocystes qui libèreront des spores. Ces spores se développeront en un nouveau gamétophyte mâle ou femelle. La morphologie du gamétophyte et du sporophyte sont identiques (génération isomorphe).

Les individus qui se développent en Méditerranée ne portent pas de structures reproductives.

Dans son aire d'origine, les organes reproducteurs apparaissent quand la température de l'eau dépasse  $15\text{ °C}$ . Sur nos côtes, la reproduction n'a pas encore été observée. Dans l'Atlantique Nord-Est, seuls les sporocystes ont été trouvés.

-L'espèce se multiplie aussi de manière végétative par fragmentation et via des propagules qui se développent à la surface du thalle. Ce mode de propagation a été adopté avec succès dans les eaux méditerranéennes (Verlaque *et al*, 2006).

### II-4-1- Reproduction végétative et asexuée :

*R. okamurae* se reproduit notamment de manière végétative et asexuée, ce qui lui confère la capacité de coloniser rapidement de nouveaux espaces (Bellissimo *et al*, 2024).

Actuellement, son développement rapide ne semble pas être contrôlé, et aucun prédateur n'a été identifié. Cela pourrait poser un risque pour les algues locales, en plus de perturber les espèces animales indigènes et de bouleverser la biodiversité marine locale

### II-4-2- Sa propagation

Propagation Végétative : L'algue se multiplie par fragmentation et via des propagules qui se développent à la surface du thalle. Ces propagules peuvent être détachées par les vagues et les courants, permettant ainsi une dispersion rapide dans les eaux environnantes (Verlaque *et al*, 2021).

-Bien que la reproduction sexuée soit peu documentée en Méditerranée, l'algue peut également se reproduire par spores et monospores, bien que ce mode de reproduction soit moins fréquent dans les eaux méditerranéennes (Bellissimo *et al*, 2024)

- L'introduction initiale de *R. okamurae* dans de nouveaux habitats est souvent facilitée par des activités humaines, telles que le commerce des produits de la mer. Par exemple, elle a pu être introduite dans la région de Marseille via l'utilisation de cette algue comme matériel d'emballage pour les oursins



- Les marinas et ports peuvent agir comme des "tremplins" pour la propagation de l'algue, car elles permettent aux propagules de se disperser plus facilement à travers les eaux (Katsanevakis *et al*, 2023)

### II- 5- Alimentation

*Rugulopteryx okamurae* est une algue brune qui produit sa biomasse principalement grâce à des pigments de type chlorophylle par la photosynthèse ; Ce processus transforme l'énergie lumineuse en sucres, qui constituent la base de son alimentation et de sa croissance. Cependant la quantité de lumière nécessaire est très variable selon l'espèce Comme toutes les algues, elle utilise les nutriments présents dans l'eau, tels que les nitrates et les phosphates, pour réaliser la photosynthèse (Lamare *et al*, 2021),

### II-6- Pigmentation

*Rugulopteryx okamurae*, est une algue brune invasive, et est principalement caractérisée par une couleur qui varie du vert au brun jaune qui peut devenir plus sombre avec l'âge. Cette algue présente une teinte opaque, allant du brunâtre au verdâtre, avec des marges du thalle qui ont un liseré plus clair visible selon l'éclairage (Verlaque *et al*, 2021)

Les pigments spécifiques présents dans *Rugulopteryx okamurae* incluent principalement des chlorophylles, notamment la chlorophylle a et la chlorophylle c, ainsi que des caroténoïdes comme la fucoxanthine.

**Chlorophylle a** : avec une concentration de  $263,87 \pm 5,88$  µg/g de poids sec.

**Chlorophylle c** : abondante chez les algues brunes, avec une concentration de  $64,59 \pm 4,09$  µg/g de poids sec.

**Chlorophylle d** : présente à une concentration de  $27,85 \pm 0,84$  µg/g de poids sec.

**Caroténoïdes** : présents à une concentration de  $21,48 \pm 0,06$  µg/g de poids sec.

**Fucoxanthine** : un pigment important dans les algues brunes, avec une concentration de  $18,54 \pm 0,73$  µg/g de poids sec.

**Phycobiliprotéines (phycoérythrine et phycocyanine)** : présentes en faible quantité.

En outre, *Rugulopteryx okamurae* contient également des phycobiliprotéines, bien que leur contenu soit relativement faible par rapport aux autres pigments. Ces pigments contribuent à la capacité photosynthétique de l'algue et à sa coloration générale (Monsif, 2023).



### II-7- Distribution géographique et dynamique d'invasion

#### II-7-1- Zones Touchées

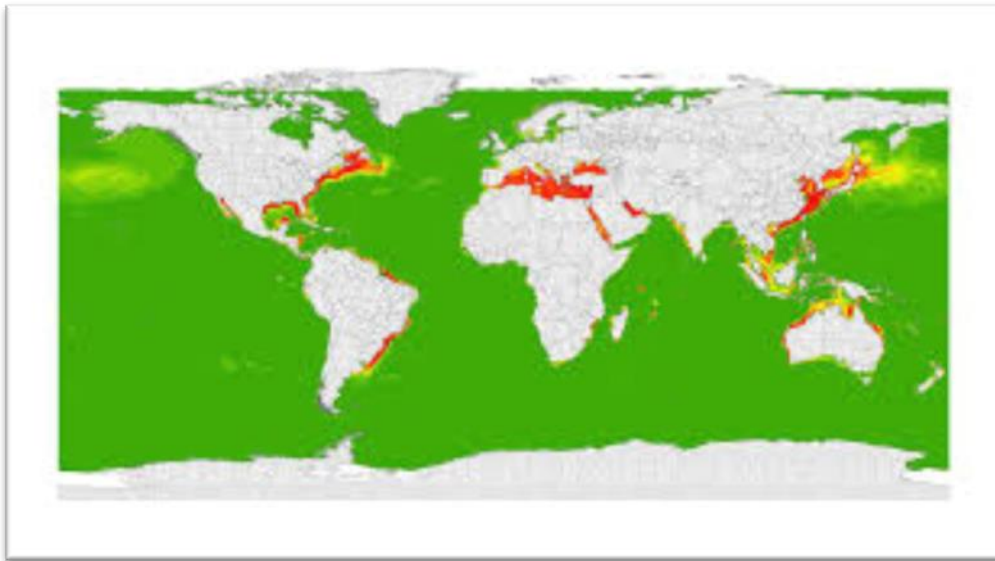
- **Méditerranée** : Présente dans l'étang de Thau en France depuis 2002, elle s'est récemment propagée le long des côtes méditerranéennes françaises, notamment dans la région de Marseille et les Calanques.

Elle est également établie sur les côtes espagnoles, principalement en Andalousie, et dans le détroit de Gibraltar (Bellissimo *et al*, 2024).

- **Atlantique** : Elle a été signalée sur les côtes atlantiques de l'Espagne, notamment à Ceuta, Cádiz, Málaga, et aux îles Chafarinas.

Des spécimens ont également été trouvés en drift dans les provinces de Huelva, Granada et Almería (MTERD, 2015)

- **Macaronesie** : L'algue a atteint les Açores, Madère et les îles Canaries (Verlaque *et al*, 2021)
- **Portugal** : Des observations récentes ont confirmé sa présence (Bellissimo *et al*, 2024).



**Figure 11** : Distribution géographique de *Rugulopteryx okamurae* (MTERD, 2020)

#### II-7-2- Mode de Dispersion

La dispersion de *Rugulopteryx okamurae* est influencée par plusieurs facteurs clés :

- **Transport maritime** : L'algue a probablement été introduite en Europe à travers des naissains d'huîtres importées du Japon.

Le transport maritime, y compris les eaux de ballast, joue un rôle essentiel dans sa propagation (Lamare *et al*, 2021).

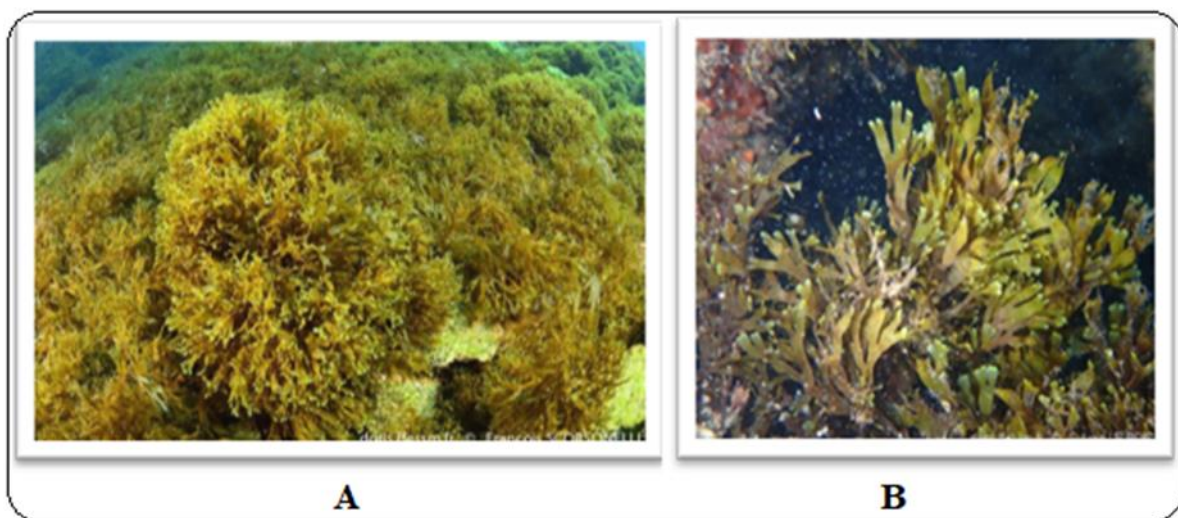


- **Courants marins** : Les courants marins permettent aux spores et propagules de l'algue de se disperser sur de grandes distances, facilitant ainsi son expansion (Bellissimo *et al.*, 2024).

### II-7-3- Habitat

Dans son aire d'origine, *Rugulopteryx okamurae* est fréquemment trouvée dans les eaux tempérées et sub-tropicales, où elle prospère sur une large gamme de profondeurs, allant de la zone intertidale jusqu'à plusieurs mètres, voire dizaines de mètres sous la surface de l'eau.

En Méditerranée, cette algue invasive se développe notamment sur des substrats rocheux (Figure12), généralement depuis la surface jusqu'à des profondeurs de 10 à 15 mètres. Cependant, elle a été observée à des profondeurs bien plus importantes dans certaines régions, principalement dans les eaux marseillaises, où elle a été détectée jusqu'à 40 mètres de profondeur. Cette adaptabilité à différentes profondeurs souligne sa capacité à coloniser divers habitats marin (Faria *et al.*, 2021).



**Figure 12** : A : Tapis dense sous l'eau (Scorsonelli, 2021) ; B : *Rugulopteryx okamurae* (Le bris, 2019)

### 7- Impacts Écologiques

*Rugulopteryx okamurae* connaît des pics de prolifération depuis 2015, ce qui a un impact significatif sur la biodiversité marine.

Cette algue invasive entre en compétition avec des espèces indigènes sciaphiles, telles qu'*Astroides calycularis*, pour l'espace et les ressources. En colonisant les fonds marins, *Rugulopteryx okamurae* réduit la disponibilité de lumière et d'habitat pour ces espèces locales, perturbant ainsi l'équilibre des écosystèmes marins (Garcia-Gomez *et al.*, 2020). Cette compétition peut entraîner une diminution de la population des espèces indigènes, modifiant



la structure et la fonctionnalité des communautés marines. Elle est également mise en cause dans les modifications des communautés coralliennes (Valverde *et al.*, 2021).

Elle obstrue les filets de pêche et recouvre les plages, impactant le tourisme et la pêche artisanale.

*Rugulopteryx okamurae* est également impliquée dans la lente disparition des gorgones rouges de l'espèce *Paramuricea clavata*, qui sont déjà vulnérables en raison du réchauffement des eaux provoqué par le changement climatique. L'expansion de cette algue invasive contribue à la dégradation de l'habitat et à la compétition pour les ressources, ce qui aggrave la situation des gorgones rouges, ces dernières sont déjà affaiblies par les impacts du réchauffement climatique, et la présence de *Rugulopteryx okamurae* accentue les pressions environnementales sur ces écosystèmes marins sensibles (Juan *et al.*, 2021).

### **II-8- Un impact économique important**

Cette algue brune japonaise se retrouve sur les côtes au printemps, elle affecte ainsi les habitats, recouvrant parfois entièrement l'habitat rocheux (Navarro-Barranco *et al.* 2019). L'accumulation et la décomposition d'une biomasse excessive générée par cette espèce dans les zones intertidales (sur les plages) comme subtidales pourraient avoir des impacts sur l'ensemble des compartiments des écosystèmes marins via les réseaux trophiques, ainsi que d'importantes pertes économiques en affectant les activités de pêche et l'usage balnéaire des plages) ainsi que d'importantes pertes économiques en affectant les activités de pêche et l'usage balnéaire des plages (Jeschke et Zanolla 2020).

**CHAPITRE 3 :**  
**MATÉRIEL ET MÉTHODES**



### 1-Le plateau de Mostaganem

Le plateau de Mostaganem, situé dans le Tell occidental de l'Algérie, est localisé à environ 60 kilomètres à l'est de la ville d'Oran. Il couvre une superficie approximative de 750 km<sup>2</sup>. Son altitude augmente sensiblement d'ouest en est, passant de 130 mètres à 293 mètres.

### 2-Sites de prélèvement

L'exploration méticuleuse des sites Stidia et Salamandre a permis la récolte d'algues (les algues rouges et les algues brunes) cueillies par le plongeur (Zahaf Bachir) de notre club oceanica, et d'autres algues vertes sélectionnées par mes soins (Figure 13).



Figure13: Récolte des algues sur terrain (Photo personnelle)

### 2-1- Plage de Stidia

La plage de Stidia se situe à une distance d'environ 20 km à l'ouest de la ville de Mostaganem (Figure 14). Ce site se caractérise par une structure montagneuse ouverte vers le nord-ouest (Coordonnées : 35°50'05"N 0°00'39"W).

Le site de Stidia est un refuge naturel de pêche, positionné entre deux grands ports, ceux de Mostaganem et d'Arzew.



Figure 15 : Localisation géographique de zone de Stidia Mostaganem (Taleb, 2021).



### 2-2- Plage de salamandre

Le site se trouve à une distance de 5 km de la ville de Mostaganem, avec un littoral s'étendant sur 4000 mètres (Figure 16). La plage de Salamandre présente des caractéristiques rocheuses et est orientée vers l'ouest. Ses coordonnées géographiques 35°55'42" N, 0°01'52" E.



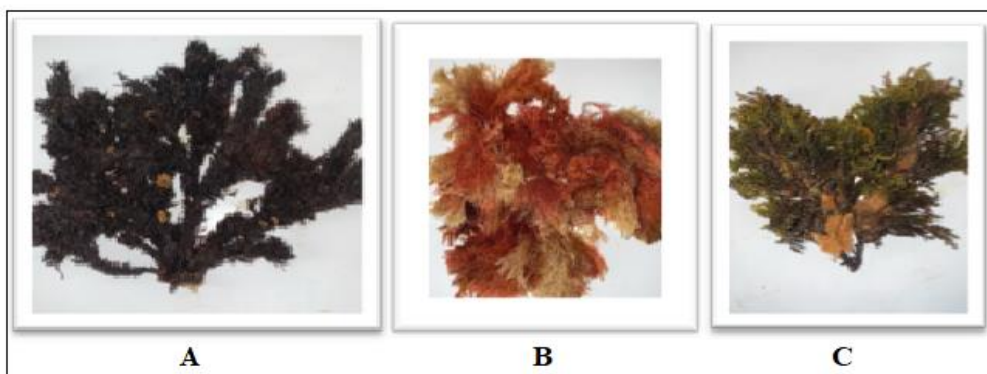
**Figure16** : Plage de la salamandre (Photo personnelle)

### 3- Echantillonnage

Les algues sont prélevées à la main et conservées dans des sachets de congélation. Une fois au laboratoire, un tri est effectué pour éliminer les débris, les petits coquillages et les autres espèces d'algues.

#### 3-1- Identification des algues

L'identification des algues (Figure17) s'est effectuée en utilisant des guides et des manuels taxonomiques appropriés à savoir les fiches FAO d'identification des espèces WORMS et d'autres documents scientifiques au sein de laboratoire de l'halieutique Université Abdelhamid Ibn Badis.



**Figure17** : Espèces échantillonnées ; A : *Cystoseira foeniculacea* ; B : *Chondrus crispus* ; C : *Sargassum muticum* (Photos personnelles)

### Chapitre 3 : Matériel et méthodes

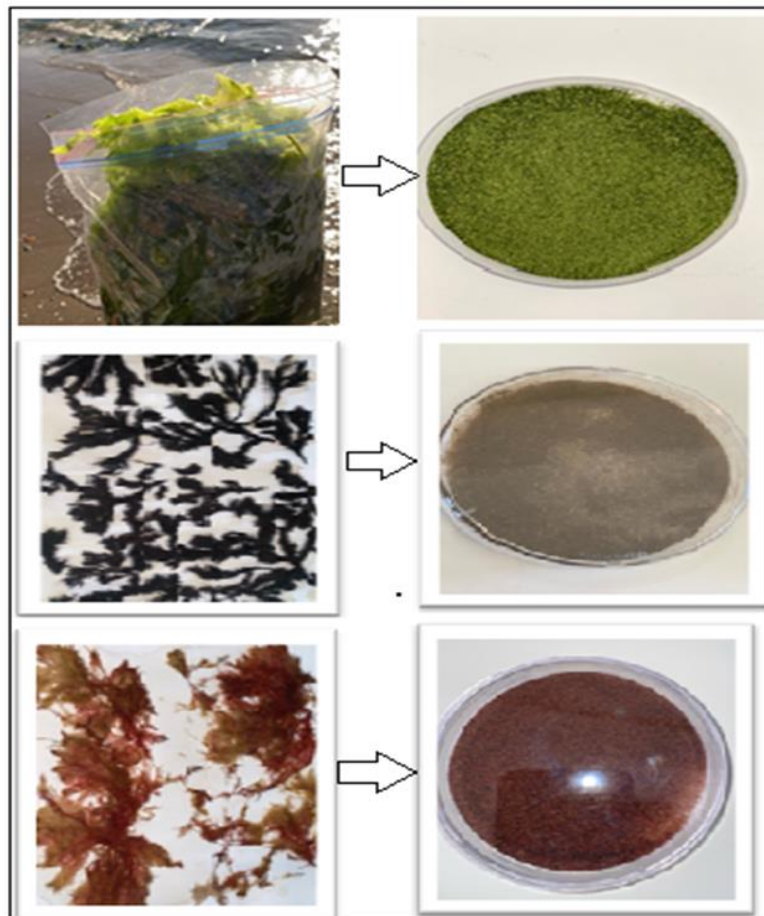


Les échantillons sont par la suite rincés plusieurs fois à l'eau du robinet pour éliminer le sable, l'excès de sel et les épiphytes.

Les échantillons sont alors étalés en couches fines sur des papiers, idéalement à l'air libre, à l'abri de la lumière durant 72h (Figure18). Après séchage, les échantillons sont broyés dans un broyeur électrique puis on a tamisée pour obtenir une poudre fine (Figure19).



**Figure18** : Séchage des algues à l'air libre (Photos personnelles)



**Figure 19** : Broyage des algues



### 5- Récolte de *Rugulopteryx okamurae*

Après plusieurs recherches de cette algue au niveau des différentes côtes de l'Ouest algériennes (Mostaganem, Oran, Tlemcen), On a pu prélevée juste qu'un petit échantillon non significatif au niveau de la plage de la Salamandre (Figure 20).



**Figure 20:** *Rugulopteryx okamurae* (Salamandre, Photo personnelle)

Toute fois et suite à la petite quantité trouvé, nous n'avons pas pu procéder à une valorisation importante, pour cela nous avons fait une synthèse de résultats de quelques travaux déjà fait afin de résumer plusieurs axes qui était prévu pour cette étude et pour des travaux ultérieurs.

### 6- Préparation de savon

La fabrication du savon sans soude caustique, aussi appelée savon à froid ou savon artisanal, est une méthode qui évite l'utilisation directe de la soude caustique (hydroxyde de sodium) dans le processus final, ce qui peut rassurer ceux qui cherchent une alternative plus douce ou plus naturelle, d'autant plus que c'est une méthode plus efficace, qui préserve sa qualité et ses spécificités

Cette méthode utilise des graisses a bases de savon pré-saponifiées, appelées "melt and pour" déjà glyceriné, qui sont déjà prêtes à l'emploi pouvant être transparente ou opaque, Ce type de base pré-saponifié à froid est fabriqué en combinant des huiles végétales et de la soude caustique. Cela provoque une réaction chimique que l'on appelle la saponification (c'est le procédé qui rend la soude caustique sans danger pour la peau).

Comment utiliser la base de savon :

- 150g de base Melt and Pour



- Huiles et beurres végétaux (5% maximum) : amande douce, jojoba, karité...
- Colorants : Oxydes minéraux, micas, colorants et pigments végétaux, argiles...
- Exfoliants : graines de pavot, marc de café, sucre, flocons d'avoine mixés...
- Cires : cire d'abeille, cire de carnauba...
- Huiles essentielles (de 0,5 à 2%) : les choisir en fonction de type de peau ou des bienfaits aroma-thérapeutiques. Les huiles essentielles, sont rajoutés a la base après un léger refroidissement afin de ne pas dégrader le parfum.
- Extraits aromatiques ou fragrances (de 1 à 5%).

### ✓ *Préparation*

1. Préparer et désinfecter le matériel et votre plan de travail.
2. Découper des morceaux de la base Melt and Pour à l'aide d'un couteau.
3. Dans un bol, peser la base de savon Melt and Pour.
4. Placez le bol au bain-marie jusqu'à la fonte complète de la base de savon. Retirez du feu.
5. Incorporer les éventuels colorants, exfoliants, beurre/huiles, parfum et mélanger à l'aide d'une spatule ou d'un fouet (remuer délicatement afin de ne pas incorporer des bulles d'air dans votre pâte à savon).
6. Verser le mélange dans le moule. Si de petites bulles se forment à la surface du savon, il suffit de vaporiser un peu d'alcool sous forme de spray dessus.
7. Laissez épaissir le savon, puis démoulez. Les savons sont utilisables dès solidification.

### ✓ *Quelles sont les conditions optimales de conservation d'un savon à base melt and pour ?*

Un savon à base de Melt and Pour se conserve 6 mois à température ambiante, à l'abri de l'humidité et de la lumière dans un contenant hermétique après séchage.



**Figure 21:** Etapes de fabrication du savon

**CHAPITRE 4 :**  
**RÉSULTATS ET DISCUSSION**



### 1- Valorisation de l'algue *Rugulopteryx okamurrae*

La quantité infime récoltée ne nous a pas permis d'effectuer une valorisation adéquate, pour cela nous nous sommes vus tenu de faire un résumé sur les différentes études de valorisation déjà faites sur cette algue invasive

#### 1-1 Valorisation biochimique :

##### 1-1-1- Composition immédiate

La composition chimique des algues (protéines, polysaccharides, minéraux, pigments, polyphénols et teneur en lipides) varie amplement en fonction de plusieurs facteurs, tels que les espèces et les genres, la période de récolte et les conditions de l'habitat (température de l'eau, lumière, salinité, nutriments) (Samarasinghe, M.B. *et al*, 2021)

Les travaux de valorisation biochimique de *R. okamurrae* la plus récente celle de Radia NA Belhadj *et al*, en 2024, exposent des résultats résumés dans le tableau 1 présenté ci-dessous.

**Tableau 1** : Composition approximative de *Rugulopteryx okamurrae* (moyenne  $\pm$  ET, n = 3)  
(Radia NA Belhadj *et al*, 2024).

Composition immédiate	Cette étude (g/100 g ps)	Autres études (g/100 g ps)
Humidité	4,4 $\pm$ 0,2	8,06 $\pm$ 0,16 (Ferreira-Anta, T, <i>et al</i> 2023)
Cendres	14,3 $\pm$ 0,2	11,56 $\pm$ 0,68 (Ferreira-Anta, T, <i>et al</i> 2023) 11,30 $\pm$ 0,08 (Cebrián-Lloret, V <i>et al</i> , 2024) 15,15 $\pm$ 0,37 (Agustín, R.V. <i>et al</i> , 2023)
Protéines	5,5 $\pm$ 1,8	16,43 $\pm$ 0,70 (Ferreira-Anta, T, <i>et al</i> 2023) 12,2 $\pm$ 0,2 (Cebrián-Lloret, V <i>et al</i> , 2024) 49,05 $\pm$ 1,36 (Agustín, R.V. <i>et al</i> , 2023)
Matières grasses	17,1 $\pm$ 0,4	6,17 $\pm$ 0,15 (Ferreira-Anta, T, <i>et al</i> 2023) 17,3 $\pm$ 3,2 (Cebrián-Lloret, V <i>et al</i> , 2024) 4,02 $\pm$ 0,29 (Agustín, R.V. <i>et al</i> , 2023)

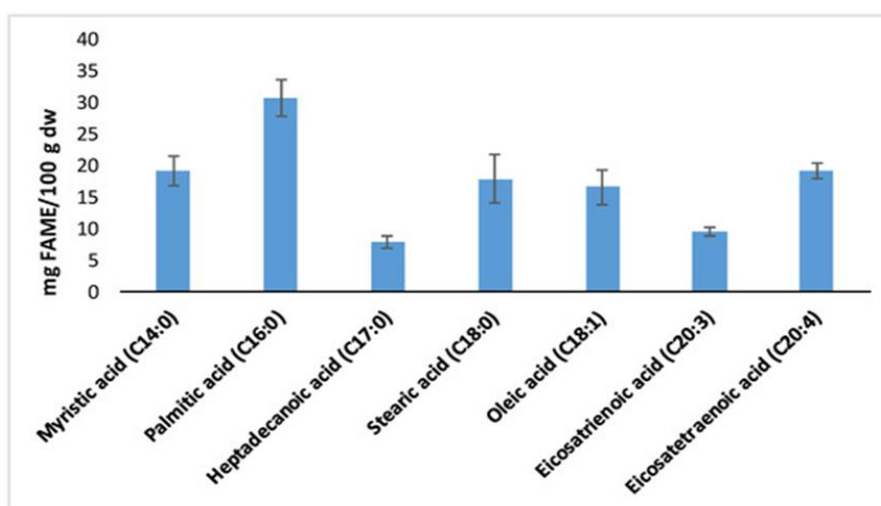


Composition immédiate	Cette étude (g/100 g ps)	Autres études (g/100 g ps)
Glucides <sup>1</sup>	58,7 ± 2,6	60,4 ± 5,1 (Cebrián-Lloret, V <i>et al</i> , 2024)
Polysaccharides		
Lignine insoluble	18,2 ± 2,4	4,49 ± 0,60 (Agustín, R.V. <i>et al</i> , 2023)
Lignine soluble	0,7 ± 0,1	-
Holocellulose	49,2 ± 1,3	-
α-cellulose	43,4 ± 2,0	13.6 (Agustín, R.V. <i>et al</i> , 2023)
Hémicelluloses	5,8 ± 0,7	-

<sup>1</sup> Les glucides ont été calculés par différence = 100 – somme (humidité + cendres + protéines + matières grasses).

### 1-1-2- Profil des acides gras

Le profil des acides gras de *Rugulopteryx okamurae* (Figure 22) de l'étude de Radia NA Belhadj *et al*, en 2024 a montré la présence d'acide myristique (C14:0), d'acide palmitique (C16:0), d'acide heptadécanoïque (C17:0), d'acide stéarique (C18:0), d'acide oléique (C18:1), d'acide eicosatriénoïque (C20:3) et d'acide eicosatétraénoïque (C20:4)



**Figure 22 :** Composition en acides gras obtenue pour *Rugulopteryx okamurae* (moyenne ± ET, n = 3) (Radia NA Belhadj *et al*, 2024).



### 1-1-3- Profil des monosaccharides

L'étude de Radia NA Belhadj *et al*, en 2024 sur la composition des monosaccharides de RO (Tableau 2) a montré que le glucose était le composant principal ( $13,2 \pm 1,0$  % en poids), dérivé de la cellulose, suivi de l'acide glucuronique ( $9,3 \pm 0,5$  % en poids) et de teneurs plus faibles en D-galactose ( $2,6 \pm 0,3$  % en poids), fucose ( $2,7 \pm 0,3$  % en poids), xylose ( $1,3 \pm 0,2$  % en poids), cellobiose ( $0,7 \pm 0,1$  % en poids) et mannose ( $0,6 \pm 0,2$  % en poids).

**Tableau 2** : Monosaccharides présents dans *Rugulopteryx okamurae* (moyenne  $\pm$  ET, n = 3) (Radia NA Belhadj *et al*, en 2024).

Monosaccharide	Cette étude (% en poids, poids sec)	Autres études (% en poids, poids sec) (Ferreira-Anta, T <i>et al</i> , 2023)
Fucose	$2,7 \pm 0,3$	$6,38 \pm 0,02$
D-galactose	$2,6 \pm 0,3$	$2,76 \pm 0,07$
Glucose	$13,2 \pm 1,0$	$11,69 \pm 0,12$
Xylose	$1,3 \pm 0,2$	$0,68 \pm 0,02$
Mannose	$0,6 \pm 0,2$	$1,91 \pm 0,05$
Cellobiose	$0,7 \pm 0,1$	-
Acide glucuronique	$9,3 \pm 0,5$	$1,65 \pm 0,01$

### 1-1-4- Composition minérale

Les macro-algues brunes sont de riches sources de minéraux, avec des teneurs allant de 14 à 35 % en poids (Remya *et al*, 2022). Leur concentration et leur composition sont influencées par la situation géographique et l'espèce, car les algues peuvent absorber sélectivement les minéraux de l'eau de mer environnante (Rasyid *et al*, 2019).

Winarni *et al*, 2021, signalent que les algues contiennent plus de minéraux et possèdent une plus grande capacité ( $> 10^6$ ) à concentrer les éléments des terres rares par rapport aux plantes terrestres en accumulant spécifiquement les minéraux de l'eau de mer voisine dans leurs thalles (Al-Souti *et al* 2022).

L'étude de Radia NA Belhadj *et al*, en 2024, a montré des quantités élevées de macro-minéraux (Tableau 3), avec des concentrations par ordre décroissant de  $\text{Ca} > \text{K} > \text{Na} > \text{S} > \text{Mg}$  et des valeurs de  $413,6 \pm 3,4$  mg/100 g,  $259,0 \pm 3,6$  mg/100 g,  $200,3 \pm 0,1$  mg/100 g,  $199,9 \pm 3,6$  mg/100 g et  $101,9 \pm 3,5$  mg/100 g, respectivement. L'OI a également présenté des quantités appréciables d'oligo-éléments (Mn, Mo, Se et Cu).



**Tableau 3 :** Teneur en minéraux de *Rugulopteryx okamurae* (moyenne  $\pm$  ET, n = 3) (Radia NA Belhadj *et al*, 2024).

Élément	mg/100 g de poids sec	Élément	mg/100 g de poids sec
Californie	413,6 $\pm$ 3,4	Cu	0,2 $\pm$ 0,1
K	259,0 $\pm$ 3,6	Mn	0,2 $\pm$ 0,1
N / A	200,3 $\pm$ 0,1	Rb	0,2 $\pm$ 0,1
S	199,9 $\pm$ 3,6	Ni	0,2 $\pm$ 0,1
Mg	101,9 $\pm$ 3,5	Ti	0,03 $\pm$ 0,01
Sr	23,1 $\pm$ 0,7	V	0,02 $\pm$ 0,01
P	16,2 $\pm$ 0,9	Pb	0,02 $\pm$ 0,01
Fe	6,0 $\pm$ 0,6	Cr	0,02 $\pm$ 0,01
Si	2,0 $\pm$ 0,2	Moi	0,02 $\pm$ 0,01
Al	1,1 $\pm$ 0,2	Se	0,02 $\pm$ 0,01
Zn	0,6 $\pm$ 0,2	Co	0,02 $\pm$ 0,01
Comme	0,3 $\pm$ 0,1	Ag	0,002 $\pm$ 0,001
Sn	0,3 $\pm$ 0,1	CD	0,002 $\pm$ 0,001

### 1-2- Valorisation énergétique (bioénergie)

L'algue est riche en matière organique et peut être exploitée dans la production de biogaz par méthanisation, et la co-digestion avec d'autres déchets organiques améliore les rendements (Rodríguez *et al*, 2021)

### 1-3- Valorisation agricole et fertilisante

Des études montrent que *R. okamurae* peut être utilisée comme amendement organique ou engrais naturel, grâce à sa richesse en macro-éléments (K, Ca, Mg) et composés bioactifs. Elle améliore la structure du sol, augmente la rétention en eau, et stimule la croissance des plantes (García-Gómez *et al*, 2020)

### 1-4- Extraction de composés bioactifs et pharmaceutiques

*R. okamurae* possède des composés phénoliques, des terpènes, et des fucanes sulfates ayant des propriétés: Antioxydantes, antimicrobiennes et anti-inflammatoires (Mendiola *et al*, 2022).



### 1-5- Valorisation en biomatériaux (bioplastiques, compostables)

L'algue est testée comme matière première pour la fabrication de bioplastiques ou de films biodégradables. Elle possède des polysaccharides utilisables dans la production de gels et matériaux souples (Pérez-Lloréns *et al*, 2021).

### 1-6- Utilisation en alimentation animale

Certaines recherches explorent son incorporation dans les rations alimentaires animales (notamment ovines et bovines) ainsi qu'elle améliore la digestibilité et offre un apport protéique et minéral intéressant (Martínez *et al*, 2021),

## 2- Valorisation en fabrication de savon

Les algues marines se distinguent par leur richesse en composés bioactifs tels que les polysaccharides sulfatés (alginate, carraghénane, fucoïdane), les polyphénols, les vitamines (A, C, E), ainsi que des oligo-éléments (iode, zinc, magnésium). Ces composants leur confèrent des propriétés hydratantes, antioxydantes, anti-inflammatoires et reminéralisantes qui trouvent un intérêt majeur dans les formulations cosmétiques.

Dans le contexte de notre travail, les caractéristiques prises en considération permettent de produire des savons qui non seulement :

- Améliorent l'hydratation cutanée,
- Apaisent les peaux sensibles ou irritées,
- Offrent une protection contre le vieillissement prématuré de la peau dû aux radicaux libres.

Ainsi, l'ajout d'extraits d'algues ou de poudres d'algues dans les formulations savonnrières permet non seulement de conférer une dimension thérapeutique au produit, mais aussi de le positionner dans le segment des cosmétiques haut de gamme et naturels.

Les savons formulés avec des algues présentent des propriétés sensiblement supérieures à celles des savons classiques :

- Hydratation élevée : Les polysaccharides des algues retiennent l'eau, renforçant la barrière cutanée et prévenant la déshydratation.
- Action exfoliante douce : La poudre d'algue agit comme un exfoliant naturel, éliminant les cellules mortes sans agresser la peau.
- Parfum marin subtil : Apporte une sensation de fraîcheur et une identité olfactive propre aux produits marins.

## Chapitre 4 : Résultats et discussion



- Biodégradabilité : Réduit l'impact environnemental des cosmétiques sur les milieux aquatiques.

Ces caractéristiques répondent aux tendances actuelles de la cosmétique verte où les consommateurs recherchent des produits respectueux de la santé et de l'environnement, sans substances chimiques controversées (parabènes, sulfates, silicones).

Notre valorisation faites en fabrication de savon (Figure 23), à donner des résultats intéressants avec des produits naturels, présentant des caractéristiques distinctives qui résultent de la richesse biochimique des algues marines.

Sa couleur, variant du vert au brun, est due aux pigments naturels comme la chlorophylle et les caroténoïdes.

La texture peut être lisse lorsque des extraits sont utilisés, ou légèrement rugueuse en présence de poudre d'algue, procurant un effet exfoliant doux.

Sur le plan fonctionnel, les polysaccharides (alginate, carraghénane), vitamines et minéraux apportés par les algues confèrent au savon des propriétés hydratantes, apaisantes et anti-oxydantes, le rendant particulièrement adapté aux peaux sensibles et déshydratées.

Nous avons résumé dans le tableau ci-dessous les différentes caractéristiques des trois méthodes de la saponification utilisés afin d'avoir une vision globale

**Tableau 04** : Comparaison entre les trois méthodes de saponification

Critères	Saponification à chaud	Saponification à froid	Sans utilisation de soude (Melt and pour)
<b>Définition</b>	Méthode où la pâte à savon est chauffée pour accélérer la réaction de saponification.	Méthode où la réaction se fait à température ambiante, puis le savon "cure" plusieurs semaines.	Utilisation d'une base de savon prête (glycérinée) fondue et remoulée avec des ajouts.
<b>Utilisation de soude</b>	Oui (hydroxyde de sodium - NaOH).	Oui (hydroxyde de sodium - NaOH).	Non (base de savon préfabriquée déjà saponifiée).
<b>Temps de fabrication</b>	Rapide (savon utilisable en 1-2 jours après cuisson).	Long (4-6 semaines de cure nécessaires).	Très rapide (prêt en 1-2 jours, pas de cure).
<b>Conservation des actifs (algues, huiles essentielles)</b>	Moyenne (la chaleur peut dégrader certains actifs sensibles).	Excellente (pas de chaleur, les actifs restent intacts).	Excellente (aucune réaction chimique, juste un mélange).
<b>Complexité technique</b>	Moyenne à élever (maîtrise de la	Moyenne (précision dans les proportions et	Très faible (simple fonte et mélange).



	température et de la cuisson).	la manipulation).	
<b>Aspect final</b>	Texture plus rustique, couleur légèrement altérée par la cuisson.	Aspect lisse et homogène, couleurs et parfums bien conservés.	Aspect translucide ou opaque selon la base glycinée utilisée.
<b>Avantages</b>	Savon utilisable rapidement. Plus dur et résistant.	Respect des actifs naturels Texture plus douce et hydratante	Pas de manipulation de soude Très simple et rapide.
<b>Inconvénients</b>	Risque de surchauffe et perte de propriétés des ajouts. Moins adapté aux extraits sensibles.	Temps de cure long Fragile pendant la phase de séchage	Dépendance aux bases commerciales Moins "artisanal".



**Figure 23 :** Savons des d’algues échantillonnées

Ce type de valorisation en fabrication de savon s’inscrit dans une démarche écologique, car il valorise une ressource renouvelable et parfois envahissante. Toutefois, pour préserver l’intégrité des actifs marins, il est recommandé d’utiliser des méthodes douces comme la saponification à froid, qui limite la dégradation thermique des composés sensibles.

# **CONCLUSION GENERALE**



La valorisation des algues dans la fabrication de savons s'inscrit dans une dynamique innovante à l'intersection de la cosmétique naturelle, de la biotechnologie marine et du développement durable. Riches en composés bioactifs tels que les polysaccharides sulfatés (alginate, carraghénane, fucoïdane), les acides gras essentiels, les polyphénols et les vitamines (A, C, E, K), les algues apportent des bénéfices multiples aux formulations savonnières.

Elles confèrent au savon des propriétés hydratantes par leur capacité à retenir l'eau (effet filmogène des alginates), apaisantes et anti-inflammatoires grâce aux fucoïdanes, et antioxydantes par la présence de polyphénols et caroténoïdes qui protègent la peau contre le stress oxydatif et le vieillissement prématuré. De plus, leur richesse en minéraux (iode, zinc, magnésium) favorise la reminéralisation cutanée et le maintien de la barrière hydrolipidique, ce qui rend ces savons particulièrement adaptés aux peaux sèches, sensibles ou matures.

Sur le plan technologique, les extraits d'algues agissent également comme agents texturants et stabilisants naturels, améliorant la consistance et la durée de vie du savon. Certaines algues rouges, par exemple, apportent une légère action exfoliante lorsqu'elles sont intégrées sous forme de poudre fine, ce qui permet de créer des savons multifonctionnels à la fois nettoyants et gommants.

D'un point de vue environnemental et économique, l'utilisation des algues favorise la valorisation d'une biomasse marine renouvelable, dont la culture ne nécessite ni irrigation, ni engrais, ni terres arables, limitant ainsi l'empreinte écologique par rapport à certaines huiles végétales (comme l'huile de palme) massivement utilisées en savonnerie traditionnelle. Les macroalgues, en particulier, contribuent à la séquestration du CO<sub>2</sub> et à la lutte contre l'eutrophisation des milieux marins lorsqu'elles sont cultivées de manière raisonnée.

Le développement d'une filière savonnière intégrant les algues peut donc soutenir l'économie bleue, dynamiser les zones côtières et créer des emplois locaux autour de la récolte, de la transformation et de la commercialisation.

Enfin, dans un contexte où les consommateurs recherchent des produits cosmétiques naturels, écoresponsables et innovants, les savons enrichis en algues se positionnent comme des produits à haute valeur ajoutée. Ils répondent aux attentes de transparence et de durabilité tout en offrant une efficacité prouvée grâce à la richesse fonctionnelle des ingrédients marins. Ainsi, la valorisation des algues en savonnerie ne se limite pas à un simple choix formulatoire : elle constitue une réponse globale aux enjeux environnementaux, sociaux et économiques actuels, tout en ouvrant la voie à des perspectives prometteuses pour l'industrie cosmétique du futur.

## Conclusion générale



Toutefois, concernant l'étude des résultats obtenus par Radia NA Belhadj *et al*, 2024, met en évidence le potentiel de l'algue brune *Rugulopteryx okamurae* en tant que riche source naturelle de composés bioactifs à activité antioxydante, utilisable dans différentes applications, offrant des effets bénéfiques fonctionnels et nutritionnels.

De plus, la teneur élevée en minéraux et la capacité de l'osmose inverse à accumuler les métaux toxiques de l'eau de mer ouvrent de nouvelles perspectives pour l'utilisation de cette algue brune comme matériau absorbant ou biomarqueur dans les études écologiques.

Ces approches de valorisation contribueront à réduire les problèmes environnementaux liés à l'accumulation de cette espèce envahissante en créant de nouveaux produits fonctionnels et en prenant en compte les principes de l'économie circulaire

# **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**



- Agustín, R.V.; Luis Alberto, F.G.; Ana, B.; Luis Isidoro, R.G.; Belén, D.A. 2023-** *Rugulopteryx okamurae*: Assessment of its potential as a source of monosaccharides for obtaining bio-products. Chem. Eng. J. 2, 468. [CrossRef]
- Ainane, T. 2011-** Valorisation de la biomasse algale du Marne Potentialit pharmacologiques et applications environnementales, cas des algues brunes *Cystoseira tamariscifolia* et *Bifurca riabifurcata*. Thèse de doctorat en chimie, Université Hassan II - Casablanca, Maroc.
- Al-Souti, A.; Gallardo, W.; Claereboudt, M.** Chemical and nutritional compositions and in vitro digestibility of brown and green seaweed in Southern Oman. Asian J. Plant Sci. 2022, 21, 353–359. [CrossRef]
- Assoumani M.B., 1997-** AquaMin, natural calcium supplement derived from seaweed. AgroFood-Industry HiTech: 45-47.
- Bellissimo, S., Mateo-Ramírez, Á., Iñiguez, C., Fernández-Salas, L.M., Sánchez-Leal, R.F., & Rueda, J.L., 2024-** The invasive brown seaweed *Rugulopteryx okamurae* (Dictyotales, Phaeophyceae) expands in the Mediterranean: distribution, vectors, and environmental drivers. BioInvasions Records, 13(2), 123–140. <https://doi.org/10.3391/bir.2024.13.2.01>
- Belsher, T., 1977-** Analyse des répercussions de pollutions urbaines sur les macrophytobenthos de Méditerranée (Marseille, Port-Vendres, Port-Cros). Thèse Doctorat 3<sup>o</sup>cycle, Université d’Aix-Marseille II, France.
- Benchabane, O, 1989-** Etude de la fraction lipidique de *Cystoseira sedoides*: Algue brune endémique des cotes d’Algérie. Ann.Inst. Nat.Agro.El Harrach. 13, 659,655. *Biochemical Pharmacology*, 32: 1141-1148.
- Blackburn, TM, Pyšek, P., Bacher, S., Carlton, JT, Duncan, RP, Jarošík, V., & Borowitzka, M.A, 2000-** "Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters."Journal of Biotechnology, 2000.
- Boudouresque, C. F, 1999-** The Red Sea–Mediterranean link: unwanted effects of canals. Invasive species and biodiversity management. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 213-228
- Boudouresque, CF, & Verlaque, M., 2002-** Pollution biologique en Méditerranée : macrophytes invasifs versus introduits. Bulletin de la pollution marine, 44 (1), 32-38.
- Cebrián-Lloret, V.; Cartan-Moya, S.; Martínez-Sanz, M.; Gómez-Cortés, P.; Calvo, M.V.; López-Rubio, A.; Martínez-Abad, A. 2024-** Characterization of the invasive



macroalgae *Rugulopteryx okamurae* for potential biomass valorisation. Food Chem. 440, 138241. [CrossRef] [PubMed]

**Charpy L., 2008-** Colloque International « la Spiruline et le développement », formation et transfert de technologie, en matière de culture de Spiruline : 28 - 29 et 30 avril 2008. Toliara - Sud-Ouest Madagascar : 8, 9, 89, 91, 131-134

**Charpy L., Langlade M. J., Alliod R., 2008-** La Spiruline peut-elle être un Atout pour la Santé et le Développement en Afrique ? Institut de recherche pour le développement, Marseille, p 6, 16.

**Chouikhi A., 2013-** Les applications potentielles des macrophages marines et les activités pharmacologiques de leurs métabolites. USTHB-FBS-4th International Congress of the Populations & Animal Communities "Dynamics & Biodiversity of the terrestrial & aquatic Ecosystems" CIPCA4"TAGHIT Bechar – ALGERIA, 40 p.

**Clerck, O., García-Gómez, J.C., & Figueroa, F.L., 2006-** Morphological and anatomical features of *Rugulopteryx okamurae* (Dictyotales, Phaeophyceae): thallus structure and cellular organization. Phycologia, 45(4), 456–463. <https://doi.org/10.2216/05-59.1> ;

**Clout, MN, & Craig, JL, 1998-** Restauration écologique pour les vertébrés, les écosystèmes ne fonctionneront pas sans eux. Dans Restaurer la santé et la richesse des écosystèmes, une conférence sur la restauration écologique en Nouvelle-Zélande. Christchurch.

**Delmail, D., 2011-** Contribution de *Myriophyllum alterniflorum* et de son périphyton à la biosurveillance de la qualité des eaux face aux métaux lourds. Université de Limoges, France

**El Aamri, Y., Megina, C., García-Gómez, J.C., & Sempere-Valverde, J., 2018-** First records and distribution of the invasive brown alga *Rugulopteryx okamurae* in the Strait of Gibraltar: ecological implications. Mediterranean Marine Science, 19(3), 447–456. <https://doi.org/10.12681/mms.19642>,

**Ercegovic A., 1952** -Fauna i Flora Jadrana. Jadranske cistozire. Njihova morfologija, ekologijai razvitak/Fauna et Flora Adriatica. Sur les *Cystoseira adriatiques*. Leur morphologie, écologie et évolution. Vol. 2. Split, Institut za Oceanografiju i Ribarstvo Split/Institut d'Océanographie et de Pêche, pp. 1-172 (Croatian), 173-210 (French), 211-212

**Fairweather, P.G., 1990-** Sewage and the biota on seashores: assessment of impact in relation to natural variability. *Environmental Monitoring and Assessment*, 14: 197-210.

**Falquet, 1996-** *Spirulina*: Aspects nutritionnels, document Antenna technologie Genève.

**Faria, J., Martins, G., & Silva, P., 2021-** Distribution and depth range of the invasive brown alga *Rugulopteryx okamurae* in the Mediterranean Sea: ecological implications. Marine Ecology Progress Series, 675, 45–58. <https://doi.org/10.3354/meps13789>



- Ferreira-Anta, T.; Flórez-Fernández, N.; Torres, M.D.; Mazón, J.; Dominguez, H. 2023-** Microwave-Assisted Hydrothermal Processing of *Rugulopteryx okamurae*. *Mar. Drugs* 21, 319. [CrossRef]
- Fox R.D, 1999-** Spiruline, Technique pratique et promesse. Aix en provence: Edisud; 1999.
- Galil, B. S. 2008-** Alien species in the Mediterranean Sea—which, when, where, why?. In *Challenges to marine ecosystems* (pp. 105-116). Springer, Dordrecht
- Galil, BS 2007-** Perte ou gain ? Espèces exotiques envahissantes et biodiversité en Méditerranée. *Bulletin de la pollution marine*, 55 (7-9), 314-322.
- Galil, BS, 2009-** Bilan : inventaire des espèces exotiques en Méditerranée. *Invasions biologiques*, 11 (2), 359-372.
- García-Gómez, J.C., Altamirano-Jeschke, M., Ocaña, O., El Aamri, A., & F.L., 2018-** *Rugulopteryx okamurae* colonization and ecological impact on rocky sublittoral habitats of the Strait of Gibraltar
- García-Gómez, J.C., Figueroa, F.L., & Ocaña, O., 2020-** Invasion dynamics and ecological impacts of the brown alga *Rugulopteryx okamurae* in the Strait of Gibraltar: Competition with native sciaphilous species. *Marine Environmental Research*, 160, 104965. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.104965>.
- García-Gómez *et al.*, 2018
- Garon-Lardiere, S., 2004-** Etude structurale des polysaccharides pariétaux de l'algue rouge *Asparagopsis armata* (Bonne maisoniales). Université De Bretagne Occidentale.
- Haury, J., Dutartre, A., Peltre, M.C., 2008-** Introduction. *Ingénieries EAT* 3-5. Special issue.
- Havsteen, B., 1983-** Flavonoids, a class of natural products of high pharmacological potency.
- Jeschke et Zanolla, 2020-** *Rugulopteryx okamurae* – Invasive brown alga spreading in the Strait of Gibraltar: vegetative propagation and epiphytic behavior. In: *Proceedings of the Scientific Forum on Invasive Alien Species (IAS)*, 17 November 2020. EU Non-Native Species Risk Analysis Report
- Juan, S., Ostalé-Valriberas, E., Maestre, M., González, R., Bazairi, H., & Espinosa, F., 2021-** Impacts of the non-indigenous seaweed *Rugulopteryx okamurae* on a Mediterranean coralligenous community (Strait of Gibraltar): The role of long-term monitoring. *Marine Pollution Bulletin*, 169, 112570. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112570>
- Julie P., Danielle L., Daniel M., 2010** Algues, filières du futur Livre Turquoise. *Adebioihech*. 163.



- Katsanevakis, S., Zenetos, A., Belchior, C., & Cardoso, A.C., 2023-** Pathways and vectors of marine invasive species in European seas: The role of marinas and ports as stepping stones. *Management of Biological Invasions*, 14(1), 1–19. <https://doi.org/10.3391/mbi.2023.14.1.01>
- Lahaye M., 1991-** Marine algac as source of fibers: determination of soluble and insoluble dietary fibre content in some sea-vegetables. *Journal Sciences Food Agricol*, 54 et 587-94.
- Lamare, M.D., Smith, J.E., & Johnson, C.R., 2021-** Photosynthetic performance and nutrient uptake in invasive brown algae: implications for growth and spread. *Journal of Phycology*, 57(2), 345–357. <https://doi.org/10.1111/jpy.13123>
- MacHugh DJ., 2003-** FAO Fisheries technical paper no 441.
- Marfaing H., 2017-** Les algues dans notre alimentation : Intérêt nutritionnel et utilisations. *Revue de nutrition pratique. Dietecom Bretagne. CEVA.* 1-9
- Marc Verlaque ; Frédérique Steen ; Olivier De Clerck ; 2009-** *Rugulopteryx* (Dictyotales, Phaeophyceae), un genre récemment introduit en Méditerranée. Novembre 2009. *Phycologie*48(6):536-542. DOI : [10.2216/08-103.1](https://doi.org/10.2216/08-103.1). <https://www.researchgate.net/publication/240794298>
- Monsif, F., 2023-** Nutrient and temperature effects on growth and photosynthesis of the invasive seaweed *Rugulopteryx okamurae*. Université de Malaga, Thèse de master, 2023.
- Murray, S.N., Littler, M.M., 1978-** Patterns of algal succession in a perturbed marine intertidal community. *Journal of Phycology*, 14: 506-512.
- Navarro-Barranco, C., García-Gómez, J.C., & Figueroa, F.L., 2019-** Seasonal dynamics and ecological impact of the invasive brown alga *Rugulopteryx okamurae* on rocky habitats in the Strait of Gibraltar. *Marine Biology Research*, 15(6), 628–637. <https://doi.org/10.1080/17451000.2019.1623457>
- Ocaña et al., 2016** Ocaña, O., García-Gómez, J.C., Sempere-Valverde, J., González, A.R., Martínez-Chacón, M., Olaya-Ponzzone, L., Sánchez-Moyano, E., Ostalé-Valriberas, E., & Megina, C., 2016- From exotic to invasive in record time: The extreme impact of *Rugulopteryx okamurae* (Dictyotales, Ochrophyta) in the Strait of Gibraltar. *Science of The Total Environment*, 685, 135408. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135408>
- Occhipinti-Ambrogi, A., & Galil, BS, 2004-** Une terminologie uniforme sur les bioinvasions : une chimère ou un outil opératoire ? *Bulletin de la pollution marine*, 49 (9- 10), 688-694. Occidentale).



- Ollier A. 2017-** Utilisation des algues dans les compléments alimentaires usages et justifications scientifiques. Thèse doctorat.
- Pomeroy, RS, Parks, JE et Watson, LM, 2004-** Comment va votre AMP ? : Un guide d'indicateurs naturels et sociaux pour évaluer l'efficacité de la gestion des aires marines protégées. UICN.
- Poorter, M., 2009-** Menace en mer: les espèces exotiques envahissantes dans l'environnement marin
- Radia NA Belhadj, Cristina Mellinas, Alfonso jimenez, Cesar Bordehore, Maria carmen garrigos ; 2024-** L'algue invasive *Rugulopteryx okamurae* : une source potentielle de composés bioactifs à activité antioxydante. *Antioxydants* 2024, 13 (11), 1298; Soumission reçue : 25 août 2024 / Révisé : 14 octobre 2024 / Accepté : 23 octobre 2024 / Publié le 25 octobre 2024. <https://doi.org/10.3390/antiox13111298>
- Rasyid, A.; Ardiansyah, A.; Pangestuti, R. 2019-** Nutrient composition of dried seaweed *Gracilaria gracilis*. *ILMU Kelaut. Indones. J. Mar. Sci.* 24, 1–6. [CrossRef]
- Remya, R.R.; Samrot, A.V.; Kumar, S.S.; Mohanavel, V.; Karthick, A.; Chinnaiyan, V.K.; Umopathy, D.; Muhibbullah, M. 2022-** Bioactive potential of brown algae. *Adsorpt. Sci. Technol.* 2, 223. [CrossRef]
- Richardson, DM, 2011-** Un cadre unifié proposé pour les invasions biologiques. *Tendances en écologie et évolution*, 26 (7), 333-339
- Ruiz, G., 2005-** Extraction, détermination structurale et valorisation chimique de phycocolloïdes d'algues rouges. Thèse de doctorat, Chimie appliquée et chimie des substances naturelles, Université de Limoges, 230 p.
- Samarasinghe, M.B.; van der Heide, M.E.; Weisbjerg, M.R.; Sehested, J.; Sloth, J.J.; Bruhn, A.; Vestergaard, M.; Nørgaard, J.V.; Hernández-Castellano, L.E. 2021-** A Descriptive chemical analysis of seaweeds, *Ulva Sp.*, *Saccharina latissima* and *Ascophyllum nodosum* harvested from danish and icelandic waters. *Anim. Feed Sci. Technol.* 278, 115005. [CrossRef]
- Sempere-Valverde, J., Ostalé-Valriberas, E., Maestre, M., González Aranda, R., Bazairi, H., & Espinosa, F., 2021-** Impacts of the non-indigenous seaweed *Rugulopteryx okamurae* on a Mediterranean coralligenous community (Strait of Gibraltar): The role of long-term monitoring. *Ecological Indicators*, 121, 107135. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107135>



**Sirbu R. SC, Ghergie D. L., Passy Mouima N., 2006** - Caracterisation de Certains principes Actifs De *Ulva Lactuca* Et *Ulva Rigida* –Algues Vertes Du Littoral Roumain De La Mer Noire. Scientific study and research 2.

**Théodore Z. G. H. C., 2017**- Optimisation de la culture de la Spiruline en milieu contrôlé : éclairage et estimation de la biomasse (Doctoral dissertation, Toulouse 3)

**Verlaque, M., Boudouresque, C.F., & Le Parco, Y., 2006**- *Rugulopteryx okamurae* (Dictyotales, Phaeophyceae): invasive brown alga spreading in the Mediterranean Sea by vegetative propagation. *Cryptogamie, Algologie*, 27(3), 223–234. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.05.004>

**Verlaque, M., Boudouresque, C.F., & Le Parco, Y., 2021**- *Rugulopteryx okamurae* (Dictyotales, Phaeophyceae): Morphological variability and pigmentation characteristics of an invasive brown alga in the Mediterranean Sea. *Cryptogamie, Algologie*, 42(1), 15–28. <https://doi.org/10.5252/cryptogamie-algologie2021v42a2>

**Winarni, S.; Zainuri, M.; Endrawati, H.; Arifan, F.; Setyawan, A.; Wangi, A.P. 2021**- Analysis proximate of *Sargassum seaweed sp.* *J. Phys. Conf. Ser.* 1943, 012173. [CrossRef]

**Zenetos, A., Gofas, S., Verlaque, M., Çinar, ME, García Raso, JE, Bianchi, CN, & Streftaris, N., 2010**- Espèces exotiques en Méditerranée à l'horizon 2010. Une contribution à l'application de la Directive Cadre Stratégie Marine (DCSMM) de l'Union Européenne.