

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohammed Seddik Benyahia Jijel

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

Faculté des sciences de la nature et de la vie

كلية علوم الطبيعة والحياة



Département des sciences de l'environnement et des sciences agronomiques

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du Diplôme de Master académique en Biologie

♣ *Filière : Hydrologie Marine et Continentale*

♣ *Option : Ecosystèmes aquatiques*

Présenté par

Samira Benhamouda

Thème

Etude de quelques espèces d'algues marines (Ulva lactuca, Gelidium sesquipedale, Caulerpa racemosa) de la côte Jijelienne, en vue d'une valorisation

Membres de Jury :

Encadreur: Sebti M.

Président: Benterrouche I.

Examineur: Younsi S.

Session: Septembre 2021

Numéro d'ordre (bibliothèque):

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier **الله** tout puissant qui m'a donné la force et le courage d'aller jusqu'au bout de mes études. Merci et mille fois merci, à mes très chers parents pour tout le soutien moral que apporté durant ces dernières années de formation.

Un remerciement spécial pour mon promoteur Sebti Mohamed Enseignant du département des sciences de l'environnement et des sciences agronomiques, Faculté des sciences de la nature et de la vie, Université de Jijel ; pour son encadrement, conseils et sacrifices afin de donner le meilleur et pour son suivi durant la période de préparation de mon mémoire de fin d'étude.

Je remercie chaleureusement Mr: Sifour Mohamed, Enseignant au département de microbiologies pour ses connaissances, sa qualité d'encadrement dans une partie de ce travail, sa gentillesse et ses conseils instructifs.

Je remercie madame Aliouche Nadia doctorante du département de microbiologies qui m'a aidé dans une partie de ce travail avec dévouement et sincérité et patience avec moi tout au long de la période de travail.

Et remerciements vont aux membres du jury Mm Benterrouche et, Mr Younsi, qui m'ont fait l'honneur d'accepter de jurer mon travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les professeurs, qui par leurs conseils et leurs efforts durant toutes les années passées, vraiment un grand remerciement pour leurs qualité d'enseignement qui nous a été donné.

Liste des abréviations

MM: Matière minérale,
MAT: Matières azotées totales
MG: Matière grasse
NDF: Neutral détergent fiber
F : fécondation
g : gamètes
RC : Rédaction chromatique
S: spore
Z: zygote
NH₄: ammonium
NO₂⁺: nitrite NO₂⁺
NO₃⁺: nitrate
C.A: Code alimentaire
IR: indice de réfraction
I.A: indice d'acide
I.I : indice d'iode
I.S : indice de saponification
I.E : indice d'ester
I.P : indice de peroxyde
Dz : Diamètre d'inhibition
m : mètres

Liste des figures

Nombre de figure	Titre de figure	page
Figure 1	La morphologie comparée entre une algue et une plante	5
Figure 2	Structure chimique des différentes chlorophylles (<i>a</i> , <i>b</i> et <i>d</i>)	8
Figure 3	Cycles de développement	9
Figure 4	Répartition des algues selon la profondeur marine	11
Figure 5	Répartition géographique de la production mondiale d'algues en 2012	17
Figure 6	Classification des consommateurs selon la fréquence de consommation d'algues.	18
Figure 7	Marchés d'application des alginates	19
Figure 8	Les différentes bases d'algue dans les médicaments	21
Figure 9	<i>Caulerpe racemosa</i>	23
Figure 10	Schéma représentative de <i>Caulerpa racemosa</i> var. <i>cylindracea</i>	23
Figure 11	La distribution des caulerpe <i>racemosa</i> dans le monde	24
Figure 12	Cycle de reproduction chez la <i>caulerpe racemosa</i>	25
Figure13	<i>Ulva lactuca</i>	25
Figure 14	Carte représentative de la distribution mondiale de l'algue verte <i>Ulva lactuca</i>	26
Figure 15	Cycle de reproduction chez l' <i>Ulva lactuca</i>	27
Figure 16	<i>Gelidium sesquipedale</i>	27
Figure 17	Morphologie d'un thalle de <i>Gelidiumsesquipedale</i>	28
Figure 18	Cycle de reproduction sexué de <i>Gelidium sesquipedale</i>	29
Figure 19	Carte géographique présentant le littoral Jijelien	30
Figure20	Photo géographique présentant les sites d'étude	31
Figure 21	Soxhlet pour extraction	33
Figure 22	l'extrait algal dans le rotavapeur	34
Figure23	Protocole général d'extraction	35
Figure 24	Réfracte mètre	36
Figure 25	pH mètre	38
Figure 26	Représentation de la méthode de diffusion de puits	45
Figure 27	Différentes étapes de formulation de savon	48
Figure 28	Dernière étape de fabrication de savon	48

Figure 29	Etape de fabrication de savon	49
Figure30	Les trois Huiles d'algues obtenues après les extractions	52
Figure31	Représentation graphique des résultats de la réfraction des huiles	54
Figure 32	Représentation graphique des résultats la teneur en eau des huiles	55
Figure 33	Représentation graphique des résultats d'acidité des huiles d'algues	57
Figure 34	Représentation graphique des résultats de l'indice d'iode	58
Figure 35	Représentation graphique des résultats de l'indice de saponification	59
Figure 36	Représentation graphique des résultats de l'indice d'ester	60
Figure 37	Représentation graphique des résultats de l'indice de peroxyde	61
Figure 38	Résultat du test de puis de différentes huiles avec la souche de référence de <i>Staphylococcus aureus</i>	66
Figure 39	pH de savon	68
Figure40	Photos du teste pouvoir moussant de notre savon et d'un témoin	68
Figure 41	L'alcali libre de savon	70

Liste des tableaux

Les tableaux	Titre de tableau	page
Tableau 1	Règles de nomenclature des algues	4
Tableau 2	Différents pigments chez les macroalgues	9
Tableau 3	Composition chimique des substrats (g/100g MS)	10
Tableau 4	Etagement des algues dominantes sur une côte rocheuse	14
Tableau 5	Présentations des matériels et produit utilisés dans la rotavapeur	33
Tableau 6	Matériels et réactifs relatifs à l'indice d'acide	39
Tableau 7	Matériels et les réactifs relatifs à l'indice d'iode	41
Tableau 8	Matériels et réactifs relatifs à l'indice de saponification	42
Tableau 9	Matériels et réactifs relatifs à l'indice de peroxyde	44
Tableau 10	Les souches utilisées pour l'activité antibactérienne d'huile des trois d'algues.	45
Tableau 11	Matériels et réactifs relatifs à la fabrication des avons à base d'algues	47
Tableau 12	Rendements en huiles des espèces d'algues étudiées	52
Tableau 13	Les caractéristiques organoleptiques des huiles d'algues	53
Tableau 14	Résultats de l'indice de réfraction des huiles des trois algues analysées	54
Tableau 15	pH des huiles des trois algues	55
Tableau 16	Teneur en eau des huiles d'algues	55
Tableau 17	Valeur de l'indice d'acide et les virages de couleurs	56
Tableau 18	Valeur de l'indice d'iode et les virages de couleurs	57
Tableau 19	Valeur de l'indice de saponification	58
Tableau 20	Valeur de l'indice d'ester.	59
Tableau 21	Valeur de l'indice de peroxyde	60

Tableau 22	Compositions d'Ulva lactuca	61
Tableau 23	Compositions des <i>Gelidium sesquipedale</i>	63
Tableau 24	Compositions des <i>caulerpe racemosa</i>	64
Tableau 25	L'activité antimicrobienne des huiles d'algues	66
Tableau 26	Diamètre d'inhibition	67
Tableau 27	Teste de potentiel hydrogéné (pH) pour les deux savons	67
Tableau 28	Le pouvoir moussant	69
Tableau 29	Résultat du test d'alcali libre de notre savon et du témoin	69

Sommaires

⇒Remerciements / ⇒Liste des abréviations / ⇒Liste des figures / ⇒Liste des tableaux

Chapitre I : Généralité sur les algues	
Introduction	1
I. 1. Définition des algues	3
I. 2. Origine des algues	3
I. 3. Taxonomie	3
I. 4. Définition des macroalgues	4
I. 5. Classification des algues	5
I. 6. Morphologie des algues	7
I. 7. Pigment	7
I. 8. Reproduction des algues	9
I. 9. Mode de Nutrition	10
I. 10. Facteurs régissant la réparation des algues	10
I. 10. 1. Facteurs physiques	10
I. 10. 2. Facteurs chimiques	12
I. 10. 3. Facteurs dynamiques	13
I. 10. 3. 1. La durée d'émersion	13
I. 11. L'étagement de la végétation littorale	3
I. 12. Composition biochimiques des algues	15
I. 12. 1. Fibres	15
I. 12. 2. Éléments minéraux	15
I. 12. 3. Calcium	15
I. 12. 4. Magnésium	15
I. 12. 5. Lipides	16
I. 12. 6. Les protéines	16
I. 12. 7. Vitamines	16
I. 12. 8. Caroténoïdes	17
I. 12. 9. Polyphénols	17
I. 13. Utilisations des algues	17
I. 13. 1. Alimentation humaine	18
I. 13. 1. 1. Exemples de produits consommés des algues	19

I.13.2. Utilisation cosmétique	19
I.13. 3. Utilisation énergétique	20
I.13.4. Les usages des compléments alimentaires à base d'algues	20
I. 13. 5. Les algues dans les médicaments	21
I.13.6. Agriculture	21
I.13.7. Usages industriels	22
I.13.8. Alimentation animale	22
I.13. 9. Environnement	22
<i>Chapitre II : Données bibliographiques sur les espèces étudiées</i>	
II. 1. Présentation des espèces étudiées	23
III. 1. 2. Caulerpa racemosa	23
III.1. 2.1.Taxonomie	23
III.1. 2. 2. Description	23
III.1. 2. 3. Distribution de Caulerpa racemosa	24
III.1. 2. 4. Habitat	24
III. 2. 1. 5.Reproduction	24
III. 2. 2. Ulva lactuca	25
III. 2. 2.1. Taxonomie	25
III. 2. 2. 2. Description	25
III. 2. 2. 3. Distribution	26
III. 2. 2. 4. Habitat	26
III. 2. 2. 5. Reproduction	27
III. 2. 3. Gelidium sesquipedale	27
III. 2. 3. 1. Taxonomie	27
III. 2. 3. 2. Description	28
III. 2. 3. 3. Distribution	28
III. 2. 3.4. Reproduction	28
<i>Chapitre III : Matériels et Méthodes</i>	
III. 1. Matériels et méthodes	30
III. 2. Présentation de la zone d'étude	30
III. 3. Récolte des algues	31
III. 4. Séchage	32
III. 5. Broyage	32

III. 6. Méthodes d'extractions des huiles algales	32
III. 6. 1. Extraction au soxhlet	32
III. 7. Propriété biologique	35
III. 8. Caractères physiques	36
III. 8. 1. Indice de réfraction	36
III.8. 2. Teneur en eau	37
III. 8. 3. Le potentiel d'hydrogène (pH)	38
III. 9. Caractères chimiques	38
III. 9.1. L'indice d'acide	38
III. 9. 2. L'indice d'ester	39
III. 9. 3. Indice d'iode	40
III. 9.4. Indice de saponification	42
III. 9.5. Indice de peroxyde	43
III. 10. Etude de l'activité antibactérienne d'huile des trois algues	45
III. 10. 1. Les souches pathogènes	45
III. 10. 2. Standardisation de l'inoculum	46
III. 10. 3. Test de puits	46
III. 10. 4. Lecture des résultats	46
III. 11. Analyse d'huile d'algues par La chromatographie en phase gazeuse (CPG)	46
III. 12. Fabrication des avons à base d'algues	47
III.13. Analyses des savons	49
III.13. 1 Analyse physico-chimique	49
III.13. 1.1 pH	49
III.13. 1. 2. Détermination du pouvoir moussant (volume de mousse)	49
III.13. 1. 3. Détermination de la teneur en alcali libre	50
<i>Chapitre IV Résultats et discussions</i>	
IV. 1. Propriétés biologiques	52
IV. 1. 1. Rendement en huile	52
IV. 1. 2. Résultats des caractéristiques organoleptiques des huiles d'algues	53
IV. 2. Résultat des Caractères physiques	53
IV. 2. 1. Indice de réfraction	53
IV. 2. 2. Potentiel d'hydrogène	54
IV. 2. 3. La teneur en eau	55
IV. 4. Caractères chimiques	56

IV. 4. 1. Indice d'acidité	56
IV. 4. 2. Indice d'iode	57
IV. 4. 3. Indice de saponification	58
IV. 4. 4. Indice d'ester	59
IV. 4. 5. Indice de peroxyde	60
IV. 5. La chromatographie en phase gazeuse (CPG)	61
IV. 6. Evaluation de l'activité antimicrobienne des huiles d'algues par la méthode de l'antibiogramme.	66
IV. 7. Résultat de fabrication de savon	67
IV. 7. 1. Le potentiel hydrogène pH	67
IV. 7. 2. Pouvoir moussant	68
IV. 7. 3. Alcalinité libre de savon	69
Conclusion	71
Références	73

Introduction



Introduction

Les algues occupent une place importante dans le milieu marin avec plus de 1200 espèces appartenant à tous les niveaux évolutifs, capables de produire des substances dont l'action constitue dans certains cas, un élément de protection contre les prédateurs naturels. Les algues constituent un immense réservoir de molécules potentiellement actives (**Farid et al, 2009**).

Ce sont des plantes beaucoup moins connues que les espèces terrestres, et beaucoup plus difficiles à capturer. Ils occupent principalement les milieux aquatiques, marins et sous-marins et forment un ensemble d'organismes extrêmement complexe (**Person, 2011**).

Du fait de leur abondance dans le milieu aquatique et de leurs nombreuses utilisations dans divers domaines écologiques, biologique et économique, les algues jouent un rôle important dans le maintien de l'équilibre du globe (**Zidane et al, 2006**).

Sur le plan écologique, les algues marines représentent une importante source primaire d'oxygène et constituent le point de départ de la chaîne alimentaire aquatique. Elles participent à la dépollution des eaux et ce, en utilisant les nitrates et les phosphates terrigènes. Enfin, elles constituent des zones de frayères pour de nombreux poissons, crustacés et mollusques. Économiquement, les algues sont utilisées directement ou indirectement en synthétisant des phycocolloïdes dans l'industrie tels que : l'Agar-agar, l'alginate et les carraghénanes (**Zidane et al, 2006**).

La consommation d'algues semble devenir de plus en plus populaire dans les pays occidentaux, du fait de la tendance à la cuisine asiatique, mais aussi théoriquement bénéfique les algues sont également utilisées en médecine à l'état brut pour traiter de nombreuses maladies comme la carence en iode, le traitement de divers troubles intestinaux, les anti-cholestérol et les vermifuges hypoglycémisants, comme source de vitamines comme la glace, les onguents et la gynécologie (**Chouikhi, 2013**).

L'Algérie est un pays avec une face maritime s'étalant sur 1600 km et qui constitue une source riche en algues marines, qui reste cependant inexploitée, alors que les algues constituent un enjeu de développement économique. La méditerranée renferme plus de huit cents espèces et la flore algale du littoral algérien reste largement inexploitée (**Oucif, 2018**).

Ce travail se réfère à la caractérisation physico-chimique des extraits d'huiles d'algues vertes des Chlorophytes des espèces (*Ulva lactuca* et *Caulerpa racemosa*), et des Rhodophycées (*Gelidium sesquipedale*). Ces espèces ont été choisies au fait qu'elles présentent un intérêt spécial par leur composition chimique et aussi par leur rôle de biomarqueurs naturelles dans l'eau de mer.

Un autre motif, c'est leur abondance et qu'elles soient faciles à récolter (Sîrbu et al, 2006), comme c'est le cas dans les stations de notre zone d'études.

Ulva lactuca est une espèce qui ressemble habituellement à la laitue, mais des analyses génétiques ont démontré que d'autres algues vertes avec des phénotypes tubulaires étaient des clades d'*U. Lactuca*, bien qu'elles aient été précédemment décrites comme des espèces ou même des genres différents. La capacité d'*U.lactuca* à adopter des phénotypes différents peut être due à des paramètres environnementaux, tels que le degré de salinité de l'eau ou la symbiose avec des bactéries (Dominguez et Erwann, 2019).

Gelidium sesquipedale est une algue rouge appartenant à la classe des Rhodophycées; son thalle, de couleur rouge à rouge brun, présente un aspect robuste et une consistance cartilagineuse. Elle est formée d'un ensemble de frondes sous forme d'une touffe de tailles variables allant de 10 à 25 cm en moyenne. Elle se fixe au substrat rocheux par un ensemble de rhizoïdes (Zidane et al, 2006).

Caulerpa racemosa est principalement localisée dans la région centre du littoral algérien où elle recouvre des substrats très variés allant de la vase à la roche. Elle a été découverte à différentes profondeurs au cours de suivis phytosociologiques des peuplements de macrophytes dans différentes zones côtières de l'algérois. Sa présence sur les côtes ouest algériennes fait l'objet d'un suivi de tout ce littoral afin de mieux évaluer l'ampleur de sa prolifération, car cette variété invasive de *Caulerpa racemosa* s'est répandue en Algérie en très peu de temps (Bentaallah et Kerfouf, 2013).

Dans ce document, nous allons d'abord donner un aperçu sur les algues marines, dans lequel nous parlerons des propriétés générales de ces algues ainsi que de leurs principales exigences environnementales. Ensuite, nous résumons les composants les plus importants contenus dans les algues et leurs grands domaines d'utilisation. Nous présenterons ensuite la méthodologie adoptée.

Ce travail comprendra alors, l'échantillonnage sur le terrain et l'identification des espèces en laboratoire, puis on extrait les huiles présentes dans leurs cellules, en vue de valoriser, par des caractères organoleptiques de ces huiles et des caractères physiques, chimiques et bactériologiques, ainsi que des analyses chromatographiques, qui nous orientent sur d'éventuelles applications comme les savons tout en procédant à des tests de contrôle de la qualité du produit. Dans le dernier chapitre nous allons révéler les résultats obtenus dans cette étude, suivie d'une conclusion générale.

∞ Chapitre I ∞

Généralités sur les algues

I. 1. Définition des algues

Les Algues, ou *Phycophytes* (du gr. *phukos* = algue ; *phuton* = plantes), sont des Thallophytes chlorophylliens, c'est à- dire des organismes capables de faire la photosynthèse, (**Roland et al, 2008**). L'appareil végétatif est appelé thalle et que l'on oppose aux végétaux supérieurs organisés en tiges, feuilles et racines (**Payri, 2021**).

Ce sont des eucaryotes autotrophes, unicellulaires ou pluricellulaires avec, dans ce cas un appareil végétatif très diversifié (sous forme de thalle), et qui sont parfaitement adaptées au milieu aquatiques (**Reynaud, 2011**). Du point de vue écologique, elles constituent le premier maillon des chaînes alimentaires : ce sont les producteurs quasi exclusifs des mers et des océans (**Roland et al, 2008**).

Les algues forment un groupe taxinomique constitué de plusieurs organismes aquatiques simples et d'organismes vivant dans des milieux humides tels que les surfaces rocheuses humides, les troncs d'arbres, les monticules de mousse ou la terre humide. Les algues constituent des structures reproductrices non protégées (**Michael, 2006**).

I. 2. Origine des algues

Pour **Amandine(2017)**, les premières algues apparues sont les cyanobactéries, organismes procaryotes qui fonctionnaient dans une atmosphère pauvre en O₂. La photosynthèse effectuée par ces algues a permis d'augmenter les taux d'O₂ dans l'air ainsi qu'une diminution de la teneur en CO₂. C'est seulement par la suite que sont apparues les cellules eucaryotes. On considère que les conditions propices à l'apparition de la vie végétale et animale, C'est-à-dire une atmosphère dont le CO₂ est fixé avec rejet de O₂, sont dues en grande partie à l'action des microalgues.

I. 3. Taxonomie

Les algues sont divisées, d'après la nature de leur pigments, en embranchement ou phylum (terminaison : Phytes en français ou Phyta en latin), par exemple les chlorophyta ou les charophyta. Les données de systématiques divisent ensuite ces embranchement, selon la code international de nomenclature botanique (**Tableau 1**), comme cité ci-dessous :

- Suivant les critères cytologiques (structure du noyau), mode de reproduction, complexité structurale, présence et structure des flagelles, ces embranchements sont divisés en classes (terminaison : Phycée ou Phyceae), (exemple les Rhodophyceae).
- Ces classes sont à leur tour composées d'ordres (terminaison : Ales) dans la différenciation est basée sur les types structuraux, comme par exemple les Charales.
- Viennent ensuite, les familles (terminaison : Acées ou Aceae) qui regroupent les genres subdivisés eux mêmes en espèces, exemple les cladophoraceae (**Treuture et al, 2014**).

Tableau 1 : Règles de nomenclature des algues (**Darribère et al, 2002**).

Rang du taxon	Algues	Champignons	Embryophytes
Division (embranchement ou phylum)	-phyta	-mycota	-phyta
Classe	-phyceae	-mycetes	-opsida
Sous-classe	-phycidae	-mycetidae	-idae
Famille	-aceae	-aceae	Aceae
Sous-famille	-oideae	-oideae	-oideae
Tribu	-eae	-eae	-eae
Sous-tribu	-inae	-inae	-inae

I. 4. Définition des macroalgues

Les algues macroscopiques se distinguent par rapport aux autres par leur thalle, appareil végétatif pluricellulaire, dépourvu de racines, tiges, de feuilles ou de fleurs. En effet, l'algue des crampons lui permettent se fixer au substrat. Elle n'a pas besoin de racines pour s'alimenter car absorbe les nutriments par toute sa surface en contact eau (**figure 1**). Les macroalgues ne possèdent pas non plus de vaisseaux conducteurs sauf quelques ébauches rudimentaires chez certaines algues brunes comme les laminaires et les fucus. Les crampons sont surmontés d'un pédoncule appelé le stipe, qui se termine par une arborescence ou plusieurs ramification appelé frondes (**Oucif, 2018**).

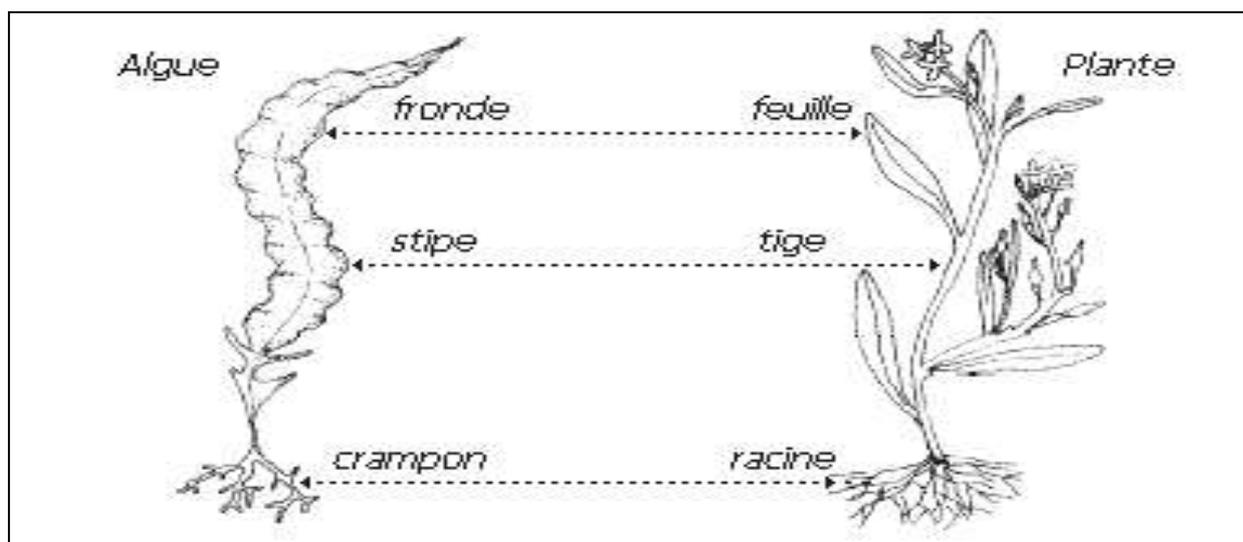


Figure1: La morphologie comparée entre une algue et une plante (Leclerc et Floc'h, 2012).

I. 5. Classification des algues

Les algues, organismes incapables de sortir de l'eau, sont en 3 groupes d'eucaryotes selon le pigment dont ils sont dotés. Autrefois, les cyanobactéries nommées algues bleues rentraient dans le groupe des algues, mais en sont aujourd'hui retirées car elles font partie des procaryotes (cellules noyau). Leur appareil reproducteur est caché, ce sont donc des cryptogames (organes sexuels cachés) mais aussi des thallophytes (Barralon, 2016).

- **Algues brunes ou Phaeophycées**

Les Phaeophyceae sont des algues pluricellulaires et macroscopiques à l'état adulte, se définissant par un ensemble de caractères communs, à la fois cytologiques (structure des plastes) et biochimiques présence, (Boudouresque et al, 2006) des chlorophylles **a** et **c**, du carotène **β** et un pigment Surnuméraire, la fucoxanthine (= pheoxanthine), dont la couleur est jaune ou marron clair. La couleur de la plante varie donc du vert-marron au brun rouille, se rapprochant de celle de beaucoup d'algues rouges. Les pigments non chlorophylliens captent l'énergie lumineuse et la transmettent à la chlorophylle a, qui seule permet la photosynthèse (Lauret et al, 2011).

Les Phaeophyceae offrent un large éventail de types d'organisation, depuis de simples formes filamenteuse jusqu'à des formes complexes, grandes et pourvues de systèmes conducteurs comparables à ceux des végétaux supérieurs. Les algues brunes sont, à quelques rares exceptions près, des organismes purement marins et sont très largement distribuées à la surface du globe. La reproduction se fait par voie sexuée et asexuée, à l'aide de cellule spécialisée, Sporo-ou gamétocystes

(Boudouresque et al, 2006). Elles sont peu abondantes sur les platiers et les pentes. Elles forment des communautés particulières sur les pentes externes entre 60 et 70 m de profondeur (Payri, 2021).

- **Algues rouges ou Rhodophycées**

Les algues rouge regroupent des formes très diverses. A l'exception de quelque rares exemples d'unicellulaire, la plupart sont pluricellulaires. La complexité morphologique n'atteint cependant jamais des algues rouges. Malgré leurs formes extrêmement attractives, les algues rouges demeurent discrètes, leur recherche et leur identification, parfois délicates, n'en étant que plus captivantes. Malgré cette très grande diversité apparente des types d'organisation, elles se définissent par un ensemble de caractères cytologiques (Structure des plastes) (Boudouresque et al, 2006).

La présence des Chlorophylles **a** et **d** (couleur verte) Phycoéritrine (couleur rouge), Phycocyanine (couleur bleue), (Payri, 2021) deux derniers pigments étant abondants, la couleur de l'algue est un mélange de vert, d'orange, de bleu et de rouge. La couleur est due à la proportion variable entre les chlorophylles vertes, toujours présentes, et les autres pigments. Pour un même individu, la couleur peut varier au cours du temps ou selon l'exposition des filaments au soleil. Un thalle peut présenter plusieurs couleurs. Par exemple, on trouve souvent des thalles rouges dans leur partie à l'abri du soleil et jaunes dans leur partie exposée. Ceci est lié à la distribution des pigments colorés qui sont plus abondants en faible lumière (Lauret et al, 2011).

Elles vivent dans tous les types d'habitats y compris les zones profondes et très peu éclairées. Les espèces calcaires participent à la construction des récifs (Payri, 2021).

- **Algues vertes ou Chlorophytes**

Les chlorophyta, ainsi que leur nom l'indique, sont en principe des algues de couleur verte, celle-ci étant due à la nature de l'équipement pigmentaire contenu dans leurs chloroplastes. Cette couleur verte est quelque fois masquée par la présence d'inclusions cellulaires supplémentaires chargées de carotène. C'est ainsi que quelque uns présentent une couleur rouge. Sous l'effet d'une forte isolation, d'autres peuvent devenir jaunâtres (Boudouresque et al, 2006).

Les algues vertes se définissant par certains caractères fondamentaux liés à la structure de plastes et à leurs particularités biochimiques (Boudouresque et al, 2006).

Chlorophylles **a** et **b** (couleur verte), caroténoïdes (couleur jaune-orangée) (Payri, 2021), et diverses xanthophylles de couleur rouge. Les chlorophylles étant largement dominantes, la couleur de l'algue est verte, quelle que soit la part relative des autres pigments dans la plante (Lauret, et al, 2011). Elles colonisent tous les types d'habitats, fonds sableux ou coralliens, dans les petits fonds jusqu'à des profondeurs dépassant les 100 mètres (Payri, 2021).

La reproduction peut se manifester à l'observateur de deux manières. Dans cas les plus simples et les plus aisément observables, un ensemble de cellule végétatives transforment intégralement leur contenu en cellules fertiles (spores ou gamètes) (Boudouresque et al, 2006).

I. 6. Morphologie des algues

Les algues sont des formes très variées. En effet, elles peuvent être unicellulaires ou pluricellulaires, fixes ou mobiles, microscopiques ou de grandes tailles (jusqu'à 65 m de long pour une algue brune nommé Varech). En général, ces organismes sont faits d'un thalle, et d'un pied permettant la fixation au support. Ce pied peut être sous forme de rhizoïde, de crampon, de disque etc. et la forme du thalle est très diverse en fonction des espèces. L'appareil végétatif peut être fait de lames simples ou de tubes, il peut ressembler à des tiges et feuilles, ou à des boules, être cartilagineux ou spongieux, voire très rigide ou entièrement calcifié (Barralon, 2016).

I. 7. Pigment des algues

Les pigments sont situés dans les chloroplastes (Tableau 2). La structure fondamentale de l'appareil photosynthétique comprend un ensemble de vésicules aplaties et membraneuses appelées les thylakoïdes et situées dans une matrice appelée stroma.

Tableau 2: Différents pigments chez les macroalgues (<https://www.google.dz>).

Type de chlorophylle	Algues vertes	Algues rouges	Algues brunes
Chlorophylle a	+	+	+
Chlorophylle b	+	0	0
Chlorophylle c	0	0	+
Chlorophylle d	0	+	0
Caroténoïde	+	+	+++
Phycocyanine	0	+++	0
phycoérythrine	0	+++	0

Ce sont les thylakoïdes qui contiennent la chlorophylle et qui sont le site des réactions photo-chimiques. Selon l'espèce d'algue, ils sont indépendants des autres ou empilés. Le chloroplaste contient parfois un pyrénoïde avec ses produits de réserve (Michael, 2006).

Les différents pigments (a, b, c, d) vont interférer avec la capture de la lumière qu'ils vont ensuite éventuellement transférer à la chlorophylle. Ils peuvent aussi assurer un rôle de protection antioxydant en cas d'ensoleillement trop important. La présence d'autres pigments que la chlorophylle permet l'absorption des photons sur d'autres longueurs d'onde que la chlorophylle. Il existe quatre types de chlorophylle (a, b, c, d) (Figure2) différemment répartis selon les familles d'algues. Seule la chlorophylle a est présente dans toutes les algues car c'est elle qui assure la photosynthèse (Amandine, 2017).

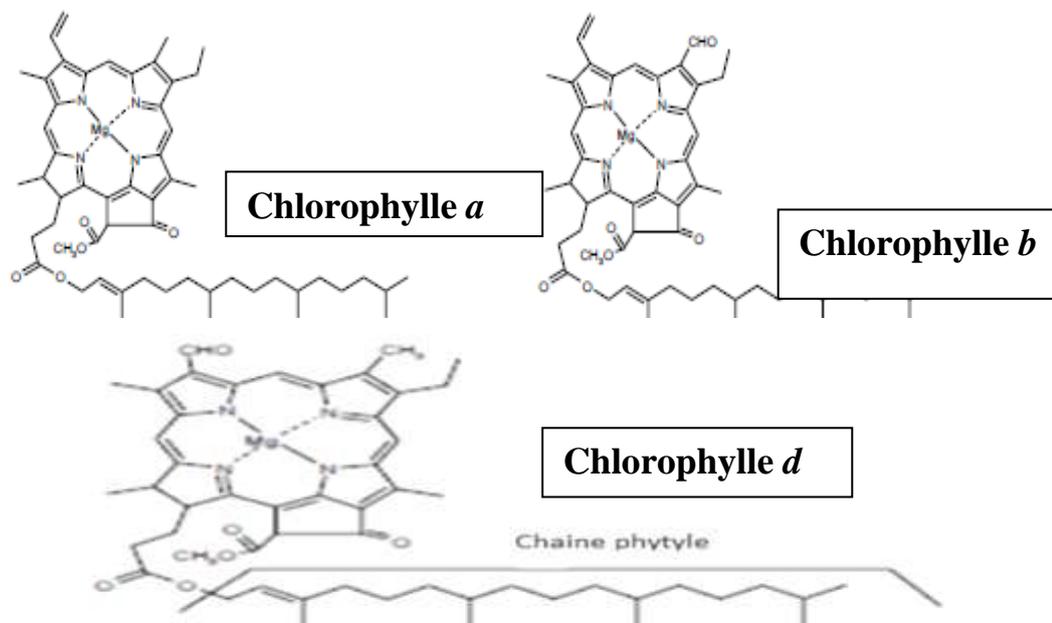
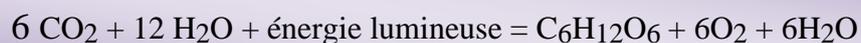


Figure 2: Structure chimique des différentes chlorophylles (a, b et d) (Alem, 2015).

Selon (Amandine, 2017) la photosynthèse permet d'une part aux végétaux de fabriquer les molécules organiques de base pour sa survie et celle des organismes hétérotrophes qui ne peuvent assimiler le dioxyde de carbone, et d'autre part, elle permet la production de dioxygène selon la réaction suivante :



I. 8. Reproduction des Algues

Dans l'ensemble des végétaux que l'on réunit sous le nom d'Algues, il existe des groupes importants (Procaryotes et Algues unicellulaires) où la reproduction sexuée est complètement absente (Cyanophycées) ou très rare et même tout à fait exceptionnelle (**Feldmann et L'Hardy-Halos, 2014**).

La majorité des espèces des macroalgues réalisent la reproduction sexuée et asexuée tout au long de l'année. La reproduction sexuée : maintient la diversité génétique de l'espèce (**Nozer'h et Paul Alayse, 1997**). Comprend deux phénomènes fondamentaux : la fécondation et la **méiose** (**Figure 3**). Une partie du cycle se fait donc sous forme **diploïde** ($2n$ chromosomes) et une autre partie sous forme **haploïde** (n chromosomes). Comme les autres êtres vivants, les macroalgues se reproduisent de façon sexuée, mais uniquement quand les individus sont fixes sur un substrat solide. Elles réalisent alors la formation des gamètes. Ensuite, les gamètes mâles et femelles fusionnent pour donner naissance à un **zygote**. Le zygote peut réaliser directement la méiose ou engendrer un thalle qui la réalisera. Les modalités de réalisation de la méiose et de formation des gamètes varient beaucoup selon les groupes d'espèces. Les macroalgues se reproduisent également de façon asexuée (reproduction végétative) et effectuent des **mitoses** à partir de thalles diploïdes ($2n$) ou haploïdes (n). La reproduction asexuée peut également se faire par fragmentation des thalles (**Lauret et al, 2011**).

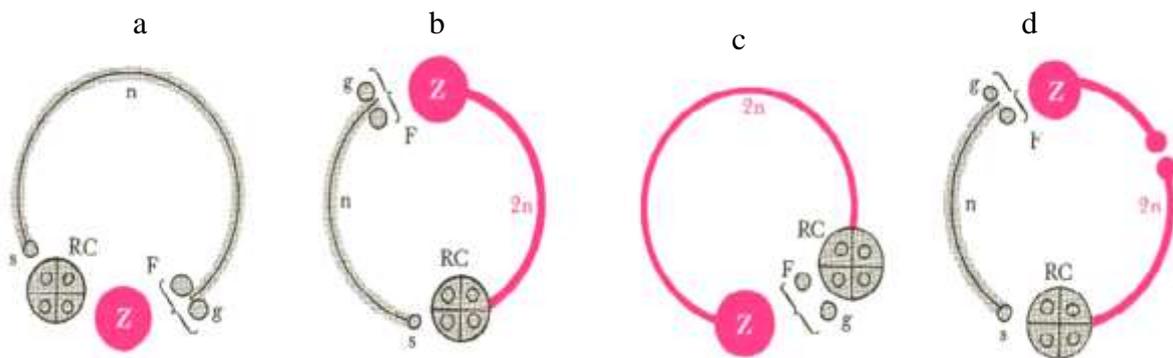


Figure 3 : Cycles de développement (**Roland et al, 2008, modifié**).

a : cycle haplophasique/ **b** : cycle haplo-diplophasique/ **c** : cycle diplophasique

d : cycle trois générations successives

F : fécondation / **g** : gamètes / **RC** : Réduction chromatique / **S** : spore / **Z** : zygote

I. 9. Mode de Nutrition

Algues se nourrissent toutes de la même manière, au moyen de la photosynthèse. Elles sont donc autotrophes car elles synthétisent leur propre matière organique grâce à la lumière du soleil, à l'eau et au CO₂. Les feuilles captent les rayons du soleil et la réaction du CO₂, cumulée à l'H₂O, permet de synthétiser des glucides, nécessaires à l'alimentation des végétaux. Ce processus crée un dégagement d'oxygène, permettant la respiration sur terre, mais permet aussi la création de la matière organique, base de la chaîne alimentaire (Barralon, 2016).

I. 10. Facteurs régissant la réparation des algues

I. 10. 1. Facteurs physiques

- **Nature des substrats**

La nature physique du substrat, sa plus ou moins grande dureté, l'état lisse ou anfractueux de sa surface et surtout le degré de division de ses éléments, depuis la roche compact jusqu'à la vase la plus fine, en passant par les galets, les graviers et les sables plus ou moins grossiers, jouent un rôle important. Chaque algue témoignant d'une préférence plus ou moins exclusivement pour tel ou tel type de substrat.

Les côtes rocheuses sont beaucoup plus riches en algues que les côtes basses (sableuses ou vaseuses), à la fois parce que les algues trouvent un support solide pour leur fixation et parce que la turbidité de l'eau est plus faible (Ozenda, 2006).

L'algue se démarque par un contenu plus important en minéraux et en matières azotées totales et un contenu plus faible en fibres totales (Tableau 3).

Tableau 3 : Composition chimique des substrats (g/100g MS) (Zitouni et al, 2013).

Composition	Algue verte
Matière minérale	39.1
Matières azotées totales	15.3
Matière grasse	1.01
Neutral détergent fiber	22.8

• L'éclairement

La croissance des algues dépend de la quantité et de la lumière disponible pour la photosynthèse. La lumière est soumise en termes d'intensité et de spectre à des changements momentanés, diurnes et saisonniers (Mensi *et al*, 2014).

Les algues ont besoin d'un rayonnement lumineux pour procéder à la photosynthèse. Ainsi selon la clarté de l'eau dans laquelle elles vivent, il est possible de constater la présence d'algues jusqu'à 200 mètres de profondeur. Les algues s'adaptent à la luminosité perçue par la présence en plus ou moins grande quantité de certains pigments (Figure 4). La lumière est composée de différentes radiations qui sont absorbées par les couches d'eau en fonction de leur longueur d'onde (Amandine, 2017).

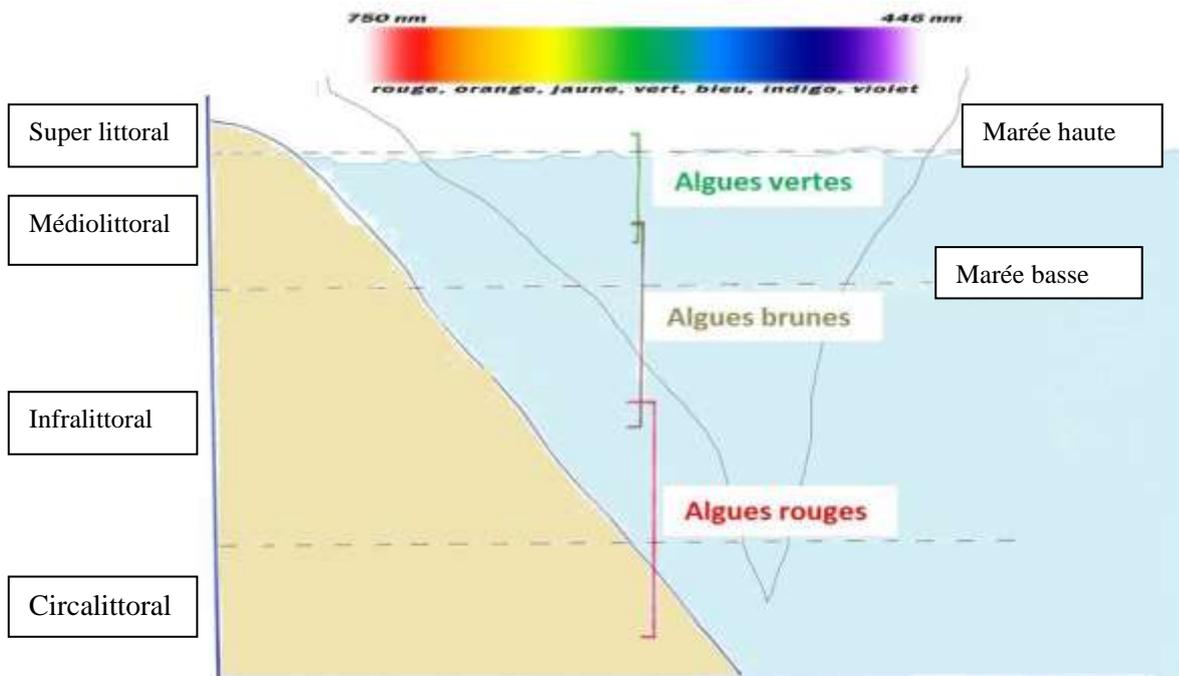


Figure 4 : Répartition des algues selon la profondeur marine (Leclerc et Floc'h, 2010, modifié).

• Température

La température exerce une action sur les algues, s'ajoutant à celle de la lumière. Elle influence sur tout les processus métaboliques et reproducteurs. C'est ainsi que les écarts annuels de température et la photopériode sont les facteurs primordiaux du développement de certaines espèces et de leur présence en un lieu. Les variations latitudinales de la température des eaux superficielles marines, sont le cause essentiel de la distribution géographique des espèces (Boudouresque *et al*,

2006). La température présente des variations journalières dans les zones émergées ou peu profondes. Des variations à plus long terme sont liées à la saison. Les variations thermiques saisonnières peuvent agir en combinaison avec le facteur lumière. C'est en particulier, le cas avec la photopériode dans le cycle de développement de diverses algues (Darribère et al, 2002).

I. 10. 2. Facteurs chimiques

- **pH**

Le pH de l'eau de mer est toujours alcalin : est généralement compris entre 8,1 et 8,3 en raison essentiellement des carbonates $\text{CO}_2\text{-HCO}_3^{2-}$. L'oxygène existe toujours en quantité voisine de la saturation dans les eaux superficielles (Ozenda, 2006). La modification des concentrations des carbonates en CO_2 (respiration, photosynthèse, échanges air-océan) ou en CO_3^{2-} (précipitation) entraînera donc une modification du pH.

En milieu côtier et estuarien, certains rejets industriels ou les apports d'eaux continentales sont la cause de variation du pH qui s'avère dans ce cas un indice de pollution (Zellal, 2012).

- **Les sels nutritifs**

Les sels nutritifs sont essentiellement les nitrates et les phosphates, dont la teneur varie considérablement selon les régions et les saisons. Les oligoéléments indispensables aux algues sont tous présents dans l'eau de mer et semblent être toujours en quantité suffisante pour permettre leur développement. Un certain nombre d'algues fixent des substances minérales, soit des carbonates de calcium sous forme de calcite (Ozenda, 2006).

Les algues ont besoin d'azote pour se développer. Seules les algues bleues le récupèrent sous forme N_2 atmosphérique. Les algues eucaryotes consomment cet azote sous forme d'ammonium (NH_4), de nitrate (NO_3^-), de nitrite (NO_2^-) (Amandine, 2017).

Les algues ont également besoin de phosphore pour la synthèse d'ATP et de soufre. Le phosphore naturel, qui provient de la dégradation des roches, est peu abondant. Cependant, il peut se trouver en grande quantité par l'activité humaine (déjections, lessives, fertilisants agricoles). Cet apport massif en nutriments associé à l'ensoleillement peut provoquer ce qu'on appelle des marées vertes. Ces dernières causent alors des nuisances visuelles et olfactives en plus de perturber l'équilibre écologique. Le phosphate étant généralement le facteur qui limite la prolifération des algues d'eaux douces (Amandine, 2017).

- **La salinité**

La salinité du milieu influence la pression osmotique de la cellule. Si la salinité est très élevée, la cellule va perdre son eau. Inversement, Si la salinité est trop basse, la cellule peut éclater. Les algues adaptées au milieu marin ne peuvent donc généralement pas vivre en eau douce et réciproquement (Darribère et al, 2002).

I. 10. 3. Facteurs dynamiques

- **La durée d'émersion**

Dans la zone de balancement des marées, plus l'algue est située en hauteur, plus elle reste longtemps émergée. Certaines algues des hautes niveaux vont émergées près de douze heures au cours d'un cycle de marée, tandis que d'autres émergeront à peine. Il y a donc un gradient vertical de contraintes auxquelles les organismes sont soumis et une algue ne supportant pas un ou plusieurs de stress induit par une émergence périodique, verra sa distribution altitudinale limitée vers le haut. Ces conditions sélectives entraînent des peuplements contrastés, aisément observables et caractéristiques des divers niveaux (Darribère et al, 2002).

- **Agitation de l'eau**

Ce facteur dont l'intensité est variable selon l'état de la mer est difficile à apprécier directement. Il suffit, pour se rendre compte de son importance pour la répartition des algues et leur étagement, de comparer la végétation d'une côte battue, à l'extrémité d'un cap, à celle d'une anse plus abritée (Ozenda, 2006). L'agitation de l'eau a pour résultat l'homogénéisation des couches d'eau superficielle, contribuant à limiter les variations de température et favorisant le renouvellement de l'eau en contact avec les algues (Ozenda, 2006).

I. 11. L'étagement de la végétation littorale

Parmi les différents facteurs écologiques qui viennent d'être étudiés, une partie (lumière, émergence périodique) sont variables avec la profondeur et entraînent un étagement de la végétation algale (et aussi des autres végétaux : lichens et phanérogames halophiles, et naturellement des animaux) selon (Ozenda, 2006), le littoral est découpé en étages, de la zone la plus émergée vers la zone la plus immergée on y trouve (Tableau 4) :

- **L'étage supralittoral** : cet espace n'est pas souvent sous l'eau, il n'est recouvert que lors des grandes marées. C'est lui qui est le plus soumis aux rayons lumineux.

- **L'étage médialittoral** : constitue la majeure partie de l'estran. On le divise en trois parties :
 - ❖ La PMME (Pleine Mer des Mortes Eaux) : les algues ont du s'adapter à la dessiccation due aux longues périodes passées hors de l'eau.
 - ❖ La mi- marée. La zone située entre la PMME et la mi-marée reste découverte pendant plus de la moitié d'un cycle de marée (3 heures). Les algues qui se développent doivent résister à des temps d'émersion qui seront plus long que la BMME.
 - ❖ La BMME (Basse Mer des Mortes Eaux). La zone située entre la mi- marée et la BMME est immergée plus de la moitié d'un cycle de marée.

- **L'étage infralittoral** : est rarement découvert, seulement lors des basses mers des grandes marées (Alem, 2015).

Tableau 4 : Etagement des algues dominantes sur une côte rocheuse (Zellal ,2012).

limite extrême des embruns	Lichens et plantes halophiles	Etage supralittoral
Marée haute de vive-eau		
Marée haute de petite vive-eau	Lichens et <i>Littorina</i> (mollusque gastéropode)	Frange supralittoral
Niveau moyen des eaux	Balanes, patelles, petites algues brunes et vertes, moules bleues et quelques algues rouges	Zone médiolittoral Etage intertidal
Marée basse de petite vive-eau	Algues brunes de grande taille, à algues rouges et algues calcaires.	Frange infralittoral
Limite inférieur de croissance des algues		Etage circalittoral
Rebord du plateau continental		Etage bathyal

I. 12. Composition biochimique des algues

La composition biochimique des macro-algues est très variable selon les espèces, la saison, les conditions de croissance, de stress. On note cependant que la plupart des composés bioactifs décrits à ce jour sont issus des algues brunes et des algues rouges, tandis que les algues vertes constituent un champ d'investigation comparativement peu exploré. Les macroalgues peuvent s'expliquer en grande partie par la présence conjointe de trois grandes catégories de composants (fibres, minéraux, protéines, etc.) (Person, 2011).

I. 12. 1. Fibres

Les algues constituent des sources importantes des fibres (de 33 à 61%) qui facilitent le transit intestinal. Leurs structures sont variées et originales, différentes des fibres des végétaux terrestres. La fraction de fibres solubles, constituée selon l'espèce d'agar-agar, de carraghénanes, de xylane, d'alginate, de fucane, de laminarine et d'ulvane, particulièrement liée à la nature offre un intérêt particulier lié à la nature chimique originale des monomères constitutifs (Chouikhi, 2013).

I. 12. 2. Éléments minéraux

Les algues puisent dans la mer une richesse indéniable d'éléments minéraux. La fraction minérale peut représenter jusqu'à 36% de la biomasse sèche. La diversité des éléments représentés est énorme: calcium, sodium, magnésium, potassium, phosphore, iode, fer, zinc, etc. (Chouikhi, 2013).

I. 12. 3. Calcium

Les algues constituent une des sources végétales de calcium les plus importantes avec des teneurs pouvant atteindre 6% de la masse sèche chez les macroalgues (*Ulva* sp). En outre plus intéressant, l'algue calcaire lithothamniée contient de 25 à 34% de calcium de l'algue *Lithothamnium calcareum* se solubilise très bien dans les conditions gastriques (pH=1.5) et produit quantitativement du calcium ionisé biodisponible (Chouikhi, 2013).

I. 12. 4. Magnésium

Les différentes macroalgues sont également bien pourvues en magnésium, en particulier les algues vertes comme *L'Ulva Sp.* (teneur moyenne de 4,7 g/100g MS) ou l'*Enteromorpha sp* (teneur moyenne de 3.7g/100g MS). 50% d'algues contiennent des compléments alimentaires, l'exemple de l'algue brune *Fucus vesiculosus* formulée pour combattre la cellulite et l'excès de poids. Ces actions

sont dues en partie à la richesse en iode de l'algue mais également à la présence de polysaccharides, de polyphénols et d'oligoéléments (Chouikhi, 2013).

I. 12. 5. Lipides

Les lipides dans l'algue peut être divisés en : stérols, tri-, di- ou mono-acylglycérols et phospholipides. La teneur lipidique peuvent très faible : de 1 à 5 % de la matière sèche. Cependant, du point de vue qualitatif, les lipides algaux présentent une proportion en acide gras essentielles important qui sont les acides ω -3 polyinsaturés (acide α -linoléiques et acide eicosapentaénoïque) à activité antioxydante. Cet acide gras protègent des maladies cardiovasculaires et cérébro-vasculaires et sont actif contre les œdèmes, les inflammations et les érythèmes (Chouikhi et al, 2013 ; Marfaing, 2004 ; Khotimchenko, 2003).

I. 12. 6. Les protéines

La teneur en protéines des algues marines est variable. Certaines espèces d'algues rouges possèdent une fraction protéique (Fleurence et al, 1999), enregistrée chez les algues vertes et rouges (10-47 % de matière sèches), alors qu'elle est généralement petite chez les algues brunes (5-24 % MS) (Matanjum et al, 2009). Les contenus protéiques élevés sont observés durant les périodes de fin d'hiver et de printemps et les faibles quantités sont observées durant les mois d'été (Fleurence, 1999).

I. 12. 7. Vitamines

La composition vitaminique des macro-algues est intéressante, malgré de grandes variations saisonnières et des disparités liées au procédé de traitement des algues. L'ensemble des vitamines est bien représenté avec des teneurs en provitamine A intéressantes dans les algues rouges, en vitamine C dans les algues brunes et vertes et vitamine E dans les algues brunes. (Chouikhi, 2013, Person, 2011). L'intérêt principal réside dans la vitamine B₁₂ dont les teneurs sont assez importantes dans les algues contrairement qui en sont totalement dépourvues. Dans les algues où la forme active de la vitamine B₁₂ est présente (et nom l'analogue structural), celle -ci est bien assimilée (Watanabe et al, 1999).

I. 12. 8. Caroténoïdes

Les caroténoïdes algaux sont également de puissants antioxydants, ils représentent en moyenne 0,1% du poids sec de l'algue mais certaines espèces, dans certaines conditions environnementales

en produisent beaucoup plus. Les algues brunes sont particulièrement riches en caroténoïdes et notamment en fucoxanthine, β -carotène et violaxanthine. Les principaux caroténoïdes des algues rouges sont le β -carotène, l' α -carotène et leurs dérivés dihydroxylés : zéaxanthine et lutéine. La composition en caroténoïdes des algues vertes reste voisine des végétaux supérieurs (Person, 2011).

I. 12. 9. Polyphénols

La plupart des algues marines contiennent des polyphénols algaux aussi appelés phlorotanins. Les phlorotanins constituent un groupe très hétérogène de molécules (Structure et degré de polymérisation) fournissant ainsi une grande variété d'activités biologiques potentielles. Les teneurs les plus élevées sont retrouvées dans les algues brunes qui en contiennent entre 5 et 15 % du poids sec (Marfaing et Lerat, 2007).

I. 13. Utilisations des algues

Les algues sont utilisées pour de nombreuses applications en fonction des espèces considérées. Les principaux marchés des algues sont l'industrie agro-alimentaire (hors alimentation directe), la chimie et la microbiologie qui utilisent 75 % des algues (production nationale et importations) (Figure 5). Les autres algues sont destinées à des usages agricoles, ou encore dans le domaine de la santé et du bien-être. Seulement 1 % de la production est destinée à la consommation humaine directe, hors phycocolloïdes et compléments alimentaires (Le Bras et al, 2014).

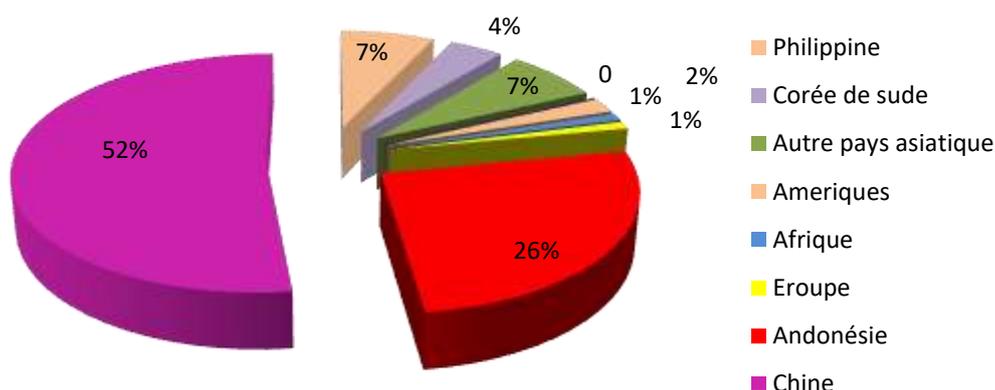


Figure 5 : Répartition géographique de la production mondiale d'algues en 2012 (Alem, 2015 modifiée).

I. 13. 1. Alimentation humaine

Les macro-algues représentent une importante source de nourriture. Depuis de temps reculés, les hommes ont su tirer profit des algues, tant pour leur besoins alimentaires (**Garon et Guéguen, 2014**).

Les macro-algues se retrouvent sur différents secteurs en alimentation humaine. Elles sont avant tout consommées entières en tant que légumes, principalement dans les pays asiatiques. Ce secteur représente 75% de la production mondiale (**Figure 6**) (**Person, 2011**).

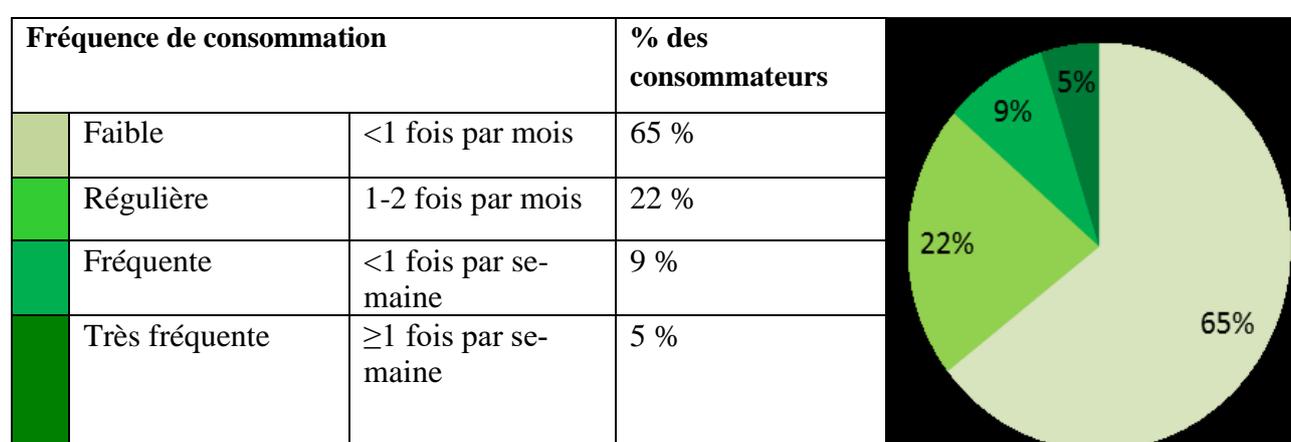


Figure 6 : Classification des consommateurs selon la fréquence d’algues (**Le Bras et al, 2014**)

Les **agars**, les **carraghénanes** et les **alginates** sont les principaux polysaccharides extraits à partir de thalle d’algues marines (Les espèces les plus recherchées dans ce domaine appartiennent aux algues brunes et aux algues rouges pour en extraire les alginates à partir de la première catégorie, les carraghénanes et les agars, de la seconde (**Bensid et al, 2013**) à la moitié de la production d’algues dans le monde est destinée à l’extraction de ces colloïdes qui est estimée à une million de tonnes par an. Cette extrait dans des produits alimentaire aussi variés que les produits laitiers, pâtisseries, les glaces, biscuits, confitures, poissons panés, charcuteries (**Garon et Guéguen, 2014**).

L’**agar-agar** ou **agarose** est extrait des thalles par l’eau bouillante, l’extrait est ensuite filtré à chaud, puis concentré et desséché (**Garon et Guéguen, 2014**).

Les algues appartenant au genre *Gelidium* constituent la principale matière première pour la préparation de l’agar, soit 44% de la production mondiale après les espèces de *gracilaires* qui contribuent pour 53% à la production (**Elmtili et al, 2014**).

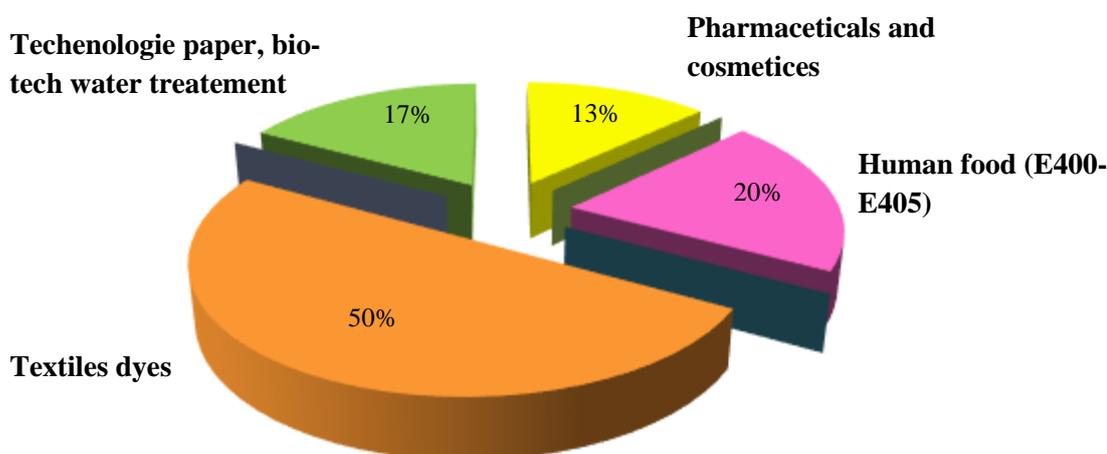


Figure 7 : Marchés d'application des alginates (Person, 2011modifiée).

I. 13. 1. 1. Exemples de produits consommés des algues

- **Les salades à base d'algues (composées ou non)**

Utilisées en morceaux, les algues font partie des ingrédients majoritaires. Elles apportent de la texture et du goût. Elles sont associées à divers assaisonnements mais souvent aux notes asiatiques. Ce genre de produit est souvent disponible en restaurant japonais et en magasin asiatique (Le Bras et al, 2014).

- **Les pains, pâtisseries et les pâtes aux algues**

Utilisées en petits morceaux ou paillettes dans de faibles proportions, les algues apportent principalement du goût. Parfois disponible en boulangerie et pâtisserie en Bretagne, et en magasins biologiques. Utilisent toute espèce d'algue, en mélange ou non(Le Bras et al, 2014).

I. 13. 2. Utilisation cosmétique

L'extrait des algues est souvent trouvé sur la liste des ingrédients des emballages cosmétiques, en particulier dans les crème et lotions du visage ou des mains. Les macroalgues blanchies, emballées dans des sachets additionnés d'huiles essentielles, sont par fois vendus comme additif pour les bains. En thalassothérapie, les pâtes de macroalgues, préparées par broyage-froid ou sous forme de gel. Sont également utilisés dans les crèmes de massage, promettant de restaurer rapidement l'élasticité et la souplesse à la peau (Chouikhi, 2013).

I. 13. 3. Utilisation énergétique

- **Biodiesel et Hydrocarbures**

Les huiles végétales et graisses animales sont des ressources renouvelables dont la structure chimique des chaînes lipidiques est similaire à celle des hydrocarbures des “coupes gazoles ” issues du pétrole (Person, 2011).

La production de biodiesel à partir d'huiles d'algues a reçu un regain d'attention au cours de la dernière décennie, principalement grâce à la productivité avancée pour certaines espèces oléagineuses, dont la biomasse peut être composée, dans certaines conditions de carence, de plus de 50% de lipides alors que pour les plantes telles que le colza, les lipides ne représentent que 6% de l'ensemble du végétal) (Person, 2011).

- **Batterie aux algues**

Des chercheurs de l'Université d'Uppsala ont découvert une Algue Verte, *Aegagrophila linnaei* qui produirait une substance facilement isolable et à moindre coût susceptible d'alimenter les batteries. Ce produit non toxique, donnerait des batteries aussi flexibles et minces que celles au lithium qui est utilisée actuellement. Ces chercheurs ont réussi à produire une batterie d'une extrême légèreté qui bouleverse toutes les normes connues aussi bien en matière de capacité de stockage que de temps de charge (Alem, 2015).

I. 13. 4. Les usages des compléments alimentaires à base d'algues

Les algues peut être liée à une meilleure santé (réduction des risques de cancer du colon, sein, prostate) La diversité de molécules composant les macro-algues leur confère de multiples qualités nutritionnelles permettant une valorisation de celles-ci en compléments alimentaires, sur les secteurs de la minceur et de la santé (Person, 2011).

Les fibres et stérols des algues ont des effets sur la réduction du cholestérol plasmatique, les algues vertes et brunes sont caractérisées par la présence de stérols structurellement très proches des phytostérols, elles pourraient ainsi devenir une nouvelle source de phytostérols anticholestérolémiants (Person, 2011).

I. 13. 5. Les algues dans les médicaments

- **Les utilisations traditionnelles d’algues**

Les médicaments traditionnels à base de plantes bénéficient d’un régime particulier d’autorisation simplifiée pour la mise sur le marché. Pour une utilisation dans les compléments alimentaires et les fabricants de l’Agence du médicament, comme le traitement de la constipation, les propriétés cicatrisantes et protectrices gastriques, et dans la prévention et le traitement du goitre (**Le bras et al, 2014**).

La médecine utilise les nutriments des algues dans certains médicaments (**Figure8**) pour éviter la décalcification ou encore pour traiter certaines maladies de l'oesophage. C'est la preuve de leurs bienfaits sur notre organisme. Ces plantes aquatiques protégeraient également le cœur, favoriseraient une baisse du cholestérol et permettraient de détoxifier l'organisme des substances indésirables (**Cardenas, 2016**).



Figure8 : les différentes bases d’algue dans les médicaments (<http://www.arkopharma.be/espace-pharmaciens>).

I. 12. 6. Agriculture

- **Engrais**

Historiquement et traditionnellement, les macro-algues sont utilisées comme engrais dans le monde entier au niveau des régions côtières. Les “laisses de mer” sont épandues sur les champs. Leur teneur en minéraux permet d’améliorer la composition minérale des sols appauvris et leur richesse en colloïdes d'accroître la capacité de rétention d'eau des sols, de fixer les limons et de réduire l'érosion des terres arables (**Person, 2011**).

Les macroalgues vertes, qui sont jetés à terre en été, sont compostées et ensuite utilisés dans les cultures de plants de tomates. L’ajoute du compost augmente la capacité de rétention d’eau et

la croissance de la plante, ce qui résolve les problèmes de pollution de l'environnement et sert comme engrais naturel organiques (**Chouikhi, 2013**).

II. 13.7. Usages industriels

Les phycocolloïdes, utilisés dans l'agroalimentaire et le domaine médical sont impliqués dans de nombreuses applications comme agents texturants, filmogènes ou adhésifs. Les frustules (enveloppes externes des diatomées) siliceux, sont utilisés comme abrasifs, ou isolants phoniques ou thermiques. D'autres produits comme les colles, peintures, résines, colorants, enzymes, caoutchoucs, savons utilisent des produits d'algues (**Elmtili et al, 2014**).

I. 13. 8. Alimentation animale

Utilisées autrefois de façon traditionnelle dans certaines régions côtières où les animaux d'élevage étaient amenés à paître sur les grèves, les algues sont aujourd'hui des ingrédients introduits dans l'alimentation animale pour plusieurs applications. On les retrouve dans la formulation des aliments sous forme de farines. Elles peuvent aussi intervenir comme compléments alimentaires en nutrition animale (**Person, 2011**).

I. 13. 9. Environnement

L'application des algues dans le traitement des eaux usées. Le premier concerne le traitement des eaux domestiques et de l'agriculture afin de diminuer la teneur totale en azote et en phosphore (**Alem, 2015**).

Les algues ont un rôle important dans de nombreux domaines comme le captage du carbone, ou la dépollution: les polysaccharides sulfatés (Ulvanes), extraits à partir des Ulves présentent des potentialités d'applications dans la dépollution de l'air (**Elmtili et al, 2014**).

∞ *Chapitre II* ∞

*Données bibliographiques
sur les espèces étudiées*

II. 1. Présentation des espèces étudiées

La systématique des trois espèces étudiées est celle donnée par les sites [www. Algae base. Com.](http://www.algaebase.com)

II. 1. 1. *Caulerpa racemosa*

(Forssk), Agardh, 1873

II. 1. 1. 1. Taxonomie

Division : *Chlorophytum*

Classe : *Chloroiphyceae*

Ordre : *Bryopsidales*

Famille : *Caulerpaceae*

Genre : *Caulerpa*

Espèce : *Caulerparacemosa*

Sous espèce : *Caulerpa racemosa var cylindracea*



Figure 9 : *Caulerpa racemosa*

II. 1. 1. 2. Description

La *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* est une algue verte caractérisée par des frondes dressées pouvant mesurer jusqu'à 11 cm de long (exceptionnellement 19 cm) et comportant des rameaux arrondis et vésiculeux (également appelés « ramules (Figure 10) Ses frondes sont légèrement gonflées juste au-dessus du stolon qui est fixé au substrat à l'aide de rhizoïdes fins (Otero et al, 2013).



Figure 10 : Schéma représentative de *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Otero et al, 2013).

II. 1. 1. 3. Distribution de *Caulerpa racemosa*

Caulerpa racemosa est une chlorophyte invasive décrite pour la première fois en Australie en 1858. Elle a colonisé les côtes de 15 pays depuis 1990 et une grande majorité des îles méditerranéennes (**Figure11**). Le suivi de sa prolifération est pris en compte par les organismes internationaux (**Bentaallah et Kerfouf, 2013**).

Caulerpa racemosa a été identifiée pour la première fois en Algérie en 2006 près du port d'Alger, et sa prolifération commence à être perceptible. En effet, *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* est de plus en plus signalée dans plusieurs zones côtières dont 9 au centre et 2 à l'Ouest algérien avec une répartition bathymétrique qui s'étend jusqu'à 29 m de profondeur (**Bentaallah, Kerfouf, 2013**).

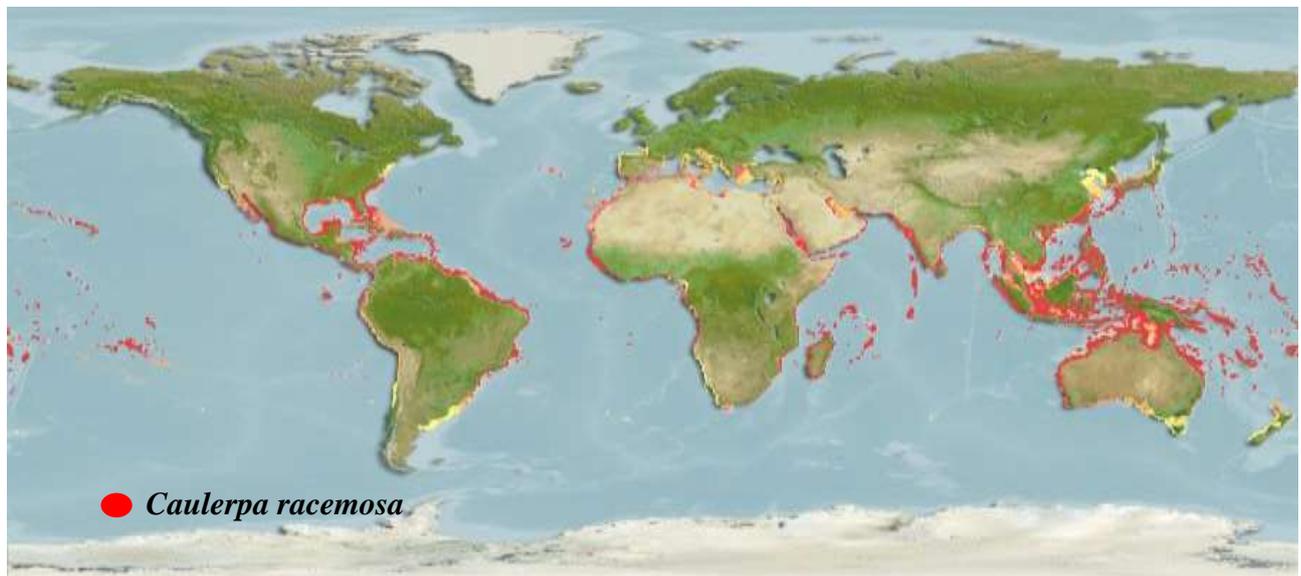


Figure 11: La distribution des *Caulerpa racemosa* dans le monde (<https://www.aquamaps.org/>).

II. 1. 1. 4. Habitat

Cette algue est présente selon des morphologies et des tailles différentes, surtout en termes de longueur de fronde, en fonction de la région, de la profondeur et de la saison. Elle peut être observée à partir de la zone intertidale jusqu'à des profondeurs de plus de 60 m (**Otero et al, 2013**).

II. 1. 1. 5. Reproduction

L'espèce *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* est capable de reproduction sexuée et végétative. Concernant la reproduction sexuée, l'ensemble de la plante forme des gamètes qui sont libérés simultanément, entraînant la mort de l'individu souche (**Otero et al, 2013**).

Concernant la reproduction végétative, celle-ci peut intervenir de trois manières : dans le cadre de sa croissance, par fragmentation ou par formation de propagules (dissémination de ramules). La fragmentation peut se produire dans n'importe quelle partie de l'algue et les causes de cette fragmentation peuvent être anthropiques ou naturelles, comme les courants ou le pâturage des animaux. Cette plante est capable de multiplication rapide à partir de fragments (Otero et al, 2013).

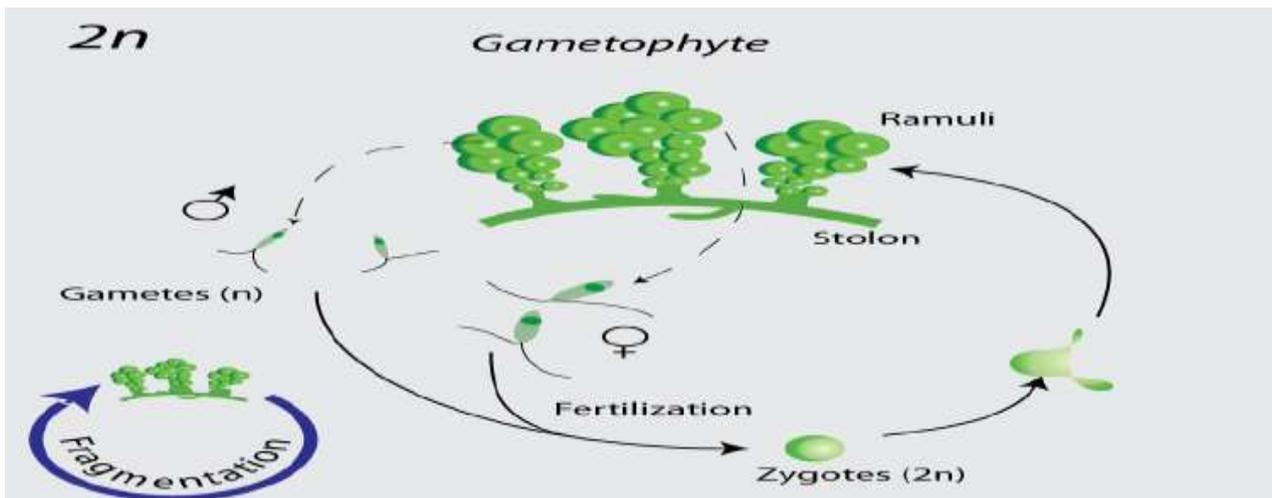


Figure 12: Cycle de reproduction chez la *caulerpe racemosa*

II. 1. 2. *Ulva lactuca* (Linné, 1753)

II. 1. 2. 1. Taxonomie

Règne : *Plantae*

Embranchement : *Chlorophyta*

Classe : *Ulvophyceae*

Ordre : *Ulvales*

Famille : *Ulvaceae*

Genre : *Ulva lactuca*

Espèces : *Ulva lactuca*



Figure13: *Ulva lactuca*

II. 1. 2. 2. Description

Le genre de macroalgues vertes marines *Ulva*, particulièrement connu pour la formation de marées vertes, comprend environ 100 espèces. Les espèces *Ulva* ont une structure de thalle simple qu'elles présentent avec une variété de formes complexes en raison de la plasticité phénotypique et des différences morphologiques (Kang et al, 2019).

Ce genre algue est visible surtout aux fortes périodes d'ensoleillement, la fin de l'hiver, le printemps et l'été. Elle a une durée de vie assez courte, quelques mois en général, mais plusieurs générations se succèdent au cours de l'année (Douaa, 2019).

Leur taille est variable, en moyenne de 30 à 40 cm, et peut même atteindre 1 mètre si elles se trouvent dans des zones eutrophisées (Zehlila, 2017).

II. 1. 2. 3. Distribution

La laitue de mer, *Ulva lactuca*, est une algue verte marine commune dont la répartition est mondiale (Giuseppe et al, 2019), comme montre la carte au niveau de la (Figure 14). Au niveau de la mer Méditerranée *U. lactuca* est la plus répandue des espèces du genre *Ulva*. (Mediterraneo 2015).

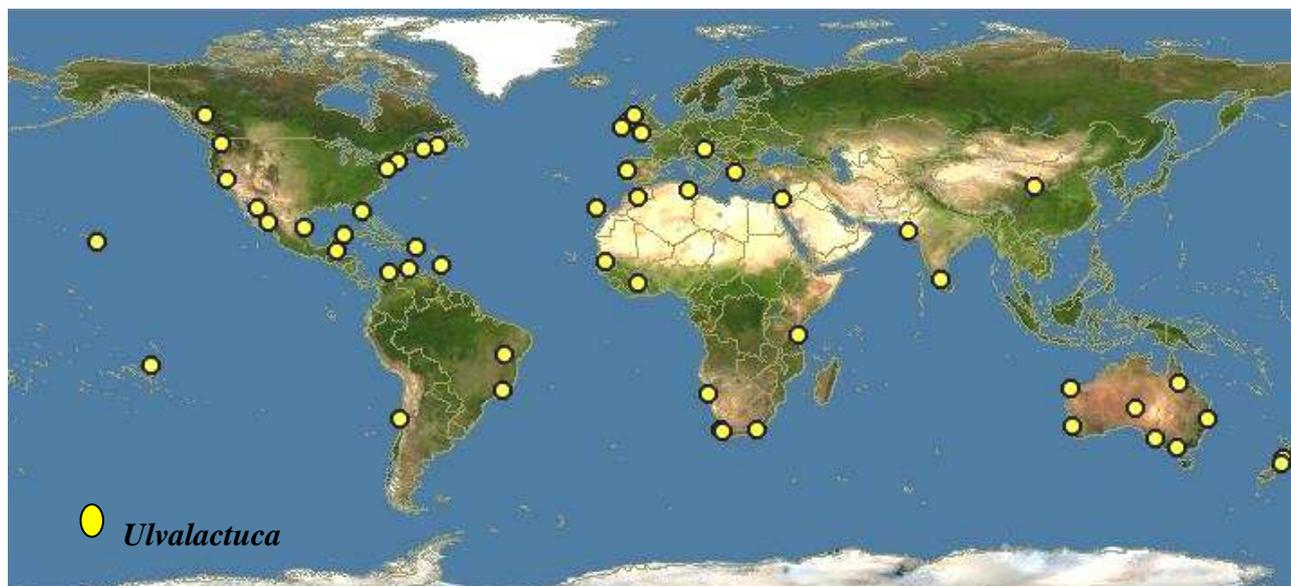


Figure 14: Carte représentative de la distribution mondiale de l'algue verte *Ulvalactuca*. L

(Facility, 2013)

II. 1. 2. 4. Habitat

Les macroalgues vertes marines du genre *Ulva*, peuvent se fixer sur différents supports solides telles que sur les roches, dans les zones littorales et sublittorales des régions côtières (Douaa, 2019). On le trouve également en abondance dans les zones et les endroits peu profonds et bien éclairés tels que les marécages et les ports d'eau saumâtres. Elle se développe aussi dans les zones enrichies en eau douce et de ruissellement riches en éléments nutritifs même polluées (Botany 2001).

II. 1. 2. 5. Reproduction

Ulva lactuca est une espèce dioïque ayant un cycle de vie diplohaplontal (Figure 15), avec des stades gamétophytiques et sporophytiques isomorphes. Les thalles sont des filaments grossiers qui peuvent être ramifiés ou non et ont des crampons en forme de disque développés à partir de cellules basales qui se fixent fermement sur un substrat approprié comme des cailloux ou des rochers. À maturité, la région apicale des gamétophytes haploïdes change de couleur pour devenir jaune-orange (mâles) ou jaune-vert (femelles) et libère des gamètes biflagellés. La fécondation peut être isogamique ou anisogamique. Les zygotes se fixent sur des substrats appropriés où ils germent et se développent en sporophytes diploïdes. Les parties apicales des sporophytes mûrissent de manière similaire à celle des gamétophytes et produisent des zoospores quadri flagellées par méiose. Les zoospores libérées se déposent sur le substrat et germent en gamétophytes respectifs, complétant ainsi le cycle de vie (Bast, 2014).

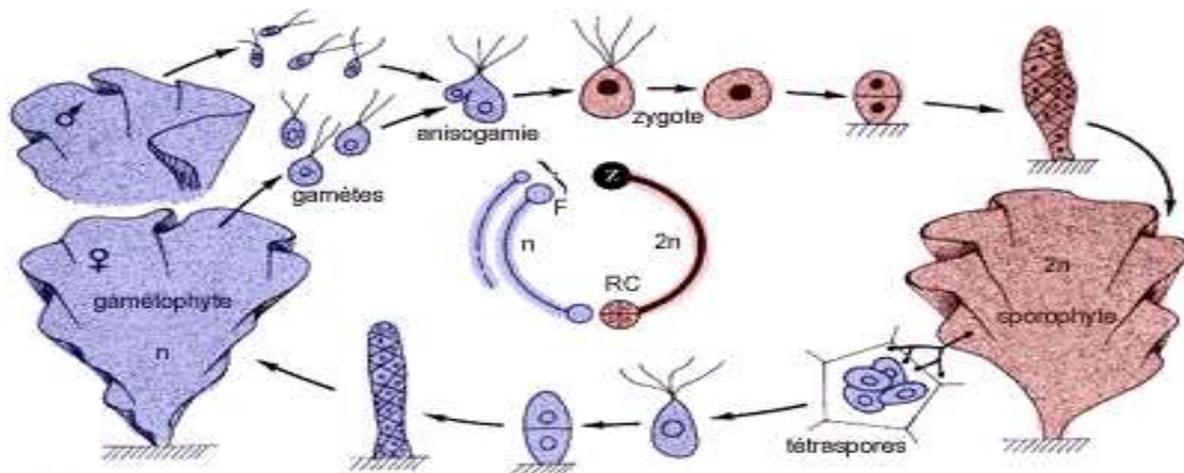


Figure 15: cycle de reproduction chez *Ulva lactuca* (<http://www.creaweb.fr>).

II.1. 3. *Gelidium sesquipedale* (Clemente) Thuret, 1876

II.1. 3. 1. Taxonomie

Règne : Plantae

Embranchement : Rhodophyta

Classe : Florideophyceae

Sous classe : Rhodymeniophycidae

Ordre : Gelidiales

Famille : Gelidiaceae

Genre : *Gelidium*

Espèce : *Gelidium sesquipedale*



Figure 16: *Gelidium sesquipedale*

II. 1. 3. 2. Description

Le thalle de *G. sesquipedale*, rouge à rouge brun, a un aspect robuste et une consistance cartilagineuse (**Figure17**). Il est constitué de frondes de taille variant entre 10 et 25 cm et pouvant atteindre 40cm dans les gisements les moins exploités, elles sont regroupées en touffes, s'élevant à partir de filaments rampants qui assurent la fixation de l'algue au substrat par une série de rhizoïdes. La fronde est constituée d'un ensemble d'axes principaux à croissance illimitée, porteurs de ramifications latérales à croissance limitée, ce qui donne au thalle une forme pyramidale. La largeur des axes varie de 0,2 à 0,5 mm (**Mouradi et al, 2006**).

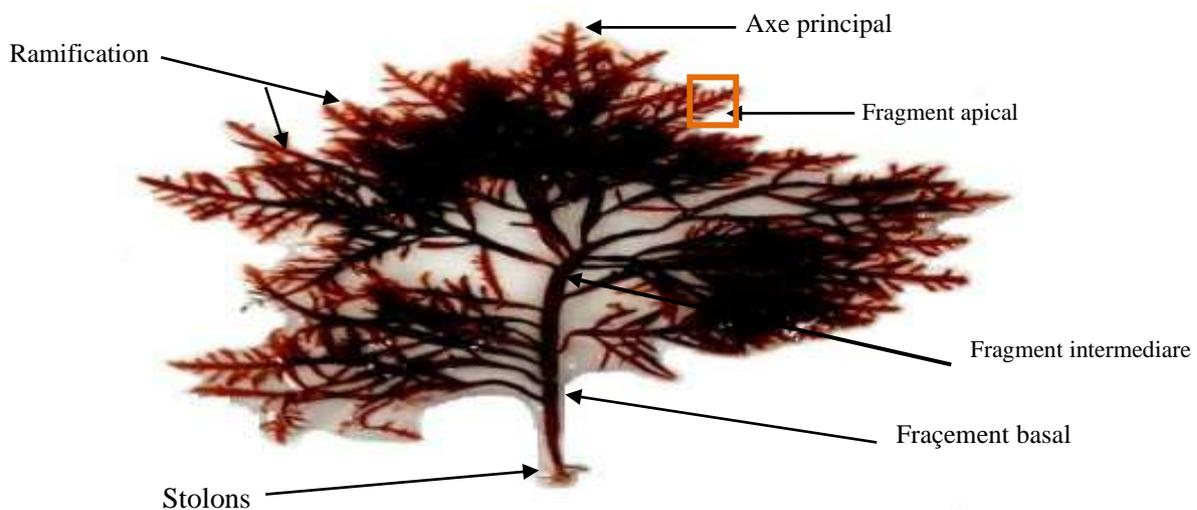


Figure 17: Morphologie d'un thalle de *G.* (**Mouradi et al, 2006, modifiée**).

II. 1. 3. 3. Distribution

La répartition géographique *Gelidium sesquipedale* a été précisée par Dixon 1950. Sa distribution s'étend de la côte sud de la grande Bretagne (Torquay, Sidmouth, Penzance, Wembury) aux côtes françaises de l'Atlantique de la péninsule ibérique et du Maroc et à la Méditerranée occidentale (**Guiry, 2011**).

II. 1. 3. 4. Reproduction

L'algue se reproduit par voie sexuée et par multiplication végétative. Sa durée de vie allant de 3 à 5 ans peut persister jusqu'à 6 ans. Elle est pérennante par son système de fixation et par la partie basale de sa fronde érigée. La dissémination des spores permet aussi la propagation de l'espèce. Ce pouvoir de régénération augmente la persistance de cette espèce. Le cycle de reproduction est du type haplodiplophasique, trigenétique, isomorphe. Les trois générations: gamétophyte male

gamétophyte femelle et tétrasporophyte sont morphologiquement identiques dans la (Figure 18) (Zidane, 2006).

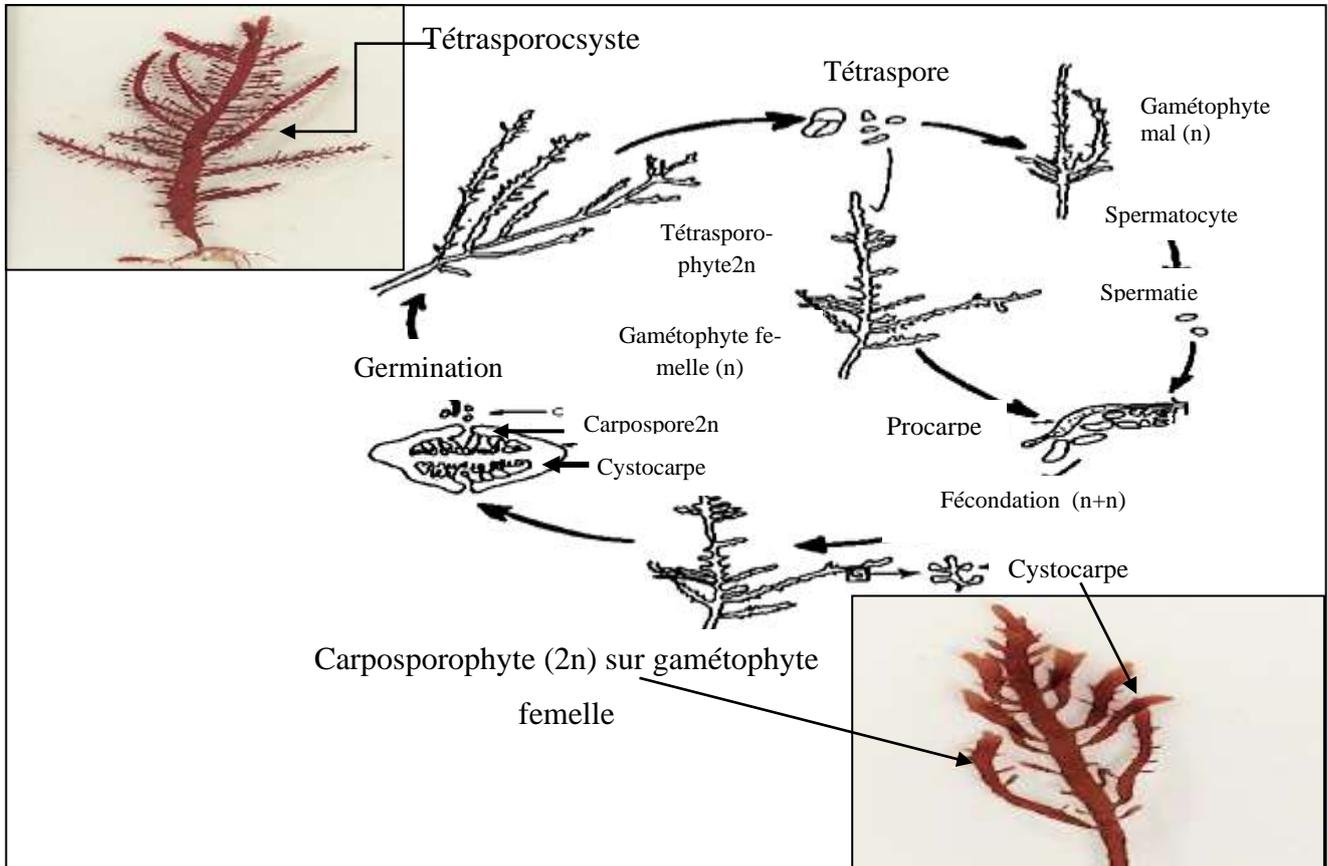


Figure 18: Cycle de reproduction sexué de *Gelidium sesquipedale* (Zidane, 2006, modifiée).

∞ Chapitre III ∞
Matériels et Méthodes

III. 1. Matériels et méthodes

III. 2. Présentation de la zone d'étude

Les sites de collecte se situent dans la wilaya de Jijel qui se trouve à l'est algérien se situe entre deux grand ports : celui de Bejaia et celui de Skikda 90 km du premier et à 140 Km du second Jijel se trouve sur une côte quasiment rectiligne, allant de cap de bougarouni, promontoire au contour grossièrement semi circulaire, au cap El Aouna (<http://www.ccijjel.com>), (figure. 19), ou elle s'incurve jusqu'à Bejaia (position : 36° 49 00" nord. 5° 46 00" est, altitude : Min : 10m, Max : 10min, superficie : 62.38Km²) (<https://fr.wikipedia.org>).

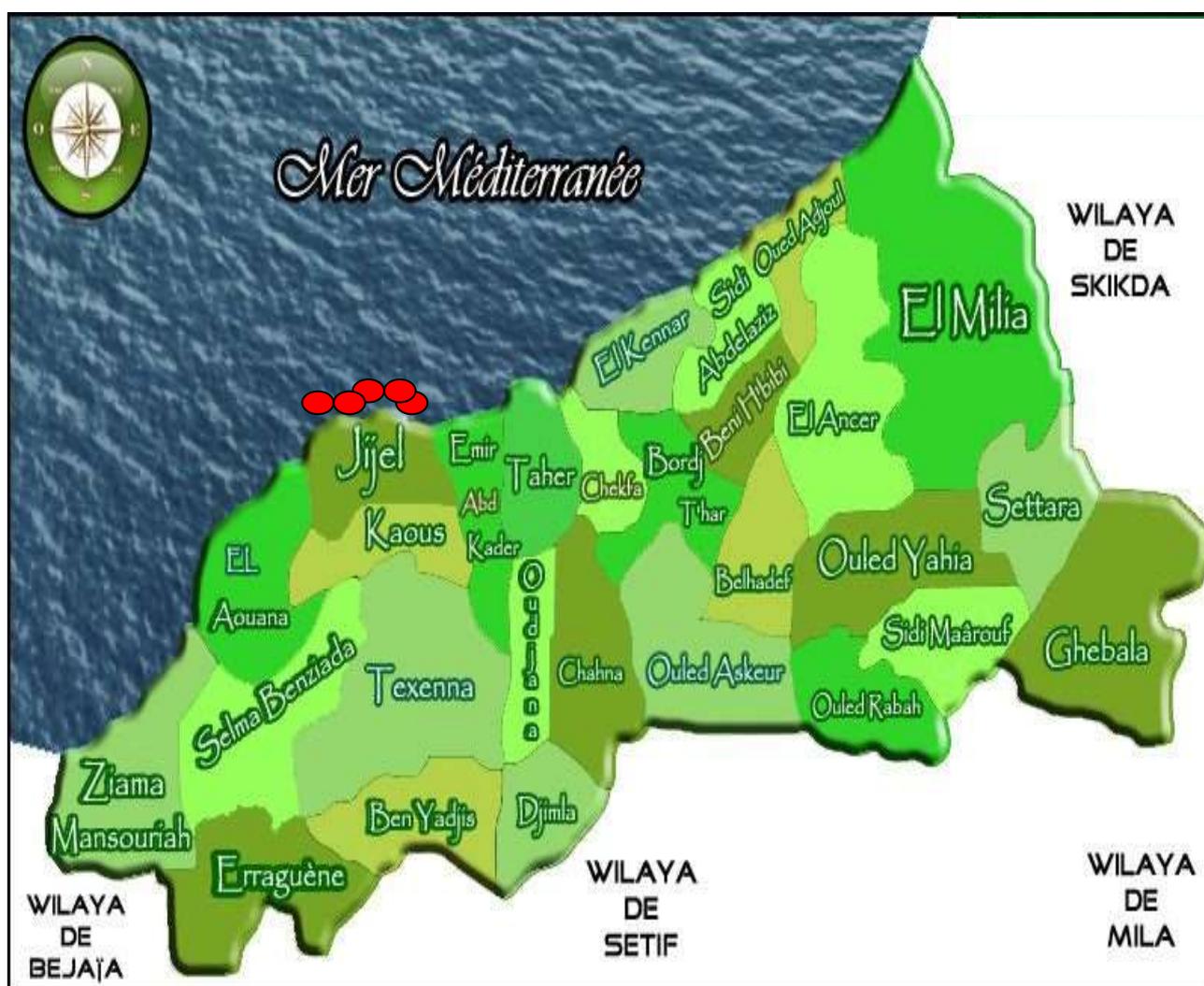


Figure19 : Carte géographique présentant le littoral jijelienne (<https://www.algerieinfos-saoudi.com>, modifiée).

III. 3. Récolte des algues

La récolte des algues a été effectuée le printemps, au niveau des plages : **Tassouste, El Rabta, Beau marché, Grand phare, et le Troisième kilomètre (Figure20)**. Le poids de la récolte a été estimé à 1kg pour chaque espèce, le matériel frais est mis dans des sacs en plastique il a été ensuite rincé à l'eau douce plusieurs fois pour éliminer les sels minéraux et les contaminants avant d'être finement coupé.



Figure 20 : Photo présentant les sites d'étude (<https://www.google.it/maps>).

III. 4. Séchage

Les algues séchées pendant 48h à une température ambiante d'environ 35°C à l'abri de la lumière solaire dans un endroit ombragé exposé au courant d'air sur un support de grille en bois, ensuite l'algue sèche a été conservée dans des sachets en papier fermés à l'abri de l'humidité et de la lumière (Richez, 2016).

III. 5. Broyage

La dernière phase avant extraction est le broyage, il est nécessaire de traverser les membranes cellulaires pour accéder aux molécules d'intérêt. Le solvant pourra alors entrer en contact avec ces molécules pour les dissoudre (Richez, 2016).

III. 6. Méthodes d'extractions des huiles algales

III. 6. 1. Extraction au Soxhlet

Les solvants les plus utilisés à l'heure actuelle sont l'hexane, cyclohexane, l'éthanol, moins fréquemment le dichlorométhane et l'acétone. Le solvant choisi, en plus d'être autorisé, devra posséder une certaine stabilité face à la chaleur, la lumière ou l'oxygène. Sa température d'ébullition sera de préférence basse afin de faciliter son élimination, et il ne devra pas réagir chimiquement avec l'extrait (Bouhatem et al, 2019).

La poudre de la plante (10g) est introduite dans la cartouche en papier filtre, cette dernière sera placée dans le soxhlet surmonté d'un réfrigérant. Dans ce travail on utilise l'éthanol pour l'espèce de *ulva lactuca* et *caulerpa racemosa* et l'hexane pour l'espèce *Gelidium sesquipedale* avec les conditions de laboratoire (Figure 21).

L'avantage de ce type d'extraction est que le solvant condensé, s'accumule dans un réservoir à siphon, ce qui augmente la durée de contact entre le solvant et le produit à extraire. Quand le solvant atteint un certain niveau, il amorce le siphon et retourne dans le ballon en entraînant la substance dissoute (Feknous et al, 2013).

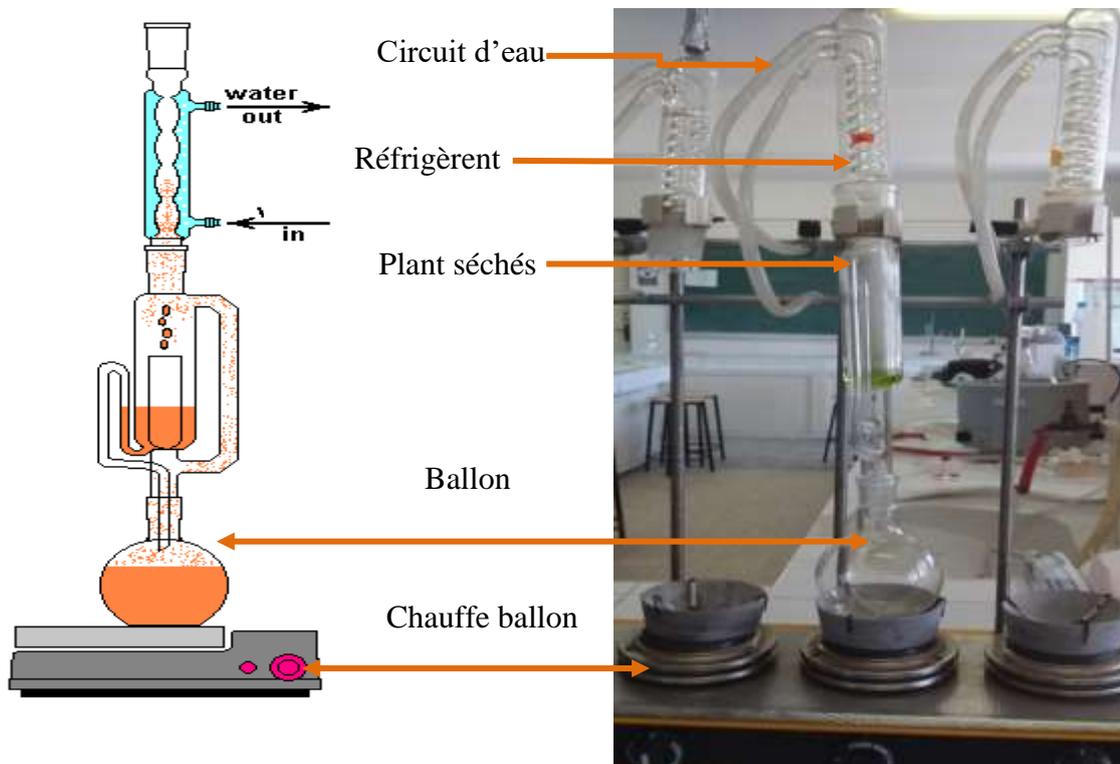


Figure 21: Soxhlet pour extraction

• **Matériels et produit utilisés**

Tableau 5: présentations des matériels et produit utilisés dans la rotavapeur

<u>Matériels</u>	<u>Produits</u>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Balance analytique. ▪ Réfrigérant. ▪ Tube de 250 ml. ▪ Ballon de 500ml 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Solvant organique (éthanol, hexane). ▪ Eau distillée. ▪ Matière végétal 10 g.

1-Extraction pendant 6h ou bien 6h30min selon le solvant utilisé (éthanol et l'hexane).

2-Après on utilise le rotavapeur pour éliminer certaine partie de solvant (la même méthode avec les trois extrait) (Figure 22).

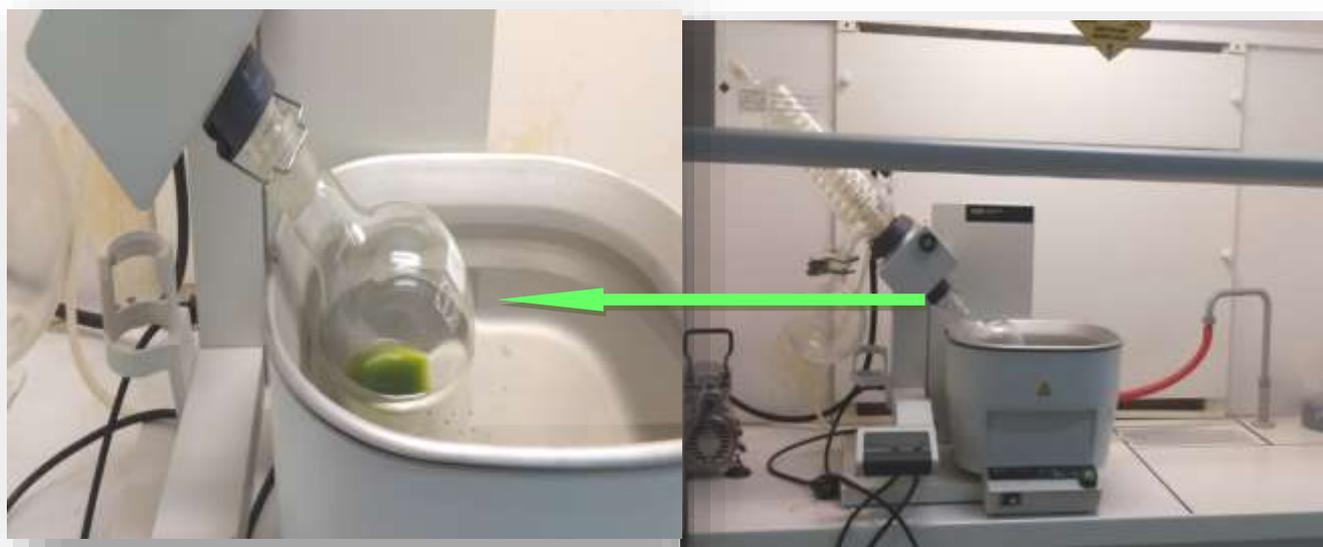


Figure 22 : l'extrait algal dans le rotavapeur

- **Mode opératoire**

1- 10 g de l'échantillon à analyser sont placés dans une cartouche à extraction sur un ballon, préalablement séché dans une étuve.

2- La cartouche contenant la prise d'essai est placée dans l'appareil à extraction, puis la quantité nécessaire du solvant est versée dans le ballon.

3- Le ballon est adapté à l'appareil à extraction sur un chauffe-ballon réglé à une température voisine à l'ébullition du solvant 60°C.

4- Après 6 heures d'extraction, passer le ballon au rotavapeur, dans le but d'éliminer le Solvant d'extraction.

5- Laisser refroidir et peser le ballon + huile extraite (ISO, 1988).

Le protocole général d'extraction utilisé est illustré sur la (Figure 23). Les modes opératoires utilisés ont été inspiré des méthodes d'extraction des huiles avec de légères modifications pour les adapter aux conditions de laboratoire

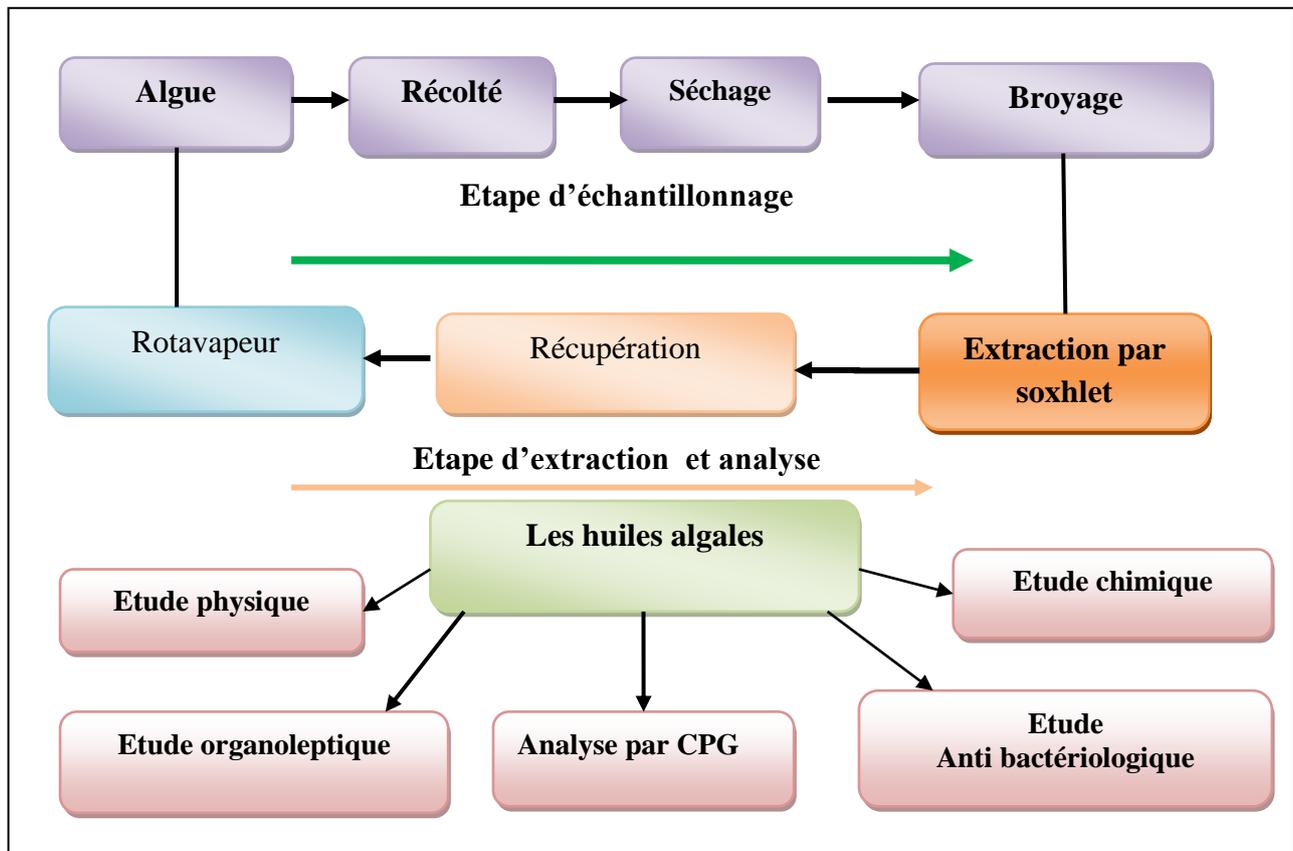


Figure 23: Protocol général d'extraction

III. 7. Propriété biologique

- **Calcul de rendement**

Le rendement r de l'extraction est le rapport entre la masse \max de l'extrait obtenu en gramme et la masse mv de l'échantillon à l'état végétale en gramme multiplié par 100. Il est donné sur la formule suivante (carré, 1953).

$$r = \frac{\max}{mv} \times 100$$

1. r : rendement
2. mv : masse de l'échantillon (gramme)
3. \max : masse de l'extrait obtenu (gramme)

- **Etude des caractères organoleptiques des huiles d'algues**

Les caractères organoleptiques sont les premiers critères d'appréciation de la qualité d'un produit. Ceux utilisés pour l'huile extraite d'algues sont les suivantes :

- Couleur : la couleur des huiles dépend de leur nature et des traitements qu'elles ont subis. Une estimation et une appréciation visuelle ont été élaborées lors des travaux en laboratoire.
- La texture (résistance, viscosité) : l'appréciation a été effectuée à l'aide du toucher. L'odeur a été perçue par l'odorat (Bouhatem et al, 2010).

III. 8. Caractères physiques

III. 8. 1. Indice de réfraction

- **Définition**

L'indice de réfraction est le rapport entre le sinus de l'angle d'incidence et le sinus de l'angle de réfraction d'un rayon lumineux de longueur d'onde déterminée passant de l'air dans l'huile maintenue à température constante(**Figure24**) (**Lion, 1955**).

- **Principe**

Il est soit pour mesurer directement l'angle de réfraction, soit pour observer la limite de réflexion totale, l'huile étant maintenue dans les conditions d'iso-tropisme et de transparence (**Lion, 1955**).

- **Méthode de calcul**

L'indice de réfraction est calculé comme suit :

$$N_d^{20} = n_d^t + 0,00035 (t - 20)$$

Avec :

n_d^t : valeur de lecteur à la température t à laquelle a été effectuée la détermination.

N_d^{20} : indice de réfraction à la température 20°C.

t: température à laquelle a été effectuée la détermination.

- **Mode opératoire**

1-Etalonner l'appareil par l'eau distillée.

2-Nettoyer la lame du réfractomètre



Figure 24 : Réfracte mètre

3-Déposer quelques gouttes de l'huile d'algue dans la lame et régler le cercle de chambre sombre et claire dans la moitié.

4-Effectuer la lecture en prenant compte la température 20°C (Wolff, 1968).

III. 8. 2.Teneur en eau

- **Principe**

Il consiste à provoquer le départ d'eau par chauffage d'une quantité connue d'huile jusqu'à élimination complète de l'eau.

- **Méthode de calcul**

La teneur en eau est calculée comme suivant

$$H\% = \frac{m1-m2}{m1-m0} \times 100$$

Avec :

m0 : masse (g) de boite de pétri vide.

m1: masse (g) de boite de pétri avec la prise d'essai avant le chauffage à l'étuve.

m2 : masse (g) de boite de pétri avec la prise d'essai après le chauffage à l'étuve.

- **Mode opératoire**

1-Sécher une boite de pétri dans l'étuve à 103°C pendant deux heures puis laisser refroidir dans un dessiccateur et peser (m0).

2-Peser 20g d'huile d'algue dans la boite de pétri préalablement taré (ml).

3-Mettre la boite de pétri contenant l'huile d'olive dans une étuve pendant une heure à 103°C.

4-Laisser ensuite refroidir dans un dessiccateur, puis peser (m2).

5-Répéter la même opération dans les mêmes conditions jusqu'à l'obtention d'un poids constant. (Wolff, 1968).

III. 8. 3. Le potentiel d'hydrogène (pH)

- **Principe**

Le Ph donne une indication sur l'acidité ou l'alcalinité du milieu, il est déterminé à partir de la quantité d'ions d'hydrogènes libres (H) contenue dans l'huile.

- **Mode opératoire**

1-Prendre 20ml d'huile d'algue à analyser dans un bécher, Plonger la sonde dans la solution et lire le pH (Figure25).



Figure25 : pH mètre

III. 9. Caractères chimiques

III. 9. 1. L'indice d'acide

- **Définition**

C'est le nombre de mg de NaOH nécessaire à la neutralisation des acides libres contenus dans 1g de corps gras (Lion, 1955).

- **Principe**

Le principe consiste à neutraliser les acides libres par une solution alcoolique d'hydroxyde de sodium titrée.



- **Matériels et réactifs utilisé**

Tableau 6: Matériels et réactifs relatifs à l'indice d'acide

<u>Matériels</u>	<u>Réactifs</u>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Balance analytique ▪ Erlenmeyer ▪ Pipettes ▪ Burette 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eau distillée ▪ Solution d'éthanol ▪ Solution de phénophtaléine à 1% ▪ Solution d'hydroxyde de sodium

- **Méthode de calcul**

L'indice d'acide est donné par la formule suivante (Wolff, 1968).

$$I_{Acide} = M * V * \frac{N}{m}$$

Avec :

M : masse molaire, exprimée en g/mole, de NaOH (M=40g/mole).

N : normalité de la solution titrer NaOH (0.12N).

V : volume ml de NaOH titré

m : masse (g) de la prise d'essai.

- **Mode opératoire**

1-Peser 2,5 g d'huile d'algue dans un erlenmeyer.

2-Ajouter 75ml d'éthanol.

3-Neutraliser en présence de quelques gouttes d'empois d'amidon à 1%.

4-Agiter et tirer avec la solution de NaOH (0,12N) jusqu'à l'obtention d'une couleur rose.

5-Faire la lecture du résultat

6-répéter l'essai trois fois

III. 9. 2. L'indice d'ester

L'indice d'ester est la masse en milligramme de potasse requise pour la saponification à chaud des esters contenus dans un gramme de corps gras. Il est calculé à partir de l'Indice d'Acide (**IA**) et

l'Indice de Saponification (**IS**). Il permet d'évaluer une éventuelle hydrolyse des triglycérides (**Bensalem, 2015**).

L'Indice d'Ester est calculé selon l'équation suivante :

$$IE = IS - IA$$

IS: Indice de Saponification.

IA: Indice d'Acide.

III. 9. 3. Indice d'iode

- **Définition**

C'est la mesure de degré d'insaturation d'une matière grasse en déterminant le nombre d'iode (gramme), Se fixant sur les doubles liaisons présentes dans 100g de lipides.

- **Principe**

Il est pour la détermination l'insaturation de l'huile d'algues. Quelques soit le réactif halogénéutilisé, l'iode se fixe sur les insaturations des chaines grasses en les saturants. Il est déterminé à l'aide du réactif de Wijs et titrée avec une solution de thiosulfate de sodium (**Bensalem, 2015**).



Le réactif de Wijs qui n'est pas fixé sur les doubles liaisons est détruit lors de l'addition d'une solution d'iodure de potassium pour former du di iode I₂, selon la réaction (2) et Le titrage du di iode formé, par une solution connue de thiosulfate, permet de connaître la quantité de matière d'I-Cl réaction(3) (**Bensalem, 2015**).



• **Matériels et réactifs**

Le tableau suivant présente les matériels et réactifs relatifs à l'indice d'iode

Tableau7: Matériels et les réactifs relatifs à l'indice d'iode

<u>Matériels</u>	<u>Réactifs</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Pipettes • Burette • Erlenmeyer • Balance analytique 	<ul style="list-style-type: none"> • Solution d'éthanol • Réactifs de Wijs • L'eau distillée • Solution d'iodure de potassium • Solution de thiosulfate de potassium (0.1N) • Solution d'empois d'amidon

• **Méthode de calcul**

L'indice d'iode est donné par la formule suivante :

$$I_{ode} = (V_0 - V_1) / P * 12.69 * N$$

Avec :

N : Normalité de la solution.

V₀ : Volume de Na₂S₂O₃ (ml) nécessaire pour titrer l'essai à blanc.

V : Volume de Na₂S₂O₃ (ml) nécessaire pour titrer l'échantillon.

P : Prise d'essai (g).

• **Mode opératoire**

1- Introduire 0,2g de prise d'essai dans un erlenmeyer.

2- Ajouter 25ml de tétrachlorure de carbone pour dissoudre l'échantillon.

3- Ajouter 25ml de réactif de Wijs.

4- Boucher et agiter et placer à l'abri de la lumière pendant une heure.

5- Ajouter 20ml d'iodure de potassium et environ 150ml d'eau distillée, agiter le mélange.

6-Titrer avec le thiosulfate de sodium 0,12N jusqu'à la disparition la couleur jaune.

7-Ajouter trois à quatre gouttes d'empois d'amidon et continuer à titrer jusqu'à la décoloration.

III. 9. 4. Indice de saponification

L'indice de saponification, représente la quantité en milligrammes de KOH (potasse) nécessaire pour transformer en savon les acides gras libres et les glycérides contenus dans un gramme de corps gras, est déterminé en mélangeant un volume d'huile avec de la potasse et titration avec de l'acide chlorhydrique.

• Principe

Si on traite un ester par de la potasse suffisamment concentrée et chaude, on le régénère suivant une réaction totale d'alcool et le sel de potassium de l'acide puis on donne la naissance l'ester (Wolff, 1968).



• Matériels et réactifs

Le tableau suivant présente les matériels et les réactifs relatifs à l'indice de saponification

Tableau 8 : Matériels et réactifs relatifs à l'indice de saponification.

<u>Matériels</u>	<u>Réactifs</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Balance analytique • Fiole de bouchons • Burette • Pipette jaugée • Soxhlet 	<ul style="list-style-type: none"> • Potasse alcoolique de concentration KOH 0,5 mol/l • Acide chlorhydrique HCL de concentration 0,5 mol/l • Phénolphtaléine • Ethanol

• Méthode de calcul

L'indice de saponification est donné par la formule suivante :

$$S_{\text{saponification}} = (V_T - V_E) * C * M / m$$

Avec :

VT : Volume en ml de HCL utilisé pour l'essai à blanc.

VE : Volume en ml de HCL utilisé pour l'échantillon à analyser.

C : Concentration de la solution d'acide chlorhydrique en mol/l (0,5mol/l).

M: Masse molaire du KOH en g/mol (56.1g/mol).

m : prise d'essai en g (**Wolff, 1968**).

- **Mode opératoire**

1-Peser 2g d'huile d'algues dans une fiole.

2-Ajouter 25 ml de potasse alcoolique de concentration 0,5 mol/L.

3-Mettre au Soxhlet et pendant une heure, agiter à chaque 15 min le ballon

4-Ajouter 2 à 3 gouttes de phénolphtaléine.

5-Titrer par l'acide chlorhydrique de concentration 0,5 mol /L en agitant constamment jusqu'au virage à l'incolore de la phénolphtaléine.

III. 9. 5. Indice de peroxyde

- **Principe**

L'indice de peroxyde est mesuré pour nous permettre d'estimer la qualité de peroxyde présent dans une matière grasse. Les peroxydes, constituants caractéristiques de l'oxydation des acides gras insaturés, sont déterminés en se basant sur leurs propriétés de libérer l'iode de l'iodure de potassium dans les milieux acides. L'iode libéré est mesuré par la réaction avec le thiosulfate en sachant que 1ml de thiosulfate à 0,01N correspond à une quantité de 80 mg d'oxygène fixé sur les acides gras (**Lion, 1955**).

- **Méthode de calcul**

L'indice de peroxyde est donné par la formule

$$IP = (V - V_0) / m \times 10 \text{ (milliéquivalents / kg)}$$

1 millimoles / kg = 2 milliéquivalents / kg = 16 microgrammes / kg

Avec :

V₀ : Volume (ml) de Na₂S₂O₃ (0.01N) nécessaire pour titrer l'essai à blanc.

V : Volume (ml) de Na₂S₂O₃ (0.0 1N) nécessaire pour titrer l'échantillon.

m : Prise d'essai (g) de l'échantillon (**Wolff, 1968**).

- **Matériels et réactifs**

Tableau 9: matériels et réactifs relatifs l'indice de peroxyde.

<u>Matériels</u>	<u>Réactifs</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Burette • Pipette • Balance analytique • Erlenmeyer de 250ml 	<ul style="list-style-type: none"> • Chloroforme • Eau distillée • Acide acétique • Empois d'amidon • Solution aqueuse de thiosulfate de sodium (Na₂S₂O₃) 0.01N • Solution aqueuse saturée d'iodure de potassium

- **Mode opératoire**

1-Peser 2g d'huile d'algues dans un erlenmeyer

2-Ajouter 10 ml du chloroforme, 15 ml d'acide acétique puis 1 ml de la solution d'iodure de potassium.

3-Boucher l'erenmeyer l'agiter et le laisser 5 min à l'abri de la lumière.

4-Ajouter 75 ml d'eau distillée.

5-Ajouter 3 à 4 gouttes d'empois d'amidon.

6-Titrer avec la solution de thiosulfate de sodium en agitant vigoureusement.

III. 10. Etude de l'activité antibactérienne des huiles des trois algues

L'activité antibactérienne d'huile des trois algues (*Ulva lactuca*, *Gelidium sesquipedale*, *Caulerpa racemosa*) a été déterminée par la technique de puits (Figure 26) (Nurhidayah, 2019).

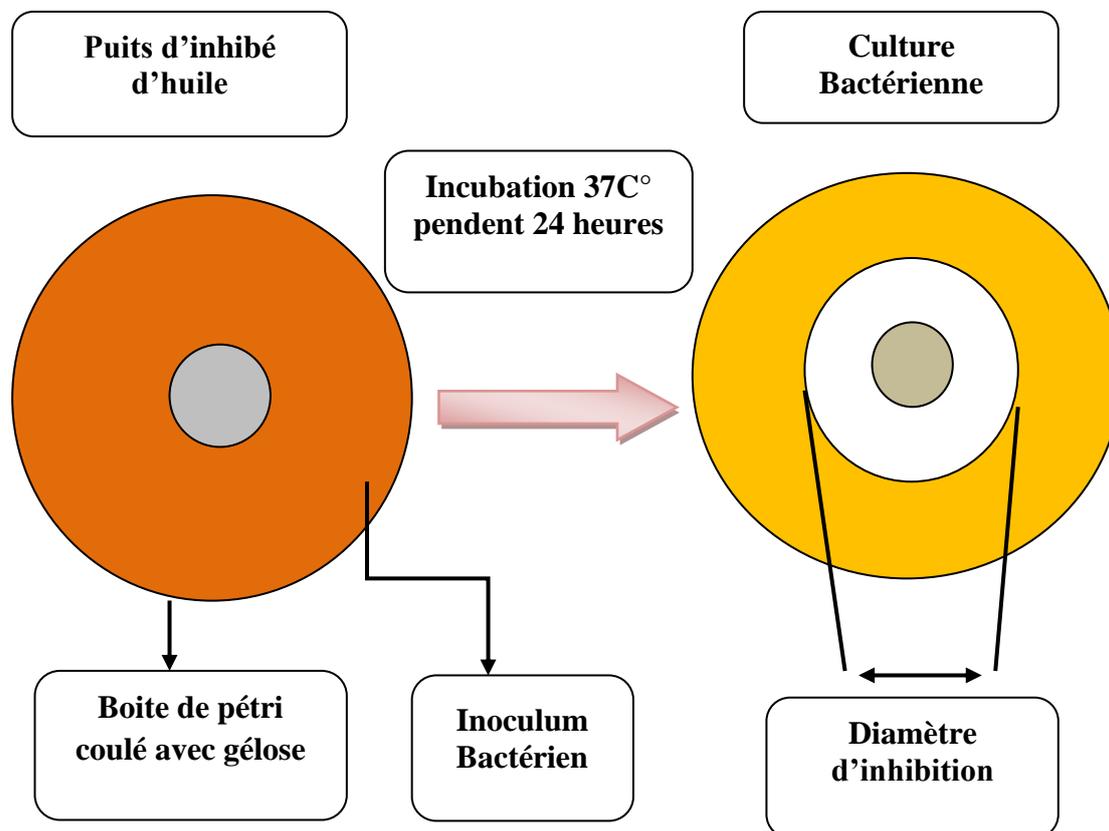


Figure 26: Représentation de la méthode de diffusion de puits

III. 10. 1. Les souches pathogènes

Les microorganismes pathogènes de références utilisées pour déterminer l'activité antibactérienne sont démontrés dans le tableau suivant :

Tableau 10: Les souches utilisées pour l'activité antibactérienne des huiles des trois d'algues.

Souches	Code
• <i>Escherichia coli</i>	ATCC 29522
• <i>Staphylococcus aureus</i>	ATCC 29523
• <i>Pseudomans aeruginosa</i>	ATCC 27853

III. 10. 2. Standardisation de l'inoculum

La turbidité bactérienne a été ajustée à l'aide d'un spectrophotomètre afin de se situer dans une plage d'absorbance de 0,8 à 0,13 à 600 nm avec bouillon stérile, ce qui équivaut à une norme de 0,5 avec une numération cellulaire d'environ $1,5 \times 10^8$ UFC/mL. Par la suite, des dilutions décimales en eau physiologique ont été préparées afin d'obtenir une concentration de 10⁶ UFC/ml (Nurhidayah et al, 2019).

III. 10. 3. Test de puits

Sur gélose nutritive, la suspension bactérienne a étéensemencée par écouvillonnage ; puis des puits de 6mm ont été creusés sur la boîte. L'éthanol et l'hexane ont ensuite été utilisés comme contrôle négatif. Un volume contenant 0.5mg/ml de chaque extrait (*Ulva lactuca*, *Gelidium sesquipedale*, *Caulerpa racemosa*) a été ajouté par chaque puits. Les boîtes sont incubées dans l'étuve pendant 24h à 37°C (Nurhidayah et al, 2019).

III. 10. 4. Lecture des résultats

La lecture se fait par la mesure du diamètre de la zone d'inhibition autour de chaque puits mesuré au millimètre avec une règle sur un fond sombre et non réfléchissant sur le fond de la boîte fermée (Nurhidayah et al, 2019).

III. 11. Analyse des huiles d'algues par La chromatographie en phase gazeuse (CPG)

La chromatographie en phase gazeuse (CPG) (gas chromatography, GC, en anglais) est une technique de séparation d'un mélange de molécules volatiles, appelées ici « analytes ».

- **Principe de chromatographie**

La CPG repose sur l'équilibre de partage des analytes entre une phase stationnaire et une phase mobile gazeuse. La séparation des analytes repose sur la différence d'affinité de ces composés pour la phase mobile et pour la phase stationnaire (Humbert et Lhermitte, 2005).

Le mélange à analyser est vaporisé puis transporté à travers une colonne renfermant une substance liquide ou solide qui constitue la phase stationnaire. Le transport se fait à l'aide d'un gaz inerte, appelé « gaz vecteur », qui constitue la phase mobile (Humbert et Lhermitte, 2005).

III. 12. Fabrication des savons à base d'algues

Les savons produits à partir de la soude et de la potasse sont dissolubles dans l'eau, cependant, ils dissoudront plus facilement dans l'eau chaude que dans l'eau froide. Le savon qui est dissout dans l'eau subit une séparation de ses composantes (hydrolyse); le résultat est, entre autre, une extrémité bien hydrophile (Caubergs, 2006).

- **Matériels et réactifs**

Tableau 11: Matériels et réactifs relatifs à la fabrication des savons à base d'algues

<u>Matériels</u>	<u>Réactifs</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Récipient en inox. • Balance • Spatule (en bois et en métal) • Thermomètre • Moule en bois • Couteau • verre de montre • Bécher 	<ul style="list-style-type: none"> • Alcalin (KOH. NaOH) • Ethanol neutralisé • Phénolphtaléine • Acide sulfurique

- **Principe**

Une solution concentrée de soude est utilisée pour réaliser la saponification d'un corps gras. Afin de favoriser le contact entre les réactifs. Le savon qui se forme lentement, à température élevée (ici, à environ 100°C), est peu soluble dans l'eau salée; il est relargué dans une solution concentrée de chlorure de sodium.

- **Mode opératoire**

1-20 ml d'huiles d'algues

2-20 ml d'huiles d'oliviers

3-100ml d'eau distillé.

4-50g d'alcalin (KOH ou NaOH).

5-Après avoir préparé le nécessaire on met l'eau distillée dans le récipient en inox.

6-En suite dissoudre l'alcalin, il faut faire attention presque la réaction est exothermique la température atteint 70 à 80 °c et dégage des gaz toxiques.

7-On laisse le mélange refroidir dans un bain-marie ou attendre jusqu'à ce qu'il devient tiède 35 à 45 °C.

8-On ajoute l'huile d'algue et l'huiles d'olivier, puis on mélange le tous à l'aide d'une spatule en bois jusqu'à ce qu'il commence à devenir lourd un peu pâteux.



Figure 27: Différentes étapes de formulation de savon

9-On laisse reposer pendant 5 à 10 mn, on verse dans un moule en bois ou en inox.

10-Laisser sécher pendant 24 h, démouler et couper avec un couteau en morceaux

11-Après 4 semaines de séchage dans un endroit sec et frais le produit peut être utilisé sans problème.



Figure 28: Dernière étape de fabrication de trois savons

Schéma générale résumant toutes les étapes de fabrication de savon

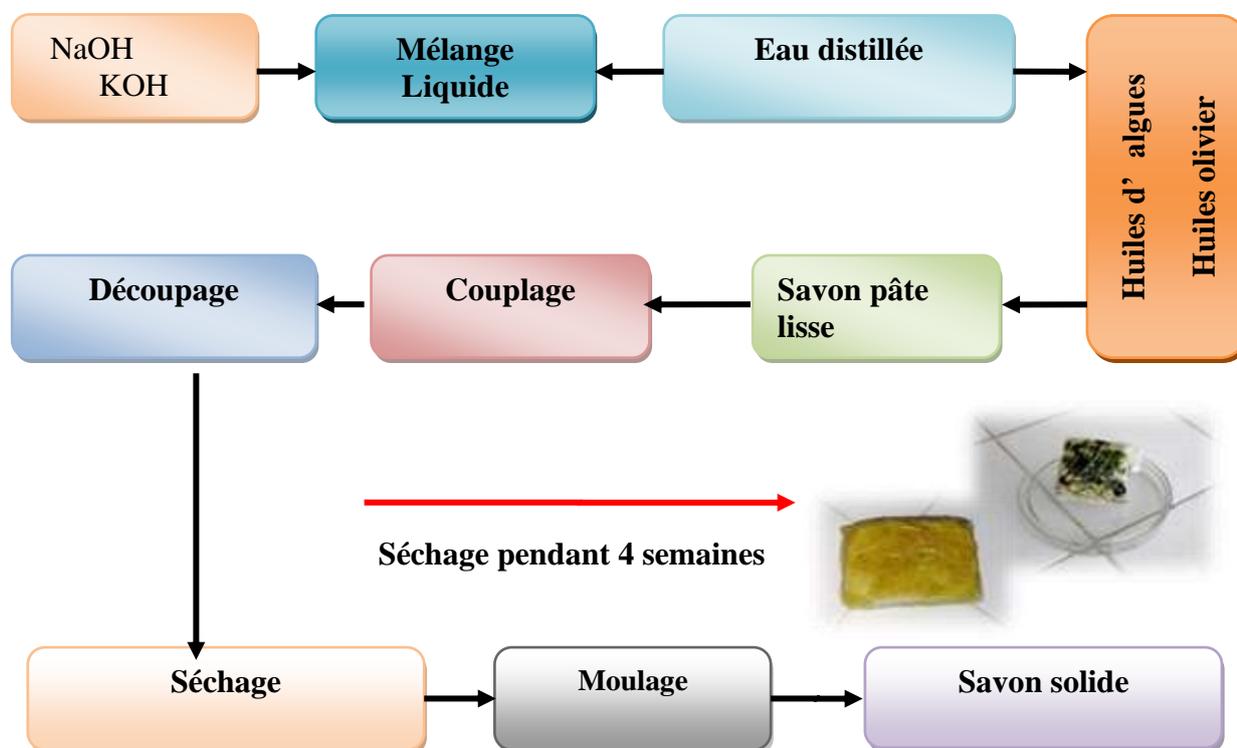


Figure 29 : étape de fabrication de savon

III. 13. Analyses des savons

III. 13. 1 Analyse physico-chimique

III. 13. 1.1 pH

Pour mesurer le pH d'un savon, faire une solution à 1%. Diluez quelques grammes de savon dans une eau déminéralisée, laissez reposer 30 Min. Si vous le pouvez utiliser un pH mètre (<http://lescosmetiquesdelilith.blogspot.com>).

III. 13. 1. 2. Détermination du pouvoir moussant (volume de mousse)

Le pouvoir moussant des savons est une caractéristique importante qui nous renseigne sur l'efficacité de ce dernier et nous donne aussi une idée sur sa solubilité.

- **Principe**

Faire agiter un échantillon de savon dans un volume d'eau jusqu'à dissolution complète.

- **Mode opératoire**

- 1- On pèse 0.25g de l'échantillon de savon dans une balance de précision.
- 2- On le verse dans une éprouvette graduée qui contient 25ml d'eau
- 3- On agite jusqu'à la dissolution complète du savon
- 4- La lecture se fait à l'aide des graduations (Togbe et al, 2014).

III. 13. 1. 3. Détermination de la teneur en alcalinité libre

- **Principe**

L'alcalinité se définit comme la capacité à neutraliser un acide. L'alcalinité des savons naturels est principalement associée aux hydroxydes. L'alcalinité totale varie généralement de 0,02 à 0,08 mg/L Elle représente l'alcalinité libre exprimé en grammes de NaOH pour 100 g de savon(%). En général, les résultats sont exprimés en pourcentage massique soit en hydroxyde de sodium(NaOH), soit en hydroxyde de potassium (KOH) (ISO 684:1974).

- **Méthode de calcul**

Les résultats d'alcalinité sont calculés en utilisant l'équation suivante :

$$\text{Alcalinité } \% = \frac{V.N.Eq \text{ NaOH}}{10.PE}$$

Avec :

V : volume de H₂SO₄ ;

N : normalité d' H₂SO₄ 0,1N ;

Eq : équivalent grammes NaOH = 40g ;

PE : prise d'essai = 5g.

- **Mode opératoire**

1- Introduire la prise d'essai dans un erlenmeyer de 250 ml (l'échantillon été râper)

2- Ajouter 75 ml d'éthanol neutralisé

3- Agiter et chauffer le mélange jusqu'à dissolution complète du savon.

4- Titrer en présence de 3 gouttes de phénolphtaléine avec l'acide sulfurique 0,1 N Jusqu'à disparition de la teinte rose.

5-Noter le volume V_1 d'acide nécessaire.

œ Chapitre IV œ
Résultats et discussions

IV. 1. Propriétés biologiques

Afin de connaître les potentialités de valorisation des extraits naturels d'origine marine, extraites à partir des espèces d'algues étudiées, une étude de leurs caractéristiques physico-chimiques, organoleptiques, et bactériologiques a été effectuée (Benabdallah *et al*, 2020). Leurs qualités et leurs puretés ont été comparées aux valeurs citées dans la norme du **Codex Alimentarius (1983)**.

IV. 1. 1. Rendement en huile

Tableau12 : Rendements en huiles des espèces d'algues étudiées

Espèces	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Gelidium sesquipedale</i>	<i>Caulerpe racemosa</i>
La masse			
Masse végétales fraîche (g)	10g	10g	10g
Masse végétale de l'extrait (g)	7.22g	6.49g	6.70g
Rendement %	3.61%	3.24%	3.35%

L'extraction que nous avons effectuée a été faite du mois avril à mai. Cette extraction des huiles d'algue faite par solvant (éthanol hexane) dans les phases, organique et aqueuse a permis de récupérer une certaine quantité d'huile comme indiqué sur la Figure ci-dessous.



Figure 30: Trois huiles d'algues obtenues après les extractions.

Le (Tableau12) illustre la biomasse fraîche totale de 10g pour chacune des trois algues (*Ulva lactuca*, *Gelidium sesquipedale* et *Caulerpa racemosa*), cette masse diminue après le séchage pour les trois échantillons des algues.

Le rendement obtenu dans notre expérimentation est de (3.61%) pour *Ulva lactuca*, (3.24%) de *Gelidium sesquipedale*, et (3.35%) *Caulerpa racemosa*, est considéré comme un rendement faible par rapport les autres huiles végétales. On explique ceci par l'influence de la technique d'extraction et, l'influence du cycle végétatif sur le rendement et la qualité des huiles des trois d'algues (Bouhatem et al, 2010).

IV. 1. 2. Résultats des caractéristiques organoleptiques des huiles d'algues

Le caractère organoleptique est un caractère très important pour déterminer la qualité des huiles, le (Tableau 13) ; présente les caractéristiques organoleptiques des huiles des trois algues étudiée.

Tableau 13 : Caractéristiques organoleptiques des huiles d'algues.

Origine	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Gelidiumsesquipedale</i>	<i>Caulerpa racemosa</i>
Caractère			
• Couleur	Vert foncé au noir	Jaune intense	Vert claire
• Aspect	Pâteux	Pâteux	Pâteux
• Odeur	Fort et désagréable	Fort et désagréable	Fort et désagréable

Le tableau ci dessus illustre les caractéristiques organoleptiques des huiles des trois d'algues. On remarque que les trois huiles d'algues semblent présenter le même aspect (viscosité, fluidité, etc.) et exaltent sensiblement la même odeur, mais des couleurs différentes ; dues aux différents pigments de chaque espèce.

IV. 2. 1. Résultat des Caractères physiques

IV. 2. 1. 1. Indice de réfraction

Les mesures ont été effectuées avec un réfractomètre et une température fixée à 20°C. Le tableau ci-dessous résume les résultats de l'indice de réfraction des huiles d'algues analysées :

Tableau 14: Résultats de l'indice de réfraction des huiles des trois algues analysées.

Espèces	<i>Ulvalactuca</i>	<i>Gelidium sesquipedale</i>	<i>Caulerpa racemosa</i>
Réfraction	1,468	1,471	1,462
IR C.A	[1,4677 – 1,470]		

On comparant ces valeurs à ceux de la norme du code alimentaire (C.A) des huiles d'olivier , on remarque que *Ulva lactuca* (1,468), *Gelidium sesquipedale* (1,471), les deux échantillons analysés sont compris dans l'intervalle du C.A. Cependant, le *Caulerpa racemosa* (1,462), ils sont un peu supérieurs à la norme établie par le C.A Ce qui nous permet de déduire en générale que ces huiles sont conformes aux normes définies par le C.A des huiles oliviers.

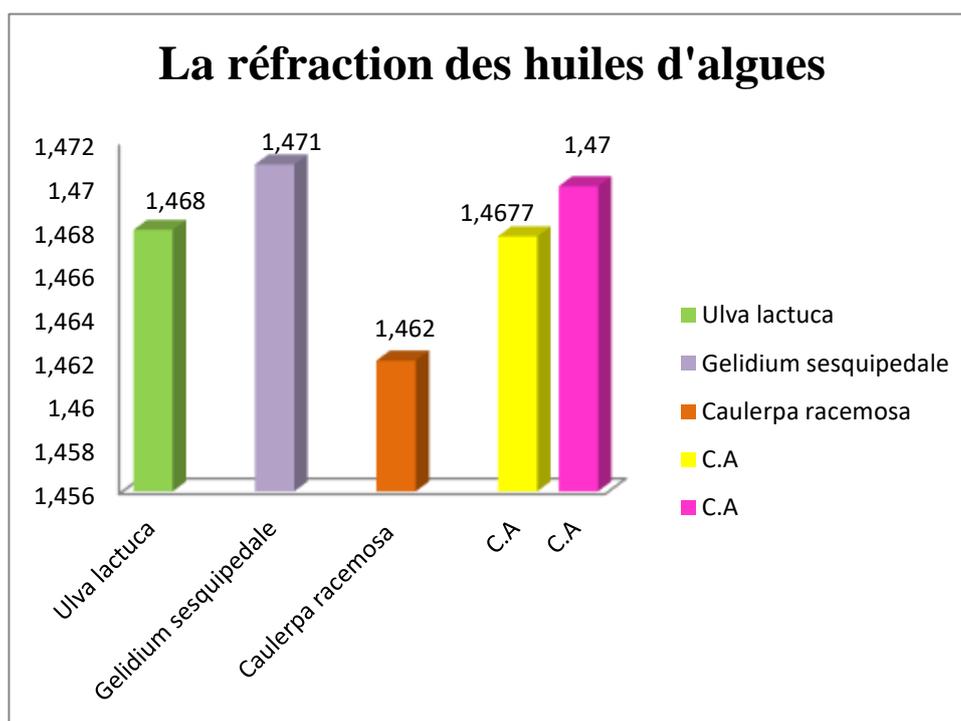


Figure 31: Représentation graphique des résultats de la réfraction des huiles

IV. 2. 1. 2. Potentiel d'hydrogène

Le pH est le degré d'acidité et d'alcalinité des huiles d'algues, Lorsque le pH est à 7, il est neutre. Il devient acide à mesure qu'il descend en dessous de celui-ci et l'alcalinité augmente à mesure qu'il monte au-dessus de celui-ci. La plupart des huiles sont légèrement alcalines, pH 8,5 à 9 (<https://www.atago.net/fr>).

Tableau 15: Les pH des huiles des trois algues

Espèces	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Gelidium sesquipedale</i>	<i>Caulerpa racemosa</i>
pH	7.12	8.38	7

Le (Tableau 15) illustre les résultats montrant que ces huiles d'algue ont des pH neutres pour *Ulva lactuca* (7.12), *Caulerpa racemosa* (7), et acide pour *Gelidium sesquipedale* (8.38), (Figures 31) ce qui nous permet de dire que le taux d'acidité est relatif avec le potentiel d'hydrogène. En outre, plus le pH est élevé plus le taux d'acidité est faible (<https://www.atago.net/fr>).

IV. 2. 1. 3. La teneur en eau

Tableau 16 : La teneur en eau des huiles d'algues

Espèces	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Gelidium sesquipedale</i>	<i>Caulerpa racemosa</i>
Teneur en eau %	0.19	0.13	0.17

La teneur en eau et en d'huiles d'algues étudiées est très faible variant de 0,19% *Ulva lactuca*, 0.13% de *Gelidium sesquipedale*, 0.17% de *Caulerpa racemosa*. Illustre dans la (figure 32)

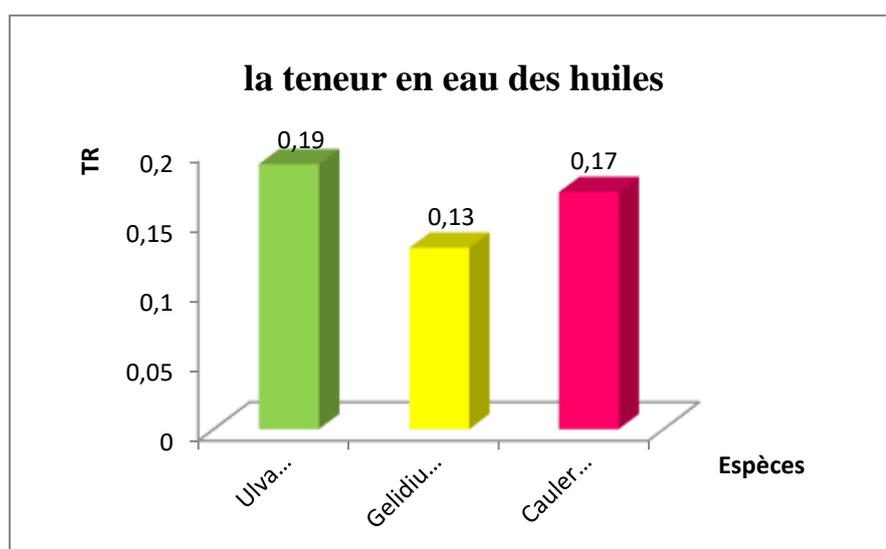


Figure 32: Représentation graphique des résultats de la teneur en eau des huiles

IV. 2. 3. Caractères chimiques

IV. 2. 3. 1. Indice d'acidité

Le (Tableau17) au dessus résume le virage de couleur avec le volume de NaOH versé ainsi que la valeur de l'acide dans les trois échantillons étudiés provenant du littoral jjielien.

Tableau 17: Valeur de l'indice d'acide et les virages de couleurs.

Espèces		Huiles d' <i>Ulvalactuca</i>	Huiles de <i>Gelidiumsesquipedale</i>	Huiles de <i>Caulerpa racemosa</i>
Masse de la pris d'essais (g)		2.5g	2.5g	2.5g
Volume de NaOH versé (ml)		2.3	2.5	2.3
Couleur	Avant dosage de NaOH 95%	Vert noir	Jaune intense	Vert claire
	Après dosage de NaOH 95%	Violacé	Violacé	Violacé
Valeur d'IA		4.4	4.8	4.4
Norme de C.A		Max 6,6mg de NaOH/g d'huile		

L'analyse de l'acidité libre des échantillons étudiés a donné les résultats dans le (Tableau 17) et (figure33) (*Ulva lactuca* (4.4mg/g), *Gelidium sesquipedale* (4,8mg/g), *Caulerpa racemosa* (4,4mg/g).On remarque que l'acidité des huiles d'algues inferieur à la norme des huiles olivier (C.A).

L'acidité est le pourcentage en poids d'acide oléique libre par rapport à la quantité totale d'huile est reflète la quantité de ces acides gras libres contenus dans l'huile, donc l'acidité est un indicateur général de la qualité des huiles (<https://www.aceitedelasvaldesas.com>) d'algues. On peut dire que les huiles pour les trois algues sont plutôt bonnes, Bien que différent avec la norme des huile olivier. (<https://www.aceitedelasvaldesas.com>)

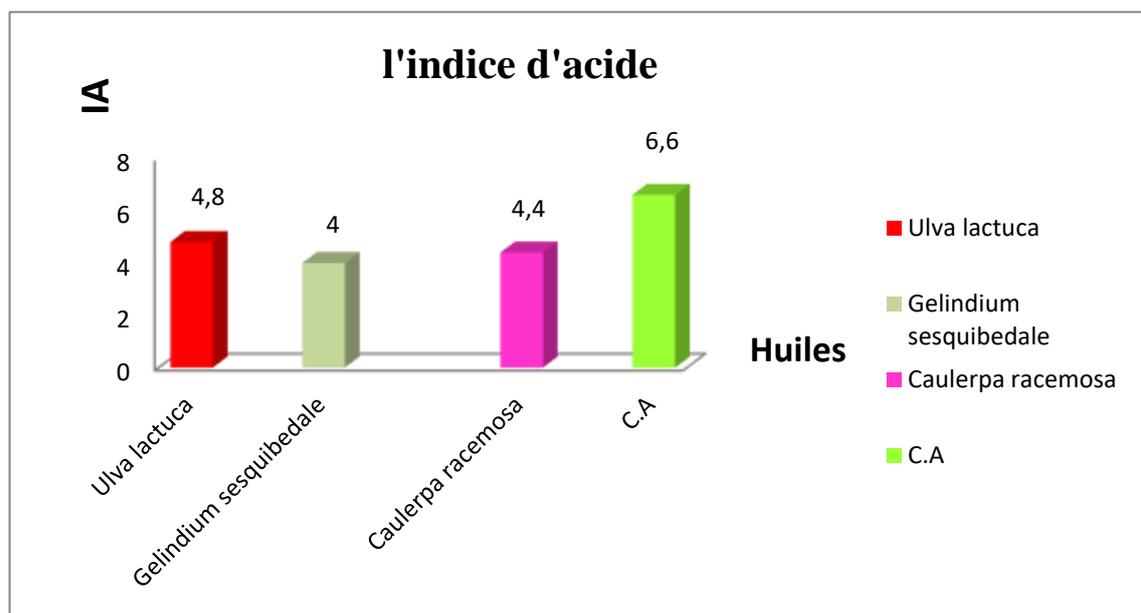


Figure 33: Représentation graphique des résultats d'acidité des huiles d'algues

IV. 2. 3. 2. Indice d'iode

Permet de caractériser et de connaître le degré d'insaturation d'un corps gras. Les résultats de l'indice d'iode des huiles analysées sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 18: Valeur de l'indice d'iode et les virages de couleurs

Echantillon		<i>Huile d'Ulvalactuca</i>	<i>Huiles de Geli-diumsesquipedale</i>	<i>Huiles de Caulerpe racemosa</i>
La masse de pris d'essais (g)		0.4g	0.4g	0.4g
Volume de Na ₂ S ₂ O ₃		6.3	8	7.1
Couleur	Avant le dosage	Vert noir	Jaune foncé	Vert claire
	Après dosage par l'iodure de potassium	Jaune	Jaune	Jaune
	Goutte d'empois d'amidon	Rose	Rose	Rose
II		59.85	21.57	22.71
C.A		92 – 102		

Les valeurs de l'indice d'iode montrent que les huiles d'algues d'*Ulva lactuca* (59.85), *Gelidium sesquipedale* (21.57), et *Caulerpa racemosa* (22.7) représentées dans le (Tableau 18) et (Figure 34), sont inférieures à la limite établie par la norme des codes alimentaires des huiles d'olivier [92 – 102], donc l'insaturation de matière grasse est faible.

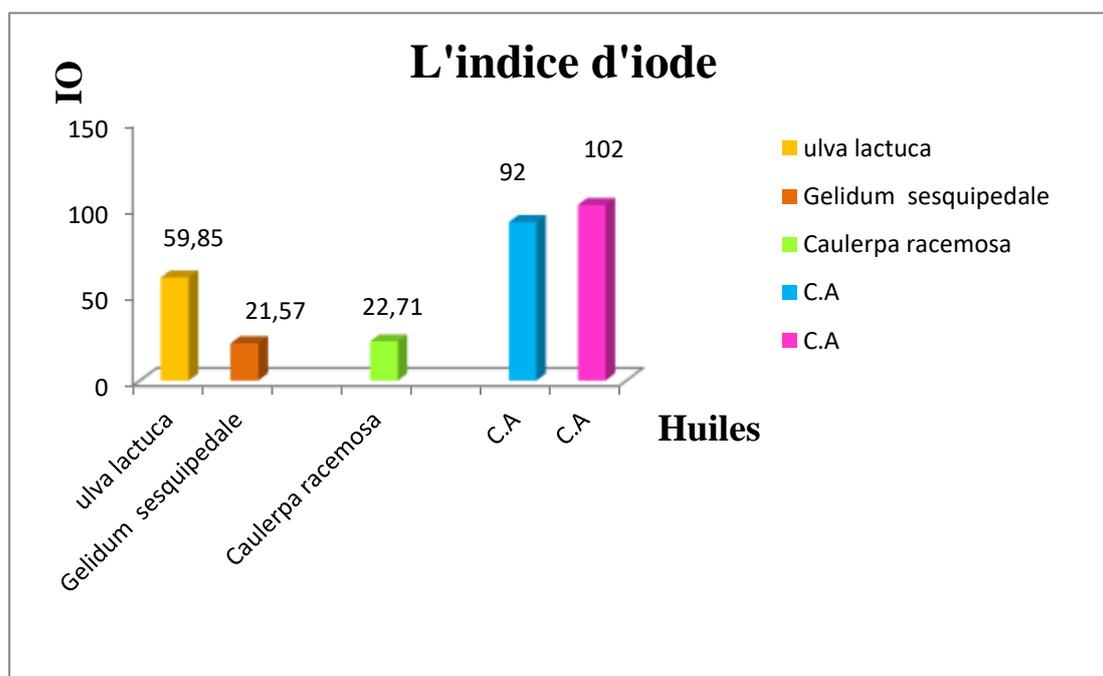


Figure 34: Représentation graphique des résultats de l'indice d'iode

IV. 2. 3. 3. Indice de saponification

L'indice de saponification d'un corps gras est d'autant plus élevé que la chaîne carbonée des acides gras courts (Lion, 1955). Les résultats de saponification des huiles analysées sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 19 : Valeur de l'indice de saponification

Espèces	Huiles d' <i>Ulva lactuca</i>	Huiles de <i>Gelidium sesquipedale</i>	Huiles de <i>Caulerpa racemosa</i>
Masse de pris d'essai	2g	2g	2g
Volume de HCl	12.5	11.5	11
IS	175	189	196
C.A	184 -196		

L'indice de saponification est un paramètre majeur utilisé pour la caractérisation et l'évaluation de la qualité des graisses. De plus, l'indice de saponification renseigne sur la masse moléculaire moyenne de tous les acides gras présents. Plus l'indice de saponification est élevé, la masse moléculaire de tous les acides gras sera basse (<https://www.metrohm.com/fr>)

Les valeurs regroupées dans le (Tableau19) et présentés sur la (Figure 35) montrent que,(175) de *Ulva lactuca*,(189) de *Gelidium sesquipedale*,(196) de *Caulerpa racemosa* sont conformes à la norme de code alimentaire des huiles d'olivier (C.A).

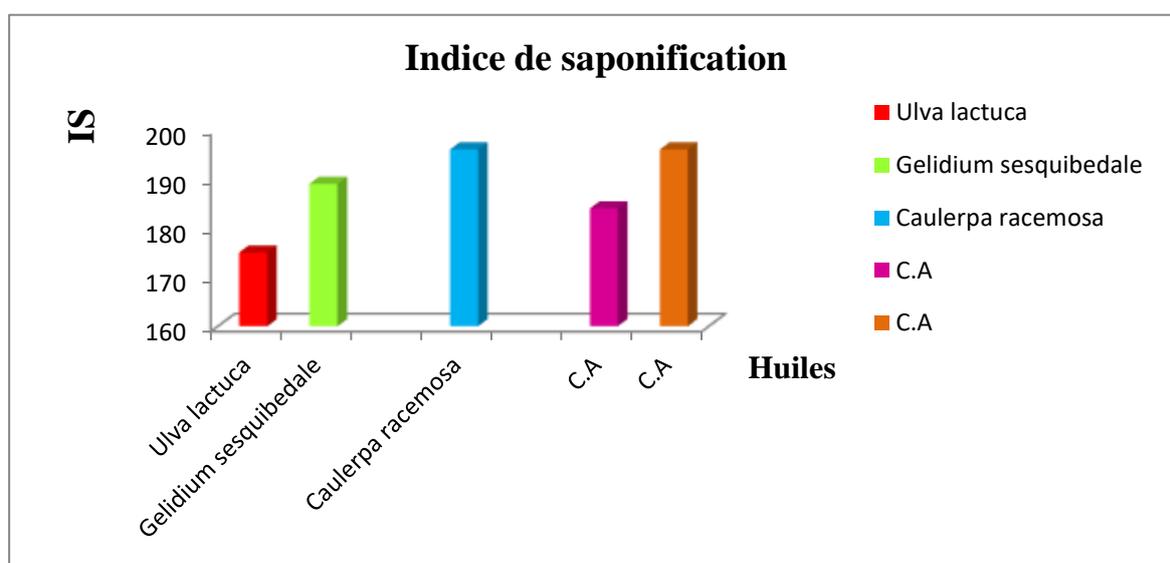


Figure 35:Représentation graphique des résultats de l'indice de saponification

IV. 2. 3. 4. Indice d'ester

Le tableau 21 montre les valeurs de l'indice d'ester, le volume d'HCl versé ainsi que le virage de couleur.

Tableau 20: Valeur de l'indice d'ester.

Espèces	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Gelidium sesquipedale</i>	<i>Caulerpa racemosa</i>
IS	175	189	196
IA	4.4	4.8	4.4
IE	170.6	184.2	191.6

Par comparaison à la valeur de l'indice d'ester des huiles d'algues *Ulva lactuca*(170.6), *Gelidium sesquipedale* (184.2), *Caulerpa racemosa* (191.6) (**Tableau 20**), et (**Figure 36**), on remarque que les trois huiles d'algues sont à l'intervalle de indice de saponification, soit [184 -196]ce qui veut dire que cette huile contient peu de quantité d'acides gras libres (**Novidzro et al, 2019**).

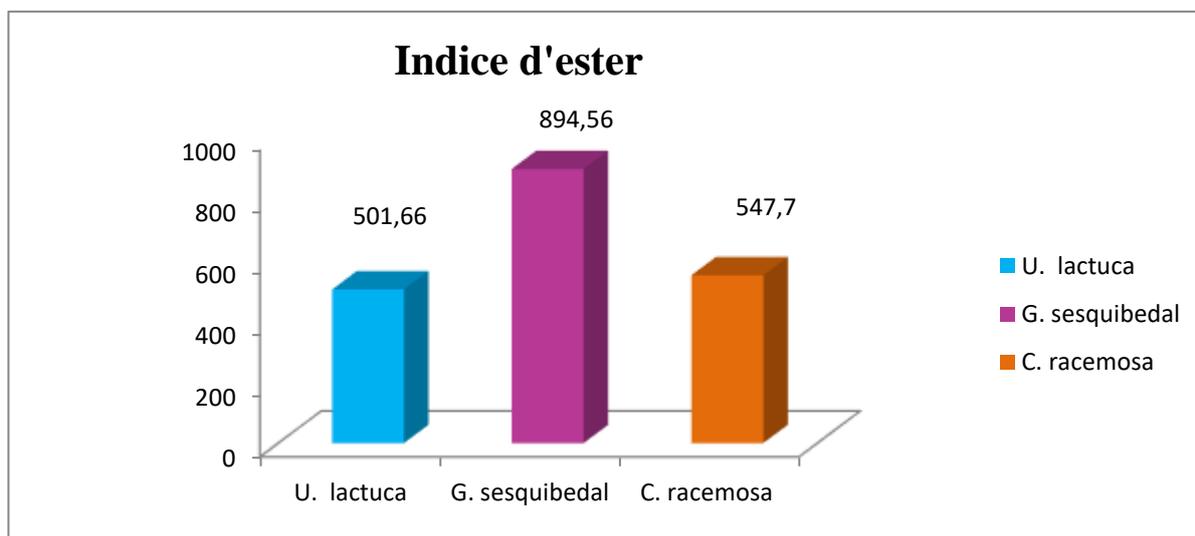


Figure 36:Représentation graphique des résultats de l'indice d'ester

IV. 2. 3. 5. Indice de peroxyde

Indice de peroxyde (IP) : Les résultats obtenus pour la teneur en peroxyde sont représentés sur le (**Tableau 21**) et sont exprimés en milliéquivalent d'oxygène actif par kilogramme d'huile (meq O₂ actif /Kg des huiles d'algues).

Tableau 21: Valeur de l'indice de peroxyde

Huile d'algue	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Gelidium sesquipedale</i>	<i>Caulerpa racemosa</i>
I.P	7,38	10,40	14,12
C.A	20meq d'O ₂ /Kg d'huile		

On remarque que l'indice de peroxyde (IP) de *Ulva lactuca* (7,38meq /kg), *Gelidium sesquipedale* (10,40 meq /kg), et *Caulerpa racemosa* (14,12 meq /kg) sont inférieures à la limite établie par la norme des codes alimentaires des huiles d'olivier ce qui explique peut être une faible oxydation des huiles d'algues (**Pouyet et Ollivier, 2014**).

L'oxydation d'une huile est liée à son exposition à l'air, à sa composition en acides gras insaturés, et est favorisée par la lumière et la chaleur. Les conditions de stockage des huiles sont donc,

particulièrement sensibles. C'est le processus majeur de dégradation des huiles qui aboutit au stade final à la rupture des chaînes d'acides gras (Pouyet et Ollivier, 2014).

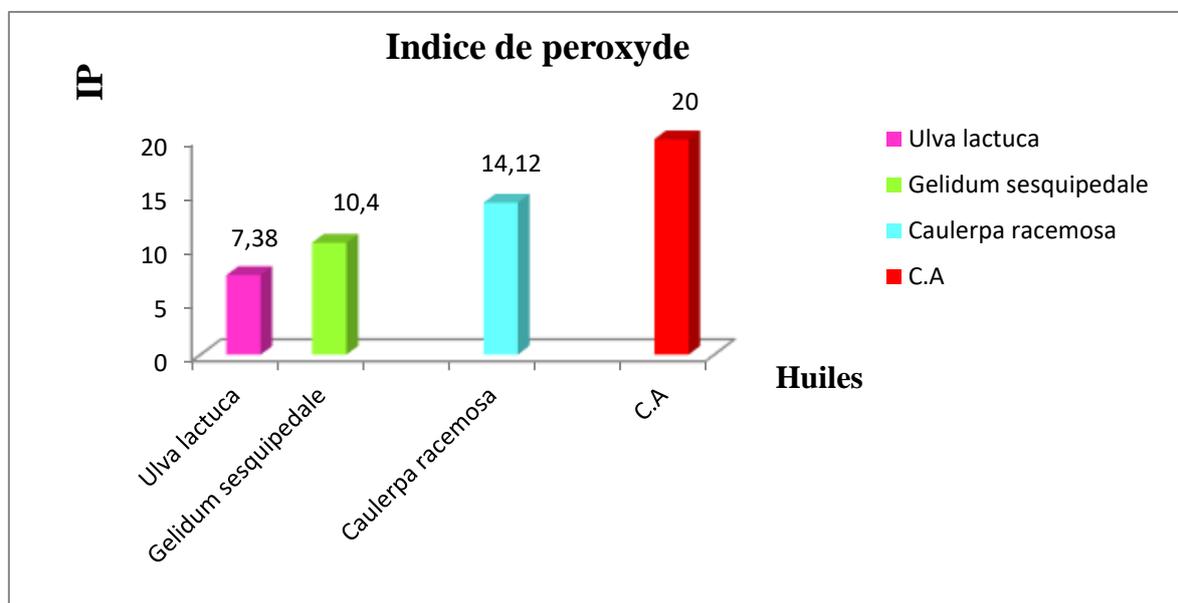


Figure 37: Représentation graphique des résultats de l'indice de peroxyde.

IV. 2. 4. La chromatographie en phase gazeuse (CPG)

L'identification des différents composés, est réalisée en se basant sur les banques des données spectrales ainsi que sur les données de la littérature, nous avons pu identifier avec exactitude 13 produits pour l'extrait d'*Ulva lactuca*, et 18 pour *Gelidium sesquipedale*, et 16 pour *Caulerparacemosa*.

Les résultats de l'analyse par chromatographie gazeuse liée à la spectrométrie de masse (GC/MS) de la composition chimique des huiles d'algues sont présentés dans les tableaux suivants avec les synonymes des composés des huiles (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>).

Tableau 22: Composition chimique des huiles d'*Ulvalactuca*

<u>Peak#</u>	<u>R.Time</u>	<u>Area%</u>	<u>Name</u>	<u>formule</u>	<u>synonymes</u>
1	10.390	5.00	Cyclohexanol, 2-(1-methylethyl) -	C ₉ H ₁₈ O	Cyclohexanol, 2-isopropyl
2	10.944	3.26	1-Heptanol, 6-methyl-	C ₈ H ₁₈ O	Isooctanol

3	21.130	3.55	2,4- Decadienal, (E, E)	C ₁₀ H ₁₆ O	trans-4-Decadienal
4	40.700	5.46	Hexadecanoic acid, methyl ester	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Palmitic acid
5	41.718	2.69	Phthalic acid, 4-bromophenyl heptyl ester	C ₂₃ H ₂₇ BrO ₄	Phthalic acid, 4-bromophenyl heptyl ester
6	42.081	1.64	Hexanoic acid, 2,4-dimethyl-, methyl ester, [S-(R*, R*)]-	C ₉ H ₁₈ O	2,4-Diméthylhexanoate de méthyle
7	43.670	11.74	n-Hexadecanoic acid	C ₁₆ H ₃₂	Pentadecanecarboxylic acid
8	44.379	29.76	8-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	Methyl 8-octadecenoate
9	45.057	11.90	3, 7, 11,15-Tetramethyl - 2-hexadecen-1-ol	C ₂₀ H ₄₀	Phytal
10	45.557	4.26	9-Octadecenoic acid, ethyl ester	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	Ethyl elaidate
11	45.632	8.15	9,12- Octadecadienoic acid, ethyl ester	C ₂₀ H ₃₆ O ₂	Ethyl octa-9,12-decadienoate
12	47.023	4.78	Octadec-9-enoic acid	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	oleic acid
13	47.116	7.81	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Linoleic acid
		100.00			

Le (Tableau 22) illustre les les fractions des huiles d'algues caractérisées par la présence des composé tels que le Hexadecanoic acid, methyl ester (5.46%), n-Hexadecanoic acid (11.74%), 8-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)- (29.76%), 9,12- Octadecadienoic (11.90%), 9,12- Octadecadienoic (8.15%), Linoleic acid (7.81%). Ces composés sont considérés comme les principaux composés identifiés dans les huiles d'algues qui montrent la présence de trois pics enregistrés à des

temps de rétention 43.670min, 44.379min, 45.632min, et qui correspondent à la forme des composés les plus concentrés dans l'huile d'algues.

Tableau 23: Compositions des *Gelidium sesquipedale*

Pea k #	R.Time	Area %	Name	formule	Synonymes
1	2.675	0.46	Oxalicacid, isobutyl pentyl ester	C ₁₁ H ₂₀ O ₄	2-methylpropyl pentyl ethanedioate
2	3.436	0.42	.alpha. -phellandrene		
3	5.843	0.39	Cyclobutane, 1,3- diisopropenyl-, trans	C ₁₀ H ₁₆	
4	14.861	0.66	3-Cyclohexene -1-methanol, .alpha.,.alpha.4-trimethyl	C ₁₀ H ₁₉ N	2-(4-Methyl-3-cyclohexen-1-yl)-2-propanamine
5	16.863	1.79	Pulegone		
6	23.068	7.98	3-Methyl-4-isopropylphenol	C ₁₀ H ₁₄ O	Phenol, 3-methyl-4
7	32.500	2.61	Sulfurous acid, 2-ethylhexyl isohehyl ester	C ₁₄ H ₃₀ O ₃ S	Sulfurous acid, 2-ethylhexyl isohehyl ester
8	40.438	0.30	3-Hexene, 3-ethyl-2,5-dimethyl-	C ₁₀ H ₂₀	(3E)-3-Ethyl-2,5-dimethyl-3-Hexene
9	40.697	9.68	Hexadecanoic acid, methyl ester	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Palmitic acid
10	41.721	1.61	1,2- Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	Phthalic acid
11	43.674	3.47	n-Hexadecanoic acid	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Cetylic acid
12	43.771	1.64	Phthalicacid, 6-ethyl-3-octyl butyl ester	C ₂₂ H ₃₄ O ₄	Phthalicacid, 6-ethyl-3-octyl butyl ester
13	44.378	43.39	9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	Elaidic acid

14	44.691	2.07	Octadecanoic acid, methyl ester	C ₁₉ H ₃₈ O ₂	Methyl stearate
15	45.054	1.17	Citronellyl isobutyrate	C ₁₄ H ₂₆ O ₂	Citronellyl 2-methylpropanoate
16	47.121	5.10	9,12-Octadecadienoic acid (Z, Z)-	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	(9E,12Z)-linoleic acid
17	49.993	12.62	2,6, 10,14, 18, 22-Tetracosahexaene, 2, 6, 10, 15,19, 23-Hexamethyl- (all-E)-	C ₃₀ H ₅₀	Super Squalene
18	5.785	4.64	Phenol, 4, 4'- (1-methylethylidene) bis	C ₁₅ H ₁₆ O ₂	Phenol
		100.00			

Le tableau ci-dessus présente la fraction des huiles d'algues *Gelidium sesquipedale*, elle est caractérisée par la présence des composés tels que le 3-Methyl-4-isopropylphenol (7.98%) avec un temps de rétention 23.068, Hexadecanoic acid, methyl ester (9.68%), n-Hexadecanoic acid (3.47%), 9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)- (43.39%), 9,12-Octadecadienoic acid (Z, Z)-(5.10%), Super Squalene (12.62%), Phenol(4.64%). Ces composés sont considérés comme les principaux composés identifiés dans les huiles d'algues de *Gelidium sesquipedale* qui montrent la présence de trois pics enregistrés à des temps de rétention 23.068 min pour le pic 6, 40.697min pour le pic 9, 44.378min pour le pic 13, et qui correspondent à la forme des composés les plus concentrés dans l'huile d'algues, et le dernier pic 13 qui suppose à donner une activité bactérienne avec le *Staphylococcus aureus*.

Tableau 24: Composition de *Caulerpa racemosa*

Peak #	R.Time	Area%	Name	formule	Synonymes
1	6.292	3.03	3-Hexane, 2, 5-dimethyl-	C ₁₈ H ₁₄	2,5-dimethyl-2-heptene
2	12.929	3.76	p- Menthone	C ₁₀ H ₁₈ O	(2S, 5R)-2-isopropyl-5-methylcyclohexanone

3	13.566	1.25	Cyclohexene, 5- methyl-2-(1methylethyl)-, (2s-trans)-	C₁₀H₁₈O	p- Menthone
4	19.641	5.80	1-Octyne	C₈H₁₄	Hexylacetylene
5	20.128	2.84	Cyclohexene, 3-pentyl-	C₁₁H₂₀	3-Pentyl-1-cyclohexene
6	20.686	9.25	2, 4-Nonadienal (E, E)-	C₉H₁₄O	4-dienal
7	2.094	8.21	2, 4-Nonadienal (E,E)-	C₉H₁₄O	(2E,4E)-nona-2,4-dienal
8	22.820	3.24	3-Methyl-4isopropylphenol	C₁₀H₁₄O	Biosol
9	23.598	3.17	Germarene		
10	40.675	4.41	Hexanoic acid, methy ester	C₇H₁₄O₂	Methyl caproate
11	41.705	1.33	Phthalic acid, 4-bromophenyl heptyl ester	C₂₃H₂₇BrO₄	Phthalic acid
12	43.651	5.69	n- Hexanoic acid	C₆H₁₂O₂	Capronic acid
13	44.359	11.17	9-Octadenoic acid, methyl ester(,5)	C₁₉H₃₆O₂	Oleic acid
14	47.003	2.80	Octadec-9-enoic acide	C₁₈H₃₄O₂	Oleic Acid-13C
15	47.100	12.01	9,12 - Octadenoic acid (Z, Z)	C₁₈H₃₂O₂	Octadeca-9
16	49.976	22.00	Spinacen		

La fraction des huiles d'algues *Caulerpa racemosa* est caractérisée par la présence des composés tels que le 2, 4-Nonadienal (E, E)-(9.25%) pour le pic **6** et 8.21%) pour le pic **7**, Methyl caproate (4.41%), Capronic acid (5.69%), Oleic acid(11.17%), Octadeca-9(12.01%). Ces composés sont considérés comme les principaux composés identifiés dans les huiles de cette algue, qui montrent la présence de trois pics enregistrés à des temps de rétention 44.359min, 47.003min, 49.976min, et qui correspondent à la forme des composés les plus concentrés dans cette huile d'algue.

On peut conclure que les compositions des trois huiles d'algues sont différentes, et cette différence s'explique par les variabilités des composés biochimiques, selon les espèces, la saison, les

conditions de croissance et de stress (habitat, courant, lumière, etc.) ainsi que la période de récolte et le traitement après récolte (Grégory, 2015).

IV. 2. 6. Evaluation de l'activité antimicrobienne des huiles d'algues par la méthode de l'antibiogramme.

Les résultats de l'activité antimicrobienne d'huile d'algues (*Ulva lactuca*, *Gelidium sesquipedale*, *Caulerpa racemosa*) sur les souches de référence ATCC par mesure de diamètre d'inhibition de la croissance des microorganismes sont démontrés dans le tableau suivant :

Tableau 25: L'activité antimicrobienne des huiles d'algues.

<i>Espèce /huile</i>	Gram des souches	<i>d'Ulva lactuca</i>	<i>Gelidium sesquipedale</i>	<i>Caulerpa racemosa</i>
Souche		Diamètre d'inhibition	Diamètre d'inhibition	Diamètre d'inhibition
<i>Escherichia coli</i>	-	(-)	(-)	(-)
<i>Staphylococcus aureus</i>	+	(-)	12.5mm	(-)
<i>Pseudomans aeruginosa</i>	-	(-)	(-)	(-)

D'après ces résultats, on note que l'huile d'algues (*Ulva lactuca*, *Caulerpa racemosa*) ne présente aucun effet inhibiteur vis-à-vis les souches de référence d'*E. coli*, *P. aeruginosa* et *S. aureus*. Par contre l'huile de *Gelidium sesquipedale* présente un effet inhibiteur sur la souche de référence *S. aureus* avec une zone d'inhibition faible de 12.5mm de diamètre et n'a donné aucun effet inhibiteur vis-à-vis des souches d'*E.coli*

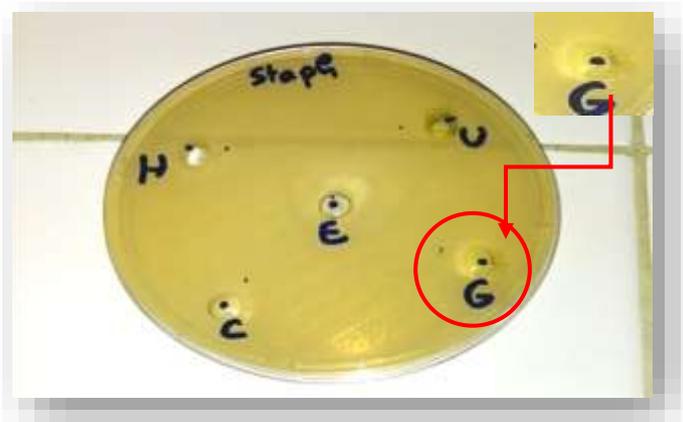


Figure 38: Résultat du test de puits de différentes huiles avec la souche de référence de *Staphylococcus aureus*.

L'inhibition de la croissance microbienne est proportionnelle au diamètre de la zone d'inhibition présent dans le (Tableau 26)(Solis et al, 2004).

Tableau 26 : Diamètre d'inhibition

Diamètres d'inhibition	Dz > 30mm	30>Dz > 21	21>Dz >16	16>Dz >11	Dz <11
Zone d'inhibition	Très fortement inhibitrice	Fortement inhibitrice	Modérément inhibitrice	Légèrement inhibitrice	Non inhibitrice

Dz : Diamètres d'inhibition

D'après le tableau si dessus, l'effet inhibiteur sur la souche de référence *Staphylococcus aureus* par le *Gelidium sesquipedale* est égale à 12.5mm donc l'activité bactérienne est légèrement inhibitrice. La différence dans les résultats obtenus pour l'activité antimicrobienne chez ces algues marines montre l'implication des facteurs intrinsèques de l'espèce et des facteurs environnementaux dans le métabolisme des algues et qui affectent de façon notable la présence de tel ou tel composé bioactif responsable de ces activités (Faride et al, 2009).

La lumière et la température sont à l'origine d'une variation saisonnière et spatiale de la flore algale, elles agissent aussi bien sur la croissance des algues que sur leurs caractères morphologiques. La température dont les fluctuations sont essentiellement liées aux saisons, constitue un facteur déterminant du cycle saisonnier de la flore marine (Faride et al, 2009).

IV. 2. 7. Résultat de fabrication de savon

IV. 2. 7. 1. Le potentiel hydrogène pH

Le potentiel hydrogène est un test très importante pour le savon

Tableau 27: test de potentiel hydrogéné (pH) pour les deux savons

Savon	pH
<i>Ulva lactuca</i>	8.5
<i>Gelidium sesquipedale</i>	7.5
<i>Caulerpe racemosa</i>	8
Savon industriel	7

D'après les résultats présents dans le (Tableau 27) et (Figure 39) on remarque que la valeur de pH de notre échantillon de savon à base d'algues *Ulva lactuca* (pH=8.5), *Gelidium sesquipedale* (pH=7.5), et *Caulerpa racemosa* (pH=8) voisine de celle du savon industriel (pH=7). Ces valeurs sont conformes à la norme des savons qui tourne autour de 7 à 10. Donc notre produit des trois échantillons est jugé conforme aux normes de fabrication des savons. Un pH>7,5 donne des émulsions d'huile et de l'eau de grandes stabilités.

(<http://lescosmetiquesdelilith.blogspot.com>).

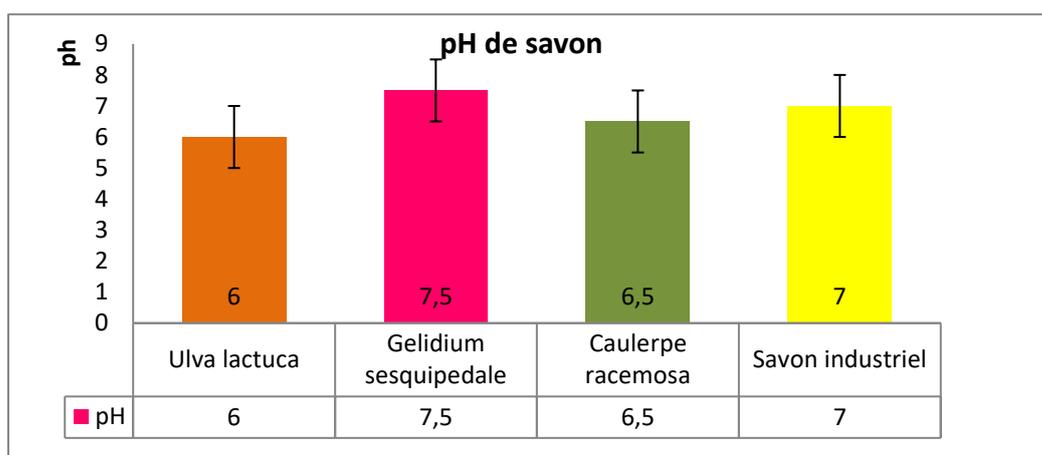


Figure 39 : pH de savon

IV. 2. 7. 2. Pouvoir moussant

Une **mousse** est une dispersion de bulles de gaz (azote, gaz carbonique, air) dans une phase continue (renfermant des protéines), liquide ou solide produite par agitation mécanique. Elle est caractérisée par une viscosité élevée. Il existe aussi des mousses solides pour lesquelles une phase solide ou un gel remplace le liquide une fois la dispersion est réalisée (<https://biom-agro.unv-lille.fr>).

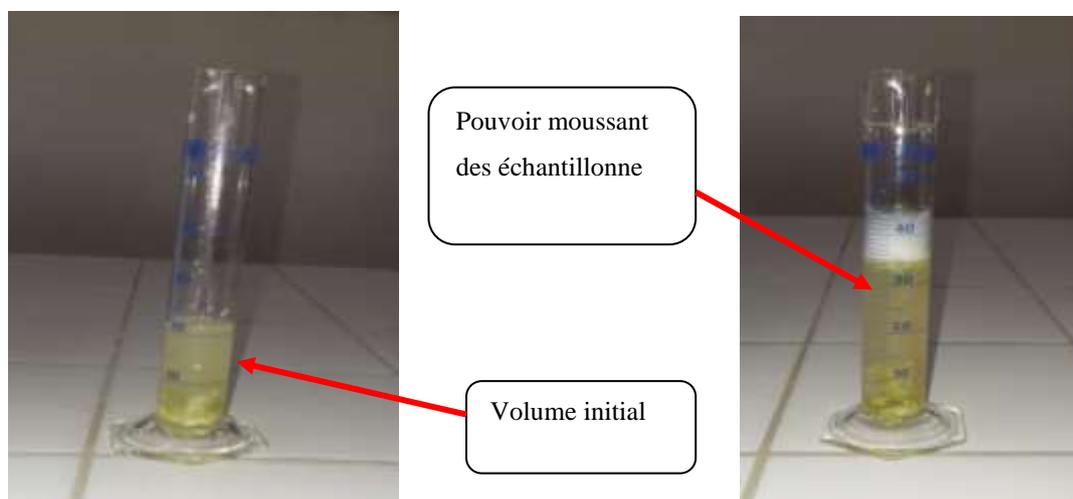


Figure 40: photos du teste pouvoir moussant de notre savon

Tableau 28: Pouvoir moussant du savon

Savon	pouvoir moussant
volume initial	20ml
Savon d' <i>Ulva lactuca</i>	40ml
Savon de <i>Gelidium sesquipedale</i>	40ml
Savon de <i>Caulerpa racemosa</i>	45ml
Savon industriel	60ml

Les résultats de test de pouvoir moussant, présents dans le (Tableau28) effectué sur notre savon et sur le témoin illustré dans (figure40) fait ressortir que le témoin présente un pouvoir moussant de 60 ml tant dis que le savon fait avec les huiles de base d'algue est de 40ml pour *Ulva lactuca* et *Gelidium sesquipedale* et de 45ml pour *Caulerpa racemosa*. Cette différence est due à l'ajout de tensions actives au témoin qui augmentent l'effet moussant des savons.

La mousse n'est donc pas un agent lavant, ni une preuve d'efficacité. Il est possible d'avoir des soins très efficaces avec peu de mousse, notamment dans les shampoings à base de plantes. Néanmoins, la mousse facilite la répartition d'un produit cosmétique et évite de multiplier les frottements sur le corps ou le cuir chevelu (<https://biom-agro.unv-lille.fr>).

IV. 2. 7. 3. Alcalinité libre de savon

Tableau 29 : Résultats du test d'alcali libre de notre savon et du témoin

Type de Savon	L'alcalinité libre (%)
Savon d' <i>Ulva lactuca</i>	0.04%
Savon de <i>Gelidium sesquipedale</i>	0.03%
Savon de <i>Caulerpa racemosa</i>	0.06%
Savon industriel	0.04%

On remarque que la teneur en alcalinité de notre savon est de 0.04% pour le savon d'*Ulva lactuca* et 0.03% pour le *Gelidium sesquipedale*, et 0.06% pour le *Caulerpa racemosa* la valeur d'alcalinité 0.04% (Tableau29, Figure 41) de savon d'*Ulva lactuca* est comparable à celle du témoin ; celle de *Gelidium sesquipedale* 0.03% est proche de celle du témoin 0.04%. Ces valeurs se rapprochent des normes 0,02 et 0,08%.

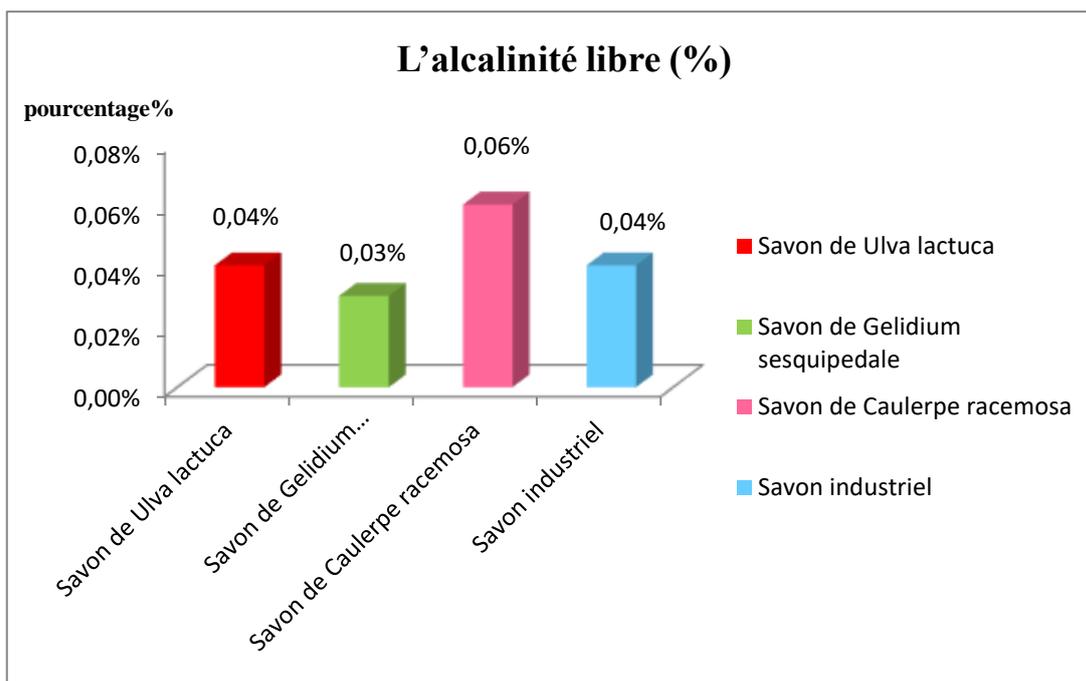


Figure 41: Alcalinité libre de savon

Conclusion

Conclusion

Le présent travail s'oriente vers une voie de valorisation très peu exploitée en Algérie. Il vise à étudier les potentialités naturelles des algues marines qui forment une source intéressante et très prometteuse de substances biologiquement actives. La recherche entreprise englobe une étude des caractéristiques physicochimiques et d'autre part, leur caractéristiques organoleptiques. et une évaluation bactériologiques des huiles d'algues *Ulva lactuca*, *Gelidium sesquipedale*, *caulerpa racemosa*, collectée au niveau des 5 stations, plage de **Tassoust, Troisième kilomètre, Beau marché, ElRabta, et Grand phare** de la wilaya de Jijel qui donne des résultats sur la répartition des quelques espèces de trois classe d'algues plus fréquentes sur la cote jijelienne.

Les résultats obtenus après différentes extractions nous ont permis de calculer le rendement en extrait brut évalué à 3.61% pour *Ulva lactuca* extrait d'éthanol, 3.24% pour *Gelidium sesquipedale*, 3.35% pour *Caulerpe racemosa* extrait de l'hexane qui donne un faible rendement des huiles avec les mêmes caractères organoleptiques à des trois algues.

Les indices de réfraction, les valeurs du pH et la teneur en eau sont conformes à la norme commerciale pour tous les échantillons étudiés dans ce projet de fin d'étude.

Sur le plan physique et chimique, nous pourrions entreprendre par le biais de dosages des quelques tests nous permettent de conclure que l'**Indice d'acidité et d'iode, Indice de peroxyde** des huiles d'algues sont inférieurs à la norme des codes alimentaires des huiles d'olivier, et l'indice de saponification sont conformes à la norme des codes alimentaire des huiles olivier.

Cependant des études plus approfondies semblent être nécessaires pour valoriser ce travail notamment une caractérisation qualitative plus fine par des techniques telles que la CPG des extraits d'algues qui donne des composée différents pour les trois huiles d'algues étudiées.

Pour les évaluations de l'activité antimicrobienne des huiles d'algues, par la méthode de l'antibiogramme a donné des résultats positifs sur le *Gelidium sesquipedale* avec une faible inhibition bactérienne *S .aureus* de 12.5mm de diamètre et n'a donné aucun effet inhibiteur vis-à-vis des souches d'*E.coli*, *P. aeruginosa*.

Les résultats obtenus après l'analyse de savon de base d'algues ont donné des valeurs voisines de pH industrielle et une valeur de pouvoir moussant inférieure à la norme de savon industriel, aussi les valeurs l'alcalise rapprochent des normes 0,02 et 0,08%.

Tous les échantillons étudiés ont des valeurs d'indice d'acide conformes aux normes établies par le C.A .D'après cette étude, nous pouvons dire qu'une l'huile d'algues de bonne qualité dépend de plusieurs facteurs. En effet, la nature de la variété, le climat, la récolte, le mode d'extraction, ce sont des facteurs déterminants de la bonne qualité de l'huile d'algues.

œRéférencesœ

A

- **Alem M, 2015.** Les compléments alimentaires à base d'algues. Thèse doctorat en pharmacie, Université Mohammed V-Rabat, 141P.
- **Amandine O, 2017.** Utilisation des algues dans les compléments alimentaires : usage et justifications scientifiques, thèse docteur en pharmacie, université Grenoble Alpes. 178P.

B

- **Barralon E, 2016.** Le manuel du plongeur biologiste les végétaux. Association Flabelline Plongée, 37P.
- **Bast F, 2014.** An Illustrated Review on Cultivation and Life History of Agronomically Important Seaplants. In Seaweed: Mineral Composition, Nutritional and Antioxidant Benefits and Agricultural Uses, Eds Vitor Hugo Pomin, 39-70. Nova Publishers, New York ISBN: 978-1-63117-571-8.
- **Benabdallah R, Jribi I, kolsi, Belghith ET.K. 2020.** Caractéristique physique-chimiques d'échantillons d'algues marines Tunisiennes. *N°36 ; 38 – 45.*
- **Bensalem Gh, 2015.** L'Huile de lentisque (*pistacia lentiscus*L) Dans L'est Algérien : caractéristiques physico-chimiques et composition en acides gras. Thèse Magister, université de Constantine1, 139 P.
- **Bensid R, Rommdhane M, El abed A, M'rabet R, 2013.** Recherche des facteurs les plus influents sur le rendement et la qualité de l'agar- agar de la rhodophycée *Gelidium spinosum* (S.G. Gmelin) P.C. Silva, *Afrique science* 113 – 130 ISSN 1813-548X, Tunis.
- **Bentaallah M, Kerfouf A, 2013.** Prolifération de l'algue *Caulerpa racemosa* dans les écosystèmes littoraux de l'Algérie : état des lieux et des connaissances. *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, volume VII-157.
- **Botany. 2001.** *Algae: Native Ulva lactuca* C Agardh 1823: University of Hawaii at Manoa.
- **Boudouresque C, Meinesz A, Verlaque M, Cabioc'h, Floc'h J-Y, Letoquin, 2006.** Guide des algues des mers d'Europe. Édition artes Graficas Toledoà Toledo, Espagne, 265P.
- **Bouhatem M, Hamaidi M, Saidi F, Hakim y, 2010.** Extraction, composition et propriétés physico-chimiques de l'huile essentielle du Géranium Rosat (*Pelargonium graveolens* L.) cultivé dans la plaine de Mitidja (Algérie).Revue « *Nature et Technologie* », N° 03-9-45.

- **Bouhatem M, Ferhat A, Kamili Ab, 2019.** Méthode d'extraction et distillation des huiles essentielle : Revue agrobiologie, ISSN : 21670 – 1652.

C

- **Cardenas J, 2016.** Les algues : de véritables concentrés de santé .disponible sur<https://www.doctissimo.fr/>.
- **Carré P, 1953.** Les huiles végétales c'est malin. Leduc.s Éditions, 22 août, 256P.
- **Caubergs L, 2006.** La fabrication de savon Aspects techniques, économiques et sociaux. Leuven, Belgique, 83P.
- **Chouikhi A, 2013.** Les applications potentielles des macroalgues marines et les activités pharmacologiques de leurs métabolites : Revue, usthb-fbs-4th International Congress of the Populations & Animal Communities “Dynamics & Biodiversity of the terrestrial & aquatic Ecosystems”"cipca4"TAGHIT (Bechar) – Algeria, 19-21.
- **Claude P, 2021.** Les algues marines.in : institue française de l'éducation, 120P.

D

- **Darribère T, Ducreux G, Salgueiro E, 2002.** Biologie et phylogénie des algues. Damas, France, 351p.
- **Dominguez H, Erwann P, 2019.** *Ulvalactuca*, A Source of Troubles and Potential Riches. Review, marine drugs, 17-357.
- **Douaa S, 2019.** Formulations éocompatibles d'extraits de l'algue verte *Ulva lactuca* pour la préservation des agrumes après récolte. Thèse doctorant, université de Toulouse, 220 P.

E

- **Elmtili N, Fakihi Kachkach F.Z, El Harchi M, 2014.** Les algues marines: nouvelle potentialité économique pour le Maroc. Quelle stratégie biotechnologique. Cahiers UAE, 8-9-1-7.

F

- **Facility GBI, 2013.** Map of *Ulva Rigida*.
- **Faride Y, Etahiris S, Assobhei O, 2009.** Activité antimicrobienne des algues marines de la lagune d'oualidia. (Maroc) : criblage et optimisation de la période de la récolte .J. Apple. /Biosci, 24, 1543-1552.
- **Feldmann J, L'Hardy-Halos Th, 2014.** La multiplication végétative chez les Algues: ses principaux aspects morphologiques, ISSN: 0037-894, France.

- **Feknous S, Saidi F, Mohamed Saïd R, 2013.** Extraction, caractérisation de quelques métabolites secondaire actifs des mélisses (*Melissa officinalis* L).
- **Fleurence F, Kaas R, 1999.** Les algues marines: une source méconnue de protéines végétales. *Equinoxe* 56: 12-7.

G

- **Garon D, Guéguen J, 2014.** Biodiversité et évolution du monde végétal. Institute klorane, France. 157p.
- **Giuseppe B, Veneziano V, Piccione V, 2019.** The alga *Ulva lactuca* (Ulvaceae, Chlorophyta) as a bioindicator of trace element contamination along the coast of Sicily, Italy. *Science of the Total Environment* 699 (2020) 134329, journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv.
- **Guiry M, 2011.** Algae base world electronic publication. National University of Ireland, Galway; disponible sur [http //www. Algae base. Com](http://www.algaebase.com).
- **Grégory H, 2015.** Valorisation des huiles et des fibres d'une algue brune (*Saccharina longicruris*) pour le marché des biomatériaux. [ttps://www.researchgate.net](https://www.researchgate.net).

H

- **Humbert L, Lhermitte M, 2005.** Molécules indétectables par chromatographie en phase gazeuse Service de Toxicologie et Génopathies, chru de Lille, France.

I

- **ISO 659, 1988.** Graines oléagineuses- détermination de la teneur en huile. International Organisation for Standardisation (ISO). Geneva.
- **ISO 684, 1974.** Analyse des savons - Détermination de la teneur en alcali libre total alcali libre total.

K

- **Khotimchenko S. V, 2003.** Distribution of glyceroglycolipids in marine algae and grasses. *Chem. Nat. Cmpd.* 38(3): 223-229.
- **Kang J, Jang J, Kim J, Byeon S, Kim S, Kyeong Choi S, Kang Y, Park S, Lee H, 2019.** Species composition, diversity, and distribution of the genus *Ulva* along the coast of Jeju Island, Korea based on molecular phylogenetic analysis. *plos one* 14(7): 0219958.

L

- **Lambert –servien E, cazaubon A, peltre M, Treyture C, 2008.** La connaissance des macroalgues : une première approche, paris .ingénieur N⁰ spécial 9-21,130P.
- **Lauret M, Oheix J, Derolez V, Laugier T, 2011.** Guide de reconnaissance et de suivi des Macrophytes des lagunes du Languedoc-Roussillon. Direction de la Ruralite, Parise, 148P.
- **Le Bras Q, Ritter L, Fasquel D, Lesueur M, Lucas S, Gouin S, 2014.** Etude de la consommation des algues alimentaires en France. Programme, idealg Phase1, Etude nationaleLes publications du Pôle halieutique agrocampus ouest N°35- 72 P.
- **Leclerc et Floc’h, 2012.**les secrets des algues. Édition Quae, 167P.
- **Lion Ph, 1955.** Travaux pratiques de chimie organique. Ed. Dunod, Paris.

M

- **Marfaing H, 2004.** Les algues dans notre alimentation : Intérêt nutritionnel et utilisations. CEVA, Dietecom Bretagne. Rev Nut. Prat. N⁰ 1-9.
- **Marfaing H, Lerat Y, 2007.** Les algues ont-elles une place en nutrition. Article de synthèse Des ressources marines, Numéro Hors-série: HS2–HS5.
- **Matanjum P, Mohamed S, Mustapha N-M, Muhammed K, 2009.** Nutrient content of tropical edible Seaweeds, *Eucheuma cottonii*, *caulerpa lentilifera* and *sargassum polycystum* .Journal of applied phycology, **75-80**.
- **Mediterraneo AM. 2015.** *Ulva lactuca*.
- **Mensi F, ksouri J, Hammami w, Romdhane M, 2014.** Etat de connaissances et perspectives de recherches sur la culture de gracilariales (*gracilaria* et *gracilariopsis*) application de la lagune de bizert, Tunisie.
- **Michael H, 2006.** Algue (en lige), In : l'Encyclopédie Canadienne, disponible sur <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/fr/article/algue-2>.
- **Mouradi A, Benhabrit O, Hassani M, Mouradi Ah, Bennis M, Givernaud T, 2006.** Analyse de la croissance et des variations morphologiques saisonnières de *Gelidium sesquipedale* (Turner) Thuret (Rhodophyceae, Gélidiales) de la côte atlantique marocaine. Journal *Afrique science*434 – 460 : ISSN 1813-548X.

N

- **Novidzro K, Wokpor K, Amoussou fagla B, Koudouvo K, Dotse K, osseyi O, Honoré koumaglo K, 2019.** Etude de quelques paramètres physicochimiques et analyse des éléments minéraux, des pigments chlorophylliens et caroténoïdes de l'huile de graines de *Griffonia simplicifolia*. Int. J. Biol. Chem. Sci. 13(4): 2360-2373.
- **Nozer'h Y, Paul Alayse J, 1997.** Les algues, édition Jean-Paul Alayse Gisserot, paris, 120P.
- **Nurhidayah Ab, Wan Ismahanisa I, FikrRoslan M, Mail M, CheLamin R, Ismail S, 2019.** Antibacterial Activity of Hoya diversifolia Ethanolic Leaves Extract. Biomedical & Pharmacology Journal, 857-862P.

O

- **Otero M, Cebrian, E, Francour P, Galil B, Savini D, 2013.** Surveillance des espèces envahissantes marines dans les aires marines protégées (AMP) méditerranéennes Guide pratique et stratégique à l'attention des gestionnaires. UICN, 136P.
- **Oucif H, 2018.** valorisation des algues de la cotes Ouest algérienne : potentiel antioxydant et hormonal. Thèse de doctorat, université d'oran, 244P.
- **Ozenda P, 2006.** Les végétales organisations et diversité biologique. 2^{ème} édition, Masson, Paris, 515P.

P

- **Payri C, 2021.** Histoire d'algues, IRD édition, France, 84P.
- **Person J, 2011.** Livre Turquoise – Algues, filières du futur. Édition Adebiotech – Romainville, France, 182P.
- **Pouyet B, Ollivier V, 2014.** Réglementations sur l'étiquetage et la présentation des huiles d'olive: OCL, 21-508.

R

- **Reynaud J, 2011.** Comprendre la botanique, Histoire, évolution, systématiques. Editions-ellipses, France, 89P.
- **Richez L, 2016.** Algocarburants : Modes de production et faisabilité. Thèse de docteur en pharmacie, Université de POITIERS Faculté de Médecine et de Pharmacie, 77P.

- **Roland J, El Maarouf-Bouteau H, Bouteau, 2008.** Atlas biologie végétale Organisation des plantes sans fleurs, algues et champignons 7^{ème} édition, paris, 152P.

S

- **Secondat M, 2008.** Les variations de la température et la concentration d'oxygène dissous des eaux lacustres et des eaux courantes. Leur retentissement sur la distribution des poissons, Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Toulouse. Paris, 88P.
- **Solis C, Becerra J, Flores C, Robledo J, Silva M, 2004.** Antibacterial and antifungal terpenes from pilgrodendromuviferum (D. DON) florin, journal of chileam society, 157-161.
- **Sîrbu r, Constanta S, Lucia Ghergic D, Passy M, Nadine A, 2006.** Caractérisation de certains principes actifs de *ulva lactuca* et *ulva rigida* algues vertes du littoral roumain de la mère noire. Scientific study & research ; ISSN 1582-540X.

T

- **Treyture Ch, peltre M, Labert E, Rodriguez S, Vergon J, chauvin Ch, 2014.** Guide pratiques de détermination génétique des algues macroscopiques d'eau douce. Édition d'Irstea bordeaux, cestas, 204P.
- **Togbe F, Pélagie Y, Wottod V, Azandegbeesni C , 2014.** Évaluation du comportement de quelques savons traditionnels en solution aqueuse : Détermination de la concentration micellaire critique et de la température de Krafft. Journal of Applied Biosciences. P7493-7498 ; ISSN 1997-5902.
- **Togbe F, Biosci J, 2014.** Évaluation du comportement de quelques savons traditionnels en solution aqueuse : Détermination de la concentration micellaire critique et de la température de Krafft. Journal of Applied Biosciences, P7493-7498.

W

- **Watanabe F, Takenaka S, Katsura H, 1999.** Dried green and purple lavers (Nori) contain substantial amounts of biologically active vitamin B12 but less of dietary iodine relative to other edible seaweeds. J. Agric, Food Chem, 47: 2341-3.
- **Wolff J. P., 1968.** Manuel d'analyses des corps gras. Ed. Aznuaiy, Paris.

Z

- **Zellal A, 2012.** La croissance et le développement d'un Rhodophytes Agrophyte, Gelidium sesquipedale de la côte de Mostaganem (ouest algérien) étude préliminaire, diplôme de magister en biotechnologies, université d'oran, 64P.
- **Zitouni H, Arhab R, Bousseboua H, Boudry C, Beckers Y, 2013.** Valeur alimentaire d'une Algue verte marine du littoral Algérien chez le ruminant Nutritive value of marine green Seaweed of the Algerian coast in ruminants. Ren, Rech, Ruminats, N^o.33, 97-116, 20.
- **Zehlila A, 2017.** Caractérisation structurale et fonctionnelle des métabolites de l'algue verte Ulva rigida au moyen d'une approche protéomique. Thèse doctorat, université Tunis El Manar, 228P.
- **Zidane H, Orbi A , Sqalli N , Zidane F, Talbaoui M, Hasnaoui M, Fakhaoui M, 2006.** Survey of the Cycle of Reproduction of Red Algae Gelidium sesquipedale (Turner) Thuret (Case of the Maritime Zone of El Jadida- Jarf Lasfer of Morocco), Environmental Technology, 27:8, 933-943.

Sites internet

- <https://www.google.dz>.
- <http://www.arkopharma.be/espace-pharmaciens>.
- <https://www.algerieinfos-saoudi.com>.
- <http://www.ccijjel.com>
- <https://fr.wikipedia.org>.
- <https://www.google.it/maps>.
- <https://www.aquamaps.org>.
- (<http://www.creaweb.fr>.
- <https://www.atago.net/fr>.
- <https://www.aceitedelasvaldesas.com>.
- <https://www.metrohm.com/fr>.
- <http://lescosmetiquesdelilith.blogspot.com>.
- <https://biom-agro.unv-lille.fr>.

Annexes



Figure 1: Huiles d'algues avant la récupération



Figure 2 : Les essais d'indice d'iode



Figure3 : Les essais de l'indice de saponification



Figure 4 : Les essais de l'indice d'ester



Figure5: Les solvants utilisés pour la fabrication de savon



Figure 6 : Moulage de savon

Préparation du savon liquide

Pour 500ml de savon:

1-20 gde savon râpé.

2-450 à 470 ml d'eau

3- Un arôme industriel si on veut modifier l'odeur de savon.

Mode opératoire

Après avoir préparé les ingrédients cite au dessus :

- On met l'eau dans une casserole et on le chauffe jusqu'a ébullition.
- On verse le savon râper et mélanger jusqu'à dilution.
- On laisse le mélange se refroidir et l'agiter de temps en temps.
- On ajoute une cuillère d'huile d'olive en suite on mélange.
- On peut ajouter un arôme si on veut.
- On laisse le tous refroidir 30mn a peu près en suite le verse dans une bouteille.
- On l'agite toujours avant utilisation.



Figure 7: Savon liquide



Figure 8: Colorants industriels



Figure 9: Souche de référence de *Pseudomonas aeruginosa*



Figure 10 : Souche de référence d'*Escherichia coli*

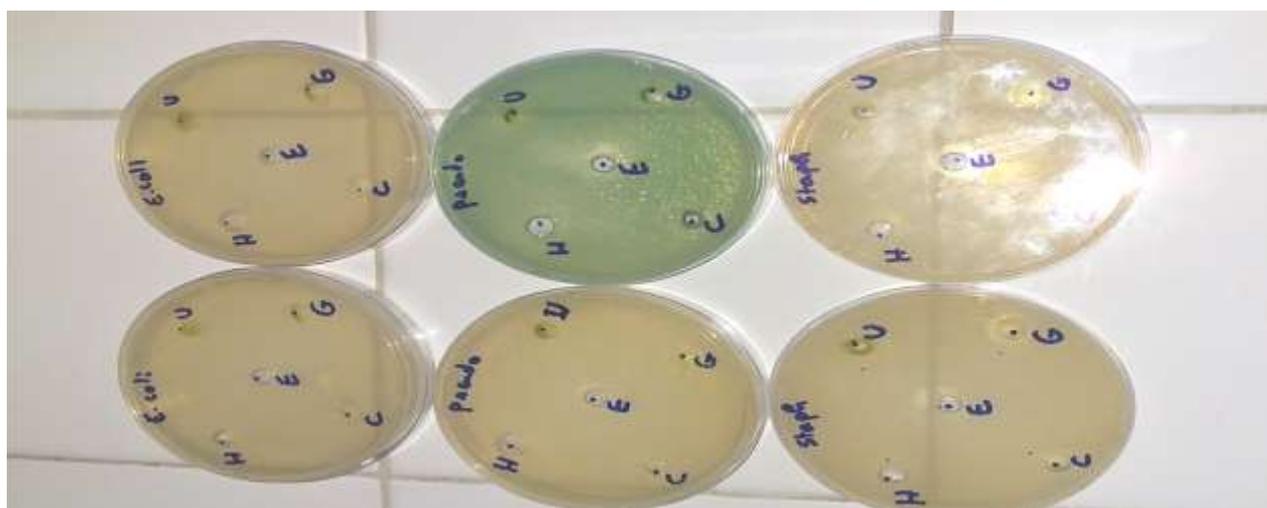


Figure 11 : Résultats des trois souches de bactérie avec les huiles

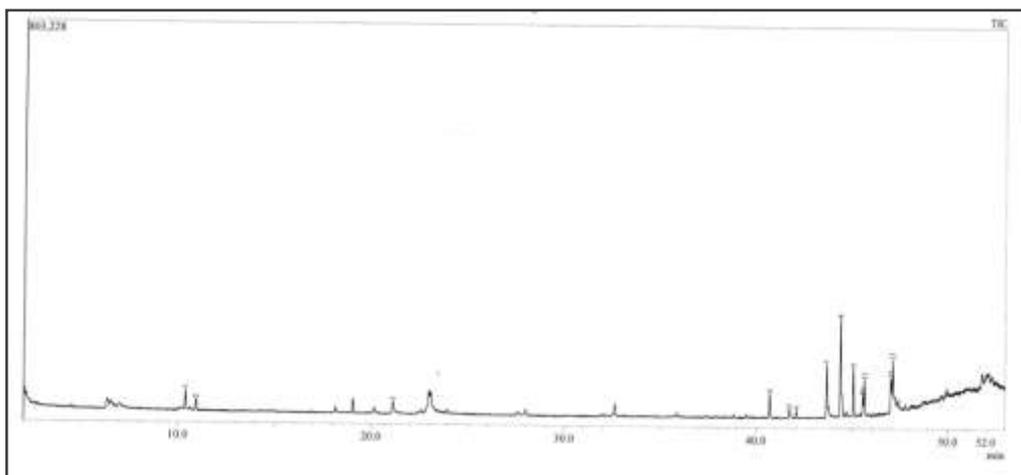


Figure 12: Analyse chromatographie des huiles d'*Ulva lactuca*

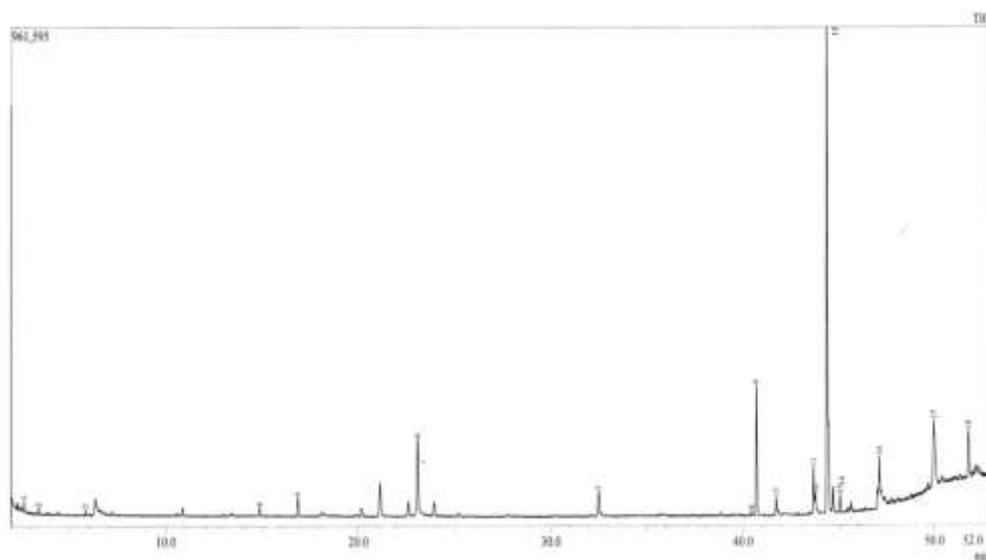


Figure 13: Analyse chromatographie des huiles des *Gelidium sesquipedale*

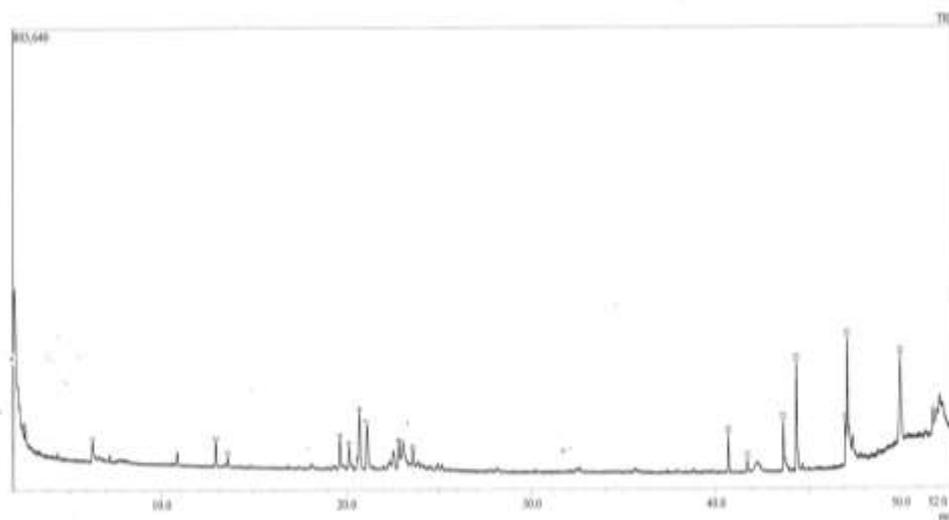


Figure 14: Analyse chromatographie des huiles des *caulerpa racemosa*

œRésuméø

Titre: Etude de quelques espèces d'algues marines (*Ulva lactuca*, *Gelidium sesquipedale*, *Caulerpa racemosa*) de la côte Jijelienne, en vue d'une valorisation

Auteur : Benhamouda Samira

Mots clés: *Ulva lactuca*, *Gelidium sesquipedale*, *Caulerpa racemosa*, huile d'algue, savon d'algues.

ملخص

تشكل الطحالب البحرية مصدر درس إلا قليل وغير مستغل في السواحل الجزائرية و تعتبر الطحالب بكل أنواعها مصدرا للتطور الاقتصادي والاجتماعي باعتبارها مصدر دواء وغذاء وهذا لاحتوائها على تراكيب غذائية مهمة منها الدهون البروتينات النشويات الألياف و الفيتامينات و غيرها من التراكيب العضوية والمعدنية.

ومن خلال دراستنا للطحالب تم استخلاص الزيوت النباتية الموجودة على مستوى أنسجتها الدهنية الخاصة بثلاث أنواع من الطحالب منها نوعين من الطحلب الأخضر *Ulva lactuca*, *Caulerpa racemosa* ونوع من الطحالب الحمراء , *Gelidium sesquipedale* التي تم جمعها من خمس شواطئ في الساحل الجيجلي .

والهدف من دراسة الزيوت النباتية للطحالب هو تحديد خصائصها الفيزيائية والكيميائية و دراسة خصائصها البكتيرية مع ثلاث أنواع من البكتيريا *Escherichia coli* ، *Staphylococcus aureus* ، *Pseudomans aeruginosa* ومدى فعاليتها مع هذه الأخيرة، كما تم الكشف عن المكونات الرئيسية لهذه الزيوت عن طريق Chromatographie gazeuse التي مكنتنا في الأخير من صناعة صابون بمستخلص طحلي خام يتماشى مع المعايير الصناعية.

Abstract

Marine algae are a little studied and untapped source in the Algerian coast, in which algae of all kinds are considered a source of economic and social development as a source of medicine and food, because they contain neglected diets, including lipids, proteins, starches, fibres, vitamins and other organic and mineral combinations.

From our study of algae, the vegetable oils found at the level of their tissue were extracted for three species of algae, including two species of *Ulva lactuca*, the *Caulerpa racemosa*, and a species of red *Gelidium sesquipedale*, collected from five shores of the jijelien coast.

The aim of the study of algal vegetable oils is to determine their physical and chemical properties. We also studied their bacterial properties with three types of bacteria: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomans aeruginosa*, and their efficacy with the latter. The main components of these oils were also revealed by the Chromatographie gazeuse route, which eventually enabled us to make soap with raw algal extract with industrial calves.

Résumé

Les algues marines sont peu étudiées et inexploitées sur les côtes algériennes. Les algues de toutes sortes sont considérées comme une source de développement économique et social en tant que source de médicaments et d'aliments, car elles contiennent des régimes alimentaires importants, notamment des lipides, des protéines des fibres, des vitamines et d'autres combinaisons organiques et minérales.

Dans notre étude sur les algues, les huiles végétales au niveau de leurs tissus gras ont été extraites pour trois espèces d'algues, (*Ulva lactuca*, *Caulerpa racemosa*, *Gelidium sesquipedale*, récoltées sur cinq stations de la côte jijelien.

Les résultats de l'étude des huiles végétales d'algues a permis de déterminer leurs propriétés physiques et chimiques et d'étudier leurs propriétés bactériennes avec trois espèces de bactéries, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomans aeruginosa*, et leur efficacité sur ces derniers. Les principaux composants de ces huiles ont également été révélés, par la Chromatographie gazeuse, qui a finalement permis de formuler du savon avec les extraits bruts d'algues, selon les normes industrielles.