

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Seddik Ben yahia- Jijel

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences de
l'Environnement et des Sciences
agronomiques



كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم علوم المحيط والعلوم الفلاحية

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : **Master académique**

♣ Domaine : SNV

♣ Filière : Hydrobiologie marine et continentale

♣ Option : Ecosystèmes aquatiques

THEME

**Étude bibliographique sur l'écologie et la
biologie d'une algue verte : *Caulerpa racemosa*
(var. *cylindracea*) Sonder
Et possibilités de valorisation**

Jury :

présenté par :

Présidente : Mme Habila S.

Melle Rouibah Rahima

Examinatrice : Mme Khennouf H.

Encadrante : Mme Khaled-Khodja S.

Numéro d'ordre : .../....

Session1 : Juillet 2021

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

*Je veux présenter mes vifs remerciements à mon encadreur Dr **Khaled-Khodja Soumeya** « Maitre de conférences » à l'université Mohamed Seddik Ben yahia Jijel. Je voudrais également lui témoigner ma gratitude pour sa patience et son soutien qui m'a été précieux afin de mener mon travail à bon port. « Merci Madame »*

*Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury qui comporte, Dr **HABILA Safia** pour l'honneur qu'elle me fait en acceptant de présider ce jury, Dr **KHENNOUF Hanane** pour l'intérêt qu'elle a porté à ma recherche en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs discussions.*

Enfin, je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Ainsi qu'à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.

Dédicaces

En premier lieu je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné la volonté, la santé et le courage pour réaliser ce travail.

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect ;

*Mon cher père **CHERIF***

*A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse ; mon adorable mère **NORA***

*A mes chers frères et mes sœurs **YASSMINA, ABLA** qui n'ont pas cessés de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que dieux les protège et leur offre la chance et le bonheur.*

*A tous les cousins surtout **FATIMA, SOUAD** mes amis **ROUFIA, AMINA, TOUBA**, et les voisins que j'ai connu jusqu'à maintenant.*

A toute ma famille, mes collègues chacun a son nom.

Merci pour leurs amours et leur encouragement.

Liste des figures

Figures	Pages
Figure 1. <i>Caulerpa racemosa</i> var. <i>cylindracea</i>	5
Figure 2. Première identification de <i>Caulerpa racemosa</i> en Libye en 1991 (flèche) et localisations déterminées depuis (points) en Méditerranée et aux îles Canaries	7
Figure3. Localisation géographique de <i>Caulerpa racemosa</i> sur le littoral algérien	8
Figure 4. Thalle de <i>Caulerpa racemosa</i> var. <i>cylindracea</i>	9
Figure 5. Longueurs des frondes	10
Figure 6. Reproduction sexuée chez <i>C. racemosa</i>	11
Figure 7. Reproduction par bouturage	12

Liste des Tableaux

Tableaux	Pages
Tableau 1. Synonymes du nom scientifique actuel <i>Caulerpa racemosa</i> var. <i>cylindracea</i>	5
Tableau 2. position systématique de l'algue	6
Tableau 3. Composition nutritionnelle de <i>Caulerpa racemosa</i>	21
Tableau 4. Composition minérale de <i>Caulerpa racemosa</i> par rapport à l'AJR.	22
Tableau 5. Principaux types d'aliments fonctionnels	23

Liste des abréviations

Abréviations	Signification des termes
CPN	Caulerpényne
ROS	Espèces réactives de l'oxygène
HO [•]	Radical hydroxyle
H ₂ O ₂	Peroxyde d'hydrogène
SOD	Superoxyde dismutase
CAT	Catalase
GSH-Px	Glutathion peroxydase
LPO	Peroxydation lipidique
Ppm	Partie par million
CYN	Le caulerpényne
FIV	Fécondation In Vitro
Rpm	Rotations par minute
DBO	Demande biochimique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
RMN	Résonance magnétique nucléaire
L'irradiance E_e (W·m ⁻²)	éclairage énergétique watt per square metre
Holocarpe	(olos) « entier » et carpe(karpos) « fruit »
MS	Masse sec
CRWE	<i>Caulerpa racemosa</i> extract water

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des figures	i
Liste des tableaux	ii
Liste des abréviations	iii
Introduction générale	1
Chapitre I. Caractéristiques de l’algue <i>Caulerpa racemosa</i>, var. <i>cylindracea</i>	
I. 1. Historique	4
I. 2. Taxinomie	4
I. 2. 1. Fiche technique	4
I. 2. 2. Position systématique de l’algue	6
I. 3. Distribution	6
I. 3. 1. Distribution de l’espèce à l’échelle mondiale	6
I. 3. 2. Distribution de l’espèce dans le littoral algérien	7
I. 4. Biologie	9
I. 4. 1. Morphologie	9
I. 4. 2. Croissance et développement	10
I. 4. 3. Cycle de vie	11
- Reproduction sexuée	11
- Reproduction asexuée (émission de propagules et bouturage)	11
I. 5. Écologie	12
I. 5. 1. Impacts sociaux-économiques	12
Chapitre II. Toxicité et propagation de l’algue	
II. 1. Toxicité	14
II. 1. 1. Conséquences de l’introduction de la var. <i>cylindracea</i> sur le milieu	15
II. 1. 2. Effet sur l’humain	15
II. 2. Propagation	16
II. 2. 1. Impact de propagation sur les communautés réceptrices	17
II. 2. 2. Interaction avec d’autres espèces introduites envahissantes	18
II. 2. 3. Le rôle indirect des éléments nutritifs dans l’augmentation de l’invasion de <i>Caulerpa racemosa</i> var. <i>cylindracea</i>	18
II. 2. 4. Synergisme entre deux impacts anthropiques : l’invasion de <i>Caulerpa racemosa</i> var. <i>cylindracea</i> et l’enrichissement en nutriments de l’eau de mer	19
II. 2. 5. Conservation du milieu naturel de l’invasion par <i>Caulerpa racemosa</i>	19
Chapitre III. Valorisation de l’algue	
III. 1. Valorisation dans le secteur alimentaire	21
III. 1. 1. Opportunités de l’utilisation la <i>Caulerpa racemosa</i> dans l’alimentation	21
- Teneur en éléments nutritifs de <i>Caulerpa racemosa</i>	21

Sommaire

- Teneur en vitamines	22
III. 2. Valorisation dans le secteur industrielle	24
III. 3. Valorisation dans le secteur agricole (engrais verts)	24
Conclusion générale	26
Liste des références bibliographiques	27

Introduction générale

Les algues sont des organismes chlorophylliens se développant dans l'eau ou dans des milieux très humides. Elles sont particulièrement abondantes dans les eaux de mers, des lacs, des mares et des eaux thermales, on en trouve également sur les rochers humides et sur le sol. Exceptionnellement, elles peuvent être endophytes de tissus animaux ou végétaux. L'air, la lumière et des sels dissous sont, en plus de l'eau, nécessaires à leur développement. Groupées avec les champignons dans la division des Thallophytes, (les algues constituent en réalité, un vaste ensemble hétérogène d'embranchements très distincts les uns des autres et n'ayant entre eux que peu de caractères communs **(Iltis, 1980)**).

La distinction entre ces différents embranchements d'algues est faite d'après des caractères d'ordre cytologique et biochimique ainsi que des différences de structure et de mode de reproduction. En dehors de nombreuses formes unicellulaires, on trouve des algues pluricellulaires formant des thalles sans feuilles, ni tiges, ni racines, ni vaisseaux conducteurs **(Iltis, 1980)**.

Les algues sont à l'origine de la première molécule d'oxygène biologique de notre planète. Microscopiques ou géantes, elles n'hésitent pas à vivre en symbiose avec d'autres organismes végétaux ou animaux. Nourricières, elles forment les premiers maillons de nombreuses chaînes alimentaires mais elles peuvent aussi être toxiques, voire mortelles en cas de déséquilibre de l'environnement. Selon la tradition populaire, rien ne vaut les algues pour faire pousser les plantes. De nombreux riverains continuent aujourd'hui encore à aller chercher des algues sur le rivage après chaque tempête **(Leclerc et Floch, 2010)**.

Les algues sont riches en éléments minéraux de toutes sortes et vont transmettre ces nutriments au sol qui les accueille. Les cultures en profitent et grandissent ici mieux qu'ailleurs. Mais, l'histoire ne s'arrête pas là. Il y a quelques années, les scientifiques découvrent l'un des secrets les plus étonnants de ce succès agronomique. Les algues vaccinent les plantes. Elles stimulent leurs défenses immunitaires et les rendent plus résistantes aux stress et aux maladies. Les plantes réagiront très vite en cas d'attaque. Virus, bactéries et champignons n'ont qu'à bien se tenir. Il est désormais question de préparer des vaccins pour protéger certaines cultures à partir d'extraits d'algues **(Leclerc et Floch, 2010)**.

Pourtant, les algues recèlent bien d'autres vertus. De nos jours, notre quotidien est envahi par les algues sans qu'on s'en rende compte. On en trouve partout ou presque, dans de nombreux produits alimentaires, dans des médicaments, dans des crèmes cosmétiques, dans les textiles, dans l'industrie chimique, etc. **(Leclerc et Floch, 2010)**.

Dans de très nombreux cas, la reproduction des algues s'effectue par multiplication végétative. Il s'agit d'une multiplication sexuée qui consiste en la division d'une cellule isolée (cas des algues bleues), soit en une fragmentation de thalle aboutissant à la formation de plusieurs organismes identiques. Elle est souvent réalisée par la formation de cellules spécialisées : les spores. Les algues eucaryotes réalisent en plus une reproduction sexuée au cours de laquelle l'union de deux cellules reproductrices, ou gamètes, produit un œuf, ou zygote. La reproduction des algues se déroule ainsi selon une alternance de phases de reproduction asexuée assurée par les thalles (sporophytes), et de phases de reproduction sexuée, assurée par des thalles producteurs de gamètes (gamétophytes) (**Garon-Lardiere, 2004**).

Les organismes marins en général, et plus particulièrement les algues, ont acquis une bonne position en termes de consommation de la communauté mondiale, que ce soit pour l'alimentation, l'industrie ou la médecine. Les aliments provenant de la mer sont réputés avoir un meilleur niveau de sécurité que les aliments terrestres cultivés. Cela s'explique par le fait que la source des aliments marins est disponible naturellement dans la mer. L'eau de mer large et claire est classée comme une eau qui est toujours à l'abri de la pollution, car l'eau de mer a la capacité de se nettoyer elle-même (**Tapotubun et al., 2020**).

Les macros algues sont souvent, à tort, associées à des dégradations du milieu. Elles sont un maillon indispensable du système, au point qu'il serait plus exacte de qualifier ces écosystèmes de récifs alguo-coralliens. Toutefois, la prolifération anormale de certaines communautés algales peut signer un déséquilibre écologique, notamment quand les algues prennent le dessus sur les coraux vivants (**Payri, 2018**).

L'envahissante *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* introduite au début des années 1990 à partir de la côte sud-ouest de l'Australie (**Verlaque et al., 2003**), s'est rapidement répandue le long des côtes méditerranéennes au cours des 31 dernières années (**Piazzini et al., 2005**).

En Algérie, *Caulerpa racemosa*, var. *cylindracea*, est apparue durant l'été 2005. La présence de l'espèce a été signalée dans différentes localités de la région centre, de la côte algérienne. Sa répartition se fait sur différents types de substrats et à différentes profondeurs. Depuis, un envahissement de plus en plus important a été observé dans certaines zones (**Bouiadjra et al., 2010**).

Le rôle écologique de *Caulerpa racemosa* est encore débattu, mais la plupart des auteurs la considèrent comme nuisible aux communautés phytobenthiques autochtones, notamment aux

algues constituant les turfs et dans une moindre mesure aux espèces plus hautes (**Boudouresque, 2002**).

La présente étude est scindée en trois chapitres distincts : le premier chapitre est consacré aux caractéristiques de l'algue *Caulerpa racemosa*, var. *cylindracea*. Le second chapitre se rapporte toxicité et propagation de l'algue. Le troisième chapitre expose la valorisation de *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea*. Pour finir, une conclusion générale et quelques perspectives futures seront apportées.

L'objet de cette étude bibliographique est d'apporter le maximum d'informations sur la biologie, l'écologie et la toxicité de l'algue qui envahie peu à peu le littoral algérien. En sus, des possibilités de sa valorisation dans les domaines de la consommation alimentaire, dans le domaine agricole (engrais verts), dans le domaine de l'industrie.

Chapitre I.

*Caractéristiques de l'algue Caulerpa
racemosa var. cylindracea Sonder*

I. 1. Historique

Caulerpa racemosa, souvent considérée, dans la littérature, comme un immigrant lessepsien (provenant de la mer rouge), présente en Méditerranée nord-occidentale et nord-orientale, doit-être reconsidérée.

Selon **Verlaque (2003)** in (**Garrido-Maestracci, 2008**) la souche qui colonise le Nord de la Méditerranée appartient à un taxon différent de celui qui colonise, depuis le début du XXème siècle, le Sud et l'Est de la Méditerranée. Il correspond à un taxon récemment introduit, par une autre voie que le canal de Suez.

Les populations méditerranéennes sont alors composées de trois variétés distinctes : *Caulerpa racemosa* var. *turbinata-uvifera*, *C. racemosa* var. *lamourouxii* (déjà connues du bassin oriental de Méditerranée (Tunisie, Moyen-Orient), et d'une variété invasive récemment introduite, *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (**Garrido-Maestracci, 2008**).

I. 2. Taxinomie

I. 2. 1. Fiche technique

- Nom : *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (**Sonder, 1849**).
- Surnom : caulerpe "raisin"
- Habitat d'origine : Sud-ouest australien (**Verlaque et al., 2003**).
- Caractéristiques notables : Le polymorphisme étant récurrent chez les caulerpes, il existe en réalité plus de 40 sous-espèces de *Caulerpa racemosa* dont celle ayant colonisé la Méditerranée qualifiée de *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (**Ruitton et al., 2005 a**).
- Le nom français de l'algue : *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea*, signifie Raisin de mer, suite à son aspect qui présente des ramules vertes et sphériques, rappelant des raisins verts (Fig. 1).



Fig. 1. *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* **Photo originale**

- Son nom scientifique : *Caulerpa*, provient du latin [caulis] qui signifie tige et du grec [erpo] qui veut dire ramper. L'algue donc, est formée d'une tige rampante (stolon). Le terme *racemosa* provient du terme latin [racemosus], qui veut dire en forme de racème c'est-à-dire de grappe. Le nom d'espèce *Cylindracea* se réfère aux rondeurs des différentes parties de cette algue. *Cylindracea* provient du latin [cylindrus] qui signifie cylindre ou gros rouleau (Belton *et al.*, 2019). Il existe également d'autres synonymes du nom scientifique de l'espèce cités dans le tableau 1.

Tableau 1. Synonymes du nom scientifique actuel de *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Verlaque *et al.*, 2003 ; Wynne *et al.*, 2009 ; Islam *et al.*, 2020).

<i>Genres</i>	<i>Espèces</i>	<i>Auteurs</i>	<i>Années</i>
<i>Ahnfeldtia</i>	<i>Cylindracea</i>	Sonder	1849
<i>Caulerpa</i>	<i>Complanata</i>	Agardh	1873
<i>Caulerpa</i>	<i>cylindracea</i> var. <i>macra</i>	Harvey	1858
<i>Caulerpa</i>	<i>racemosa</i> f. <i>complanata</i>	Weber-van Bosse	1898
<i>Caulerpa</i>	<i>racemosa</i> var. [laetevirens] f. <i>cylindracea</i>	Weber-van Bosse	1898
<i>Caulerpa</i>	<i>racemosa</i> var. <i>cylindracea</i>	(Sonder) Verlaque	2003
<i>Chauvinia</i>	<i>Cylindracea</i>	Kützing	1849

- Synonymes et noms vernaculaires : Racémosa, raisin de mer, caulerpe raisin, caulerpe à billes
- Noms communs internationaux : Grape caulerpa (G), Caulerpa à grappoli (I), Kriechsprossalge (D), Groen druifjeswier (NL)

I. 2. 2. Classification

La classification de l'espèce est présentée dans le tableau qui suit :

Tableau 2. Position systématique de l'algue (Bouiadjra, 2012).

Division : Chlorophyta

Classe : Chlorophyceae

Ordre : Bryopsidales

Famille : Caulerpaceae

Genre : *Caulerpa* (J.V.F. Lamouroux, 1809)

Espèce : *Caulerpa racemosa* (Forsskal) J. Agardh

Sous-espèce : *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Sonder) Verlaque, Huisman and Boudouresque.

I. 3. Distribution

I. 3. 1. Distribution de l'espèce à l'échelle mondiale

Caulerpa racemosa est une chlorophyte invasive décrite pour la première fois en Australie en 1849 (Bentaallah et Kerfouf, 2013).

Sa présence a été signalée également, dans le port de Sousse, en Tunisie, jusqu'aux années 1990. Elle était considérée comme une espèce lessepsienne et n'était pas considérée comme un envahisseur potentiel (Bouiadjra, 2012).

De nos jours, l'espèce introduite *C. racemosa* var. *cylindracea* est signalée dans environ, une dizaine de pays méditerranéens (Albanie, Croatie, Espagne, France, Italie, Libye, Malte, Espagne, Tunisie et Turquie), dans toutes les grandes îles méditerranéennes (Baléares, Corse, Crète, Chypre, Sardaigne et Sicile) et dans des régions voisines de l'Atlantique (Îles des canaries) (Nizamuddin, 1991 ; Verlaque *et al.*, 2003).

Selon Verlaque *et al.* (2003) il existe trois formes de *Caulerpa racemosa* qui coexistent en Méditerranée :

- La variété *Turbinata-uvifera* [une variété intermédiaire entre la variété *turbinata* et la variété *uvifera*], signalée en Tunisie et au Liban ;
- La variété *lamourouxii*, dans le bassin oriental de la Méditerranée : Turquie, Chypre, Syrie et Palestine ;
- Enfin la variété *cylindracea*, sur le pourtour du bassin occidental, à l'exception du Maroc, et dans de nombreux pays du bassin oriental.

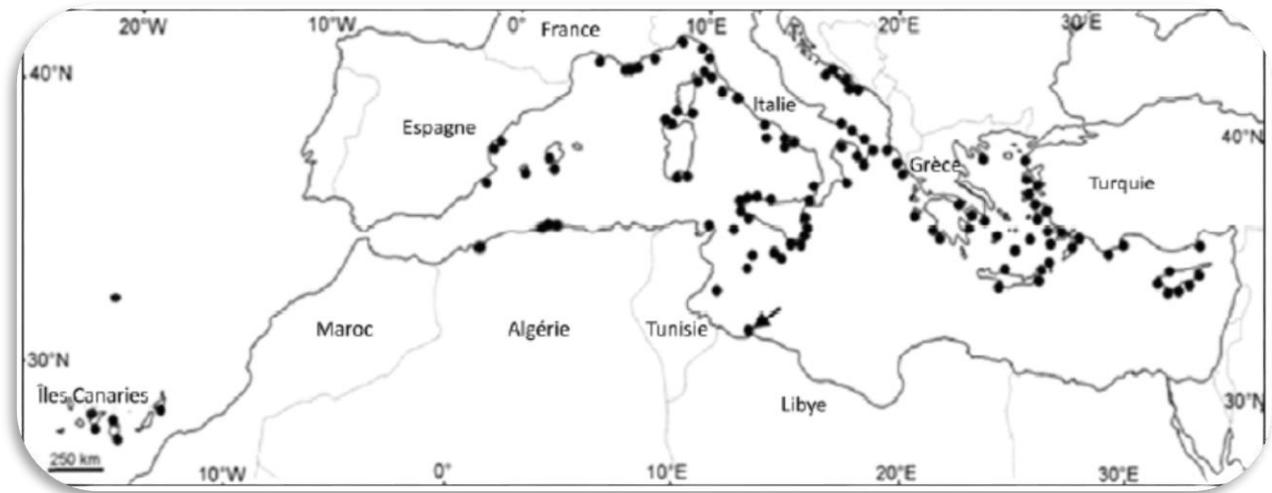


Fig. 2. Première identification de *Caulerpa racemosa* en Libye en 1991 (flèche) et localisations déterminées depuis (points) en Méditerranée et aux îles Canaries

Sources : M. Verlaque *et al.*, (2004) et L. Piazzini *et al.*, (2005), modifiées par (Bentaallah et Kerfouf, 2013).

I. 3. 2. Distribution de l'espèce dans le littoral algérien

Caulerpa racemosa a été observée pour la première fois en Algérie en 2005, sans pour autant être abondante. La seule forme identifiée à ce jour, sur le littoral algérien est *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Bentaallah et Kerfouf, 2013).

Aux cours de l'année 2006, une propagation remarquable de l'algue a été signalée. Sa présence a été signalée pour la première fois à Bou-Ismaïl, ensuite à Bordj El Kiffan, à l'est d'Alger, et dans différentes zones du littoral d'Alger (Lamouti *et al.*, 2011).

L'extension de l'algue a continué jusqu'à l'année 2009, où elle a été signalée dans plusieurs localités de la région d'Alger (Ould ahmed et Meinesz, 2007).

Elle a été identifiée dans neuf zones de la côte algéroise (Fig. 3) et dans deux autres à Mostaganem, sur la côte ouest algérienne. Cette algue est probablement bien distribuée sur le littoral algérien, mais peu d'informations émanent des régions ouest et est par rapport au centre du littoral algérien (Lamouti *et al.*, 2011).

Sur la côte ouest algérienne plusieurs peuplements ont été signalés du golfe d'Arzew jusqu'à Stidia. Cette dernière est située à proximité du port de Salamandre, à l'Ouest de Mostaganem (Bouiadjra *et al.*, 2010).

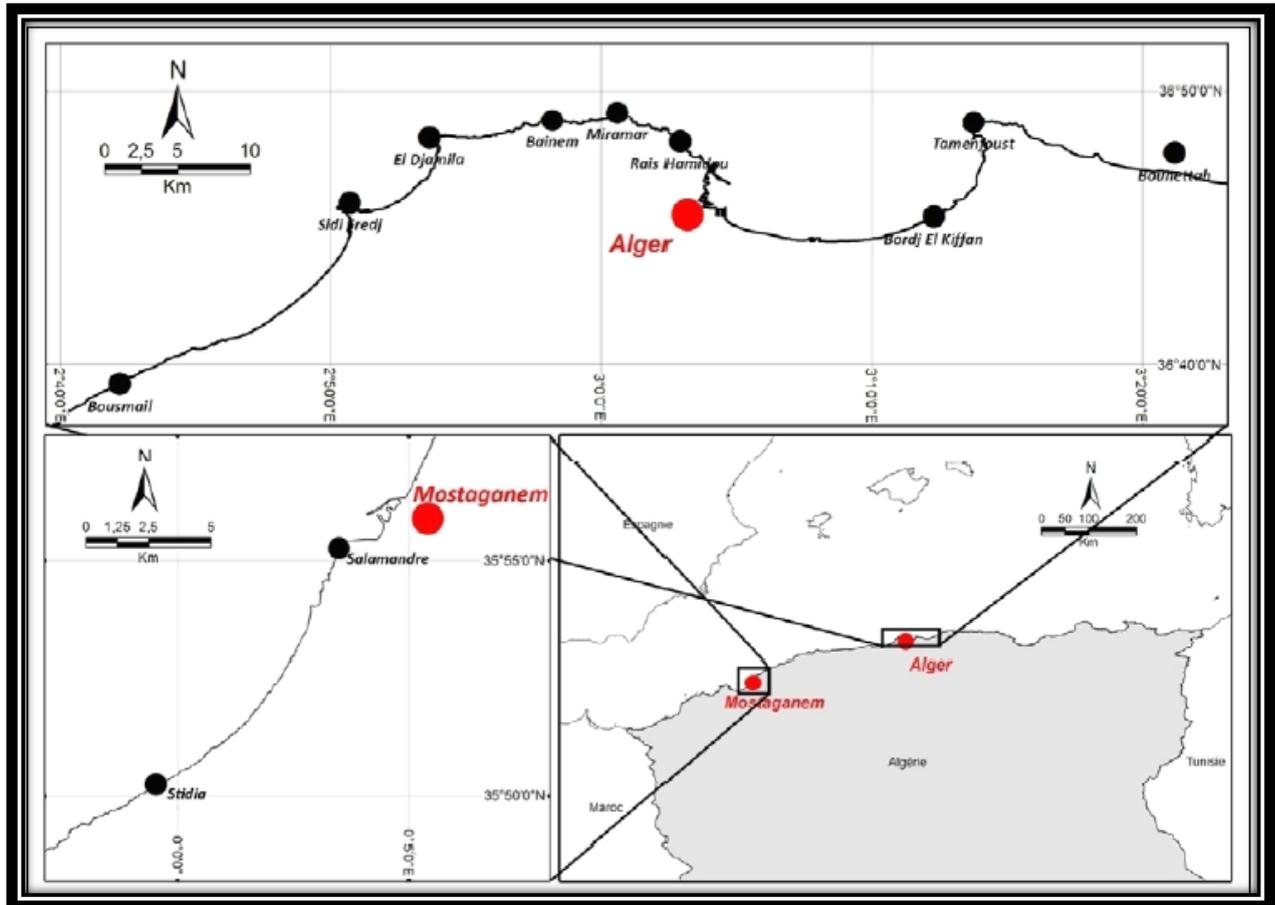


Fig. 3. Localisation géographique de *Caulerpa racemosa* sur le littoral algérien.

Sources : N. Ould Ahmed et A. Meneisz (2007), H. Seridi (2007),

B. Bachir Bouiadjra *et al.* (2010-a, 2010-b), S. Lamouti *et al.* (2011), modifiées par (Bentaallah et Kerfouf, 2013).

D'après cette recherche bibliographique plus récemment, cette algue a été identifiée sur la côte jijélienne mais sa propagation reste relativement modeste et ne suscite aucune inquiétude, à priori.

Nous pouvons avancer que *Caulerpa racemosa* signalée en Algérie a été rencontrée préférentiellement dans :

- Les zones marines dont la profondeur varie de quelques centimètres à 29 mètres. Elle est présente sur divers types de substrats (dur, sableux, vaseux). Elle se trouve aussi, entre les rhizomes de phanérogames marines, entre les algues médiolittorales inférieures et infralittorales supérieures, sur les mattes mortes et sur divers déchets solides (Lamouti *et al.*, 2011).

- L'espèce se trouve dans des zones où les activités de pêche et de plaisance sont très développées ce qui contribue donc très largement à sa propagation (**Lamouti et al., 2011**).
- Tous les spécimens récoltés présentent le même aspect avec des stolons irrégulièrement ramifiés et enchevêtrés, fixés au substrat par des rhizoïdes incolores. Ainsi l'espèce est souvent associée à *Corallina elongata*, espèce indicatrice de perturbation du milieu par des apports d'eaux usées riches en matières organiques (**Lamouti et al., 2011**).

I. 4. Biologie

I. 4. 1. Morphologie

Caulerpa racemosa var. *cylindracea* possède un thalle coenocytique (Fig. 5), constitué d'un axe rampant appelé stolon qui mesure entre 0,7 mm et 2 mm de diamètre ; ce dernier est fixé dans le substrat par de minces et courts rhizoïdes d'une longueur qui varie entre 1 mm et 20 mm avec un diamètre de 0,3 mm à 1 mm. Ses axes appelés frondes (Fig. 6), de 15 cm de longueur, sont portés verticalement sur le stolon. De petites protubérances arrondies, non groupées, avec une longueur de 1,7 à 7 mm et d'un diamètre de 1 à 3 mm, appelées ramules sont disposées d'une façon radiale sur les frondes. Ces dernières sont légèrement gonflées au-dessus de l'attachement avec le stolon (**Verlaque et al., 2003**).

De nombreuses pousses latérales sphériques ou ovoïdes se ramifient depuis les frondes et attribuent ainsi à l'algue son nom de « caulerpe raisin » (**Sea, 2011**).

Les données morphométriques de *C. racemosa* en Méditerranée peuvent varier selon la région, la profondeur et la saison (**Klein et Verlaque, 2008**).

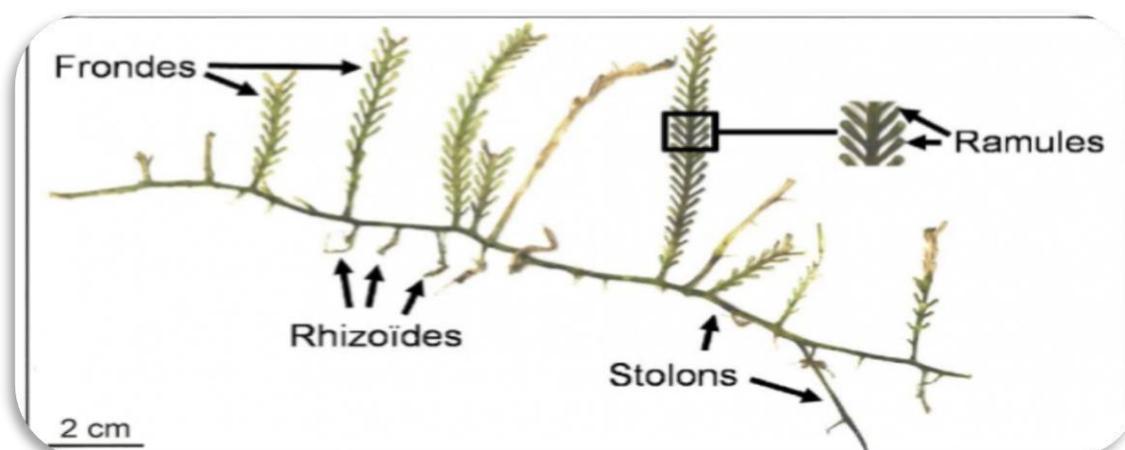


Fig. 4. Thalle de *C. racemosa* var. *Cylindracea* (**Klein et Verlaque, 2008**).



Fig. 5. Longeurs des frondes. **Photo originale**

I. 4. 2. Croissance et développement

Des auteurs comme **Ruitton *et al.* (2005)** décrivent les travaux de recherche sur la Croissance et le développement des prairies de l'envahissante *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* qui ont été menée à Marseille où l'algue se développe, probablement depuis 1994, dans les eaux froides de la Méditerranée nord-occidentale. Durant 4 années, *C. racemosa* a développé une prairie continue avec de larges variations saisonnières :

- Les variations saisonnières du taux de croissance étaient très significatives, la saison de forte croissance a duré de juin à octobre.
- Le taux de croissance apicale d'un stolon a atteint un maximum de 7,5 mm / jour au début du mois d'octobre, puis a commencé à diminuer de manière significative de 0,3 mm / jour à partir de la fin d'octobre à décembre, avant de devenir presque nul de janvier au début du mois de mai.
- Le taux de renouvellement des stolons de *C. racemosa* a été estimé entre 25 et 46 jours. Le taux de croissance était étroitement corrélé à la température de l'eau de mer ($R^2 = 0,83$), alors qu'aucune corrélation significative n'a été trouvée entre la croissance et l'irradiance.
- Pendant la période de croissance, une diminution de la température affecte rapidement le taux de croissance, qui retrouve rapidement son niveau antérieur lorsque la température remonte.
- Le broutage par les poissons (*Sarpa salpa* et *Boops boops*) peut également affecter le taux de croissance de septembre à décembre par la consommation des axes érigés et des stolons et les apex des stolons, ce qui favorise la ramification des stolons.

- *C. racemosa* survit aux températures hivernales plus basses de l'eau de mer de la Méditerranée nord-occidentale, probablement sous forme de zygotes et/ou de petits fragments (rhizoïdes, racines, stolons, propagules).

I. 4. 3. Cycle de vie :

➤ Reproduction sexuée :

La reproduction sexuée de cette espèce s'effectue par la lyse entière du thalle en gamètes, libérés simultanément, provoquant par la suite, la mort de l'individu. Les individus sont monoïques, développant les deux types de gamètes, mâles et femelles. Ceci permet la formation de zygote par fusion des gamètes, qui se fixent et produisent après cinq semaines un tube, qui s'allongera pour se développer en un nouvel individu. La reproduction est donc holocarpe puisqu'elle provoque la disparition de l'individu mère, de plus, les reproductions des différents thalles se fait de façon synchrone (Ghellai, 2021).

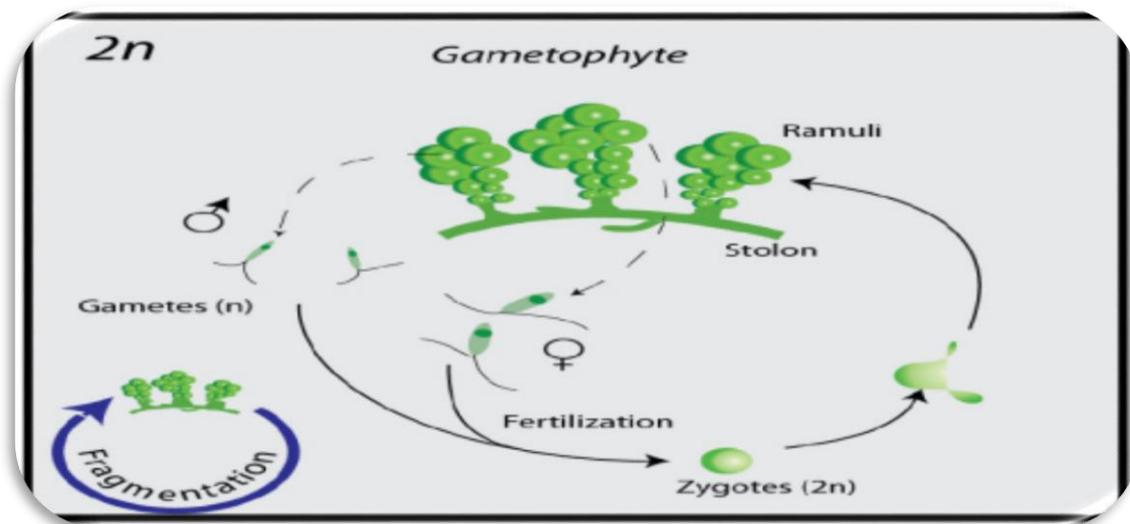


Fig. 6. Reproduction sexuée chez *C. racemosa* (Ghellai, 2021)

➤ Reproduction asexuée (émission de propagules et bouturage) :

La reproduction végétative ou asexuée qu'adopte la souche de *C. cylindracea*, est par fragmentation et bouturage ou par dissémination des ramules transformés en propagules qui peuvent se détacher facilement de l'axe et régénérer un thalle complet (Ghellai, 2021).

La formation de propagules consiste en des ramuli détachés qui produisent des filaments, qui croissent après seulement 5 jours, en donnant un nouvel individu (Ghellai, 2021).

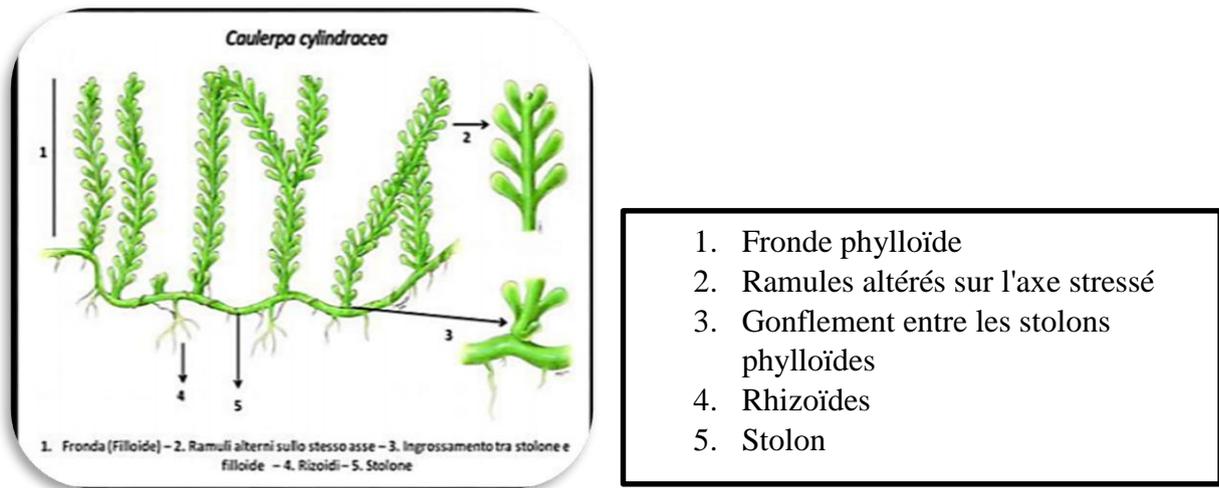


Fig. 7. Reproduction par bouturage (Ghellai, 2021)

I. 5. Écologie :

Le succès compétitif de *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea*, seulement quelques années après son apparition, a été attribué à une extraordinaire capacité d'adaptation à des facteurs écologiques tels que la température, la profondeur (irradiance) et les substrats. Elle peut se développer sur presque tous les types de substrats durs et mous. Sa croissance vigoureuse établit une canopée extrêmement dense qui couvre 100 % du substrat, modifiant ainsi la composition des communautés benthiques (Žuljević *et al.*, 2003).

I. 5. 1. Impacts sociaux-économiques

Gravez *et al.* (2005) soulignent que l'importance de caulerpa en tant que ressources naturelles a bien été mise en évidence ces dernières années dans plusieurs travaux, mais qu'il est désormais nécessaire de renforcer les recherches sur leur impact sur l'équilibre écologique des écosystèmes.

Dans les zones fortement colonisées certains pêcheurs attribuent aux peuplements de *C. racemosa* une diminution des ressources et donc de leurs prises selon les déclarations.

Le colmatage des fonds rocheux par l'espèce envahissante et donc la perte d'abris pour les poissons des petits fonds pourrait être à l'origine de cette baisse des prises.

Les filets calés dans les secteurs densément colonisés par *Caulerpa* se chargent de fragments de frondes et perdent ainsi de leur efficacité : les poissons les voient et peuvent ainsi les éviter.

En outre, Ils sont rendus plus lourds à manipuler et leur nettoyage manuel parfois nécessite un trempage plus long et plus difficile réduit leur durée de vie. Enfin, le temps

nécessaire à ces manipulations réduit d'autant les temps effectifs de pêche. Dans les zones concernées par ce phénomène, on assiste à une stratégie d'ajustement des moyens de production de la part des patrons pêcheurs. Ainsi, certains pêcheurs déclarent avoir été obligés d'investir dans l'achat de plusieurs jeux de filets, utilisés par rotation, afin d'augmenter leur temps de pêche ou d'adapter leurs techniques de pêche à des secteurs plus profonds ou plus éloignés des zones colonisées. Dans les secteurs les plus touchés, les professionnels semblent peu optimistes pour la pérennité de l'activité.

Chapitre II.

Toxicité et propagation

II. 1. Toxicité

C. racemosa produit un métabolite secondaire appelé caulerpényne (Sesquiterpène) qu'elle diffuse dans l'eau de mer pour se protéger des prédateurs environnants, tels que les herbivores. La caulerpényne, lui sert aussi comme moyen de défense chimique, contre les espèces avec qui elle entre en compétition (**Cavas *et al.*, 2006 in Bouiadjra, 2012**).

Le taux d'émission de cette toxine varie selon les saisons, il est à son maximum en périodes estivale et automnale puis diminue en hiver et au printemps. *C. racemosa* réagit à une blessure par une transformation rapide de la caulerpényne dont les trois groupes acétates sont clivés de façon enzymatique dans les minutes qui suivent la blessure. Les produits transformés appartiennent à la famille des oxytoxines. Cette transformation induite par une blessure, serait une activation de la défense chimique de l'algue (**Jung et Pohner, 2001 in Bouiadjra, 2012**).

Bouiadjra, (2012) rapporte d'après différents auteurs que la caulerpényne, en tant que substance chimique a également, divers effets sur les organismes vivants :

- ✓ Effet antimittotique : elle bloque la division des œufs d'oursins et des cellules phytoplanctoniques.
- ✓ Effet antimicrobien,
- ✓ Effet ichtyo toxique,
- ✓ Effet répulsif,
- ✓ La caulerpényne modifie le comportement du protozoaire cilié *Euplotes crassus* et des larves d'oursins.

Un second métabolite secondaire non terpénique est produit par l'algue invasive, il s'agit de la Caulerpine, qui induit l'apoptose de l'éponge *Geodia cydonium*.

Comme la plupart des espèces envahissantes, *C. racemosa* grâce à ses métabolites secondaires n'a que très peu de prédateurs en Méditerranée, en effet l'oursin *Paracentrotus lividus* ne peut consommer l'algue que pendant les périodes où les taux de métabolites secondaires sont les plus bas.

Un seul poisson herbivore de la Méditerranée occidentale *Sarpa salpa* l'utilise pour son alimentation.

II.1.1. Conséquences de l'introduction de la var. *cylindracea* sur le milieu

Raniello et al. (2007) soulignent que afin de révéler la possibilité d'activité phytotoxique chez *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea*, des métabolites secondaires ont été isolés d'une population poussant dans le golfe de Naples (Italie) et testés sur des tissus foliaires de l'herbe de mer indigène *Cymodocea nodosa*, qui coexiste souvent avec *Caulerpa* dans la nature.

Les changements éventuels dans la performance photosynthétique du tissu de l'herbe de mer (*C. nodosa*) ont été testés en contrôlant son rendement. L'un des composés identifiés, la caulerpenyne, a montré un effet phytotoxique, tandis que les autres métabolites purifiés n'ont révélé aucun effet aux concentrations testées. Cette recherche précise clairement que :

- *C. racemosa* var. *cylindracea* a montré une diminution du contenu en caulerpénine en présence de l'espèce *Posidonia oceanica*, avec une augmentation concomitante de la longueur des frondes.
- Les effets toxiques possibles des métabolites secondaires de *C. racemosa* var. *cylindracea* ont été testés sur le tissu foliaire de *Cymodocea nodosa*. Une baisse de l'activité photosynthétique a été observée, ce qui indique l'effet phytotoxique de l'algue.
- Les auteurs citent les initiatives marquantes prises dans ce domaine par **Cavas et Yurdakoc (2005)** indiquant le statut antioxydant de *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea*, qui n'est pas strictement corrélé au rayonnement solaire et à la température de l'eau de mer ; et que la croissance des épiphytes sur les frondes pourrait modifier le statut antioxydant.

Les organismes d'un même habitat peuvent être adaptés aux substances allélochimiques produites dans le système ; en conséquence les interactions allélopathiques seraient plus probables si l'organisme est originaire d'une autre région géographique différente.

II.1.2. Effet sur l'humain

Les effets de la caulerpénine (CYN) qui ont été jusqu'à présent, testés, montrent des troubles neurologiques, comme des hallucinations, des vertiges et une amnésie chez l'homme, après l'ingestion de *Sarpa salpa*, un poisson se nourrissant de la Caulerpe.

Plusieurs effets du CYN ont été observés chez l'homme. **Kurt et al. (2009)** les ont résumés comme suit :

- Effets antinéoplasiques, antibactériens et antiprolifératifs, il modifie le stockage du calcium dépendant de l'ATP dans les organelles intracellulaires, la phosphorylation des protéines et la synthèse de l'ADN
- Inhibition de la croissance de huit lignées cellulaires cancéreuses humaines, en leur présence les cellules présentaient un passage précoce et marqué en phase S suivi d'un blocage de la phase G2/M.
- L'activité antiproliférative était similaire à celle des médicaments anticancéreux. Le cisplatine se lie à l'ADN et à la tubuline, un constituant du cytosquelette. Le CYN peut également inhiber la prolifération des cellules de neuroblastome par l'inhibition de la polymérisation de la tubuline et du réseau de microtubules.
- Les effets cytotoxiques du CYN ont été étudiés dans différents modèles in vitro : cellules de la peau, cultures primaires de mélanocytes et de kératinocytes immortalisés (HaCaT et HESV), et cellules de moelle osseuse (progéniteurs hématopoïétiques CFU-GM).
- Le genre *Caulerpa* a une capacité à transformer rapidement le CYN en oxytoxine-1 et oxytoxine-2 par les estérases et ces produits sont plus toxiques que le CYN.
- *C. racemosa* var. *cylindracea* peut provoquer une toxicité chez l'homme en entrant dans la chaîne alimentaire. Cependant, ces effets toxiques offrent un espoir dans le traitement du cancer.

II. 2. Propagation

Selon **Ghellai (2021)** la plupart des côtes méditerranéennes ont été envahies par *C. racemosa* var. *cylindracea*, avec différents taux d'invasion. Divers facteurs peuvent expliquer l'abondance de l'espèce, comme un taux de croissance élevé, une forte capacité de propagation par reproduction sexuée, le bouturage et la production de propagules qui permettent à l'algue de récupérer rapidement son étendue et de progresser après la fin de la période de végétation, même après un déclin plus ou moins drastique pendant la saison froide. Les fragments se réimplantent facilement avec des performances variables selon les saisons et plusieurs jours de détachement n'altèrent pas la capacité d'établissement (**Ceccherelli et al., 2001**).

La rapidité de propagation de *C. racemosa* suggère qu'elle n'intéresse pas de nombreux consommateurs à cause de ses métabolites secondaires, qui la protègent contre les attaques biologiques (agents pathogènes, parasites, compétiteurs épiphytes et herbivores).

La disponibilité de plusieurs modes de multiplication et de dispersion permet à *C. racemosa* d'étendre rapidement les zones colonisées et confère un niveau d'invasivité à cette espèce qui peut être très élevé (Ceccherelli *et al.*, 2001).

II. 2. 1. Impact de propagation sur les communautés réceptrices

Comme le souligne **Piazzì *et al.* (2001, 2005)** *Caulerpa racemosa* présente des caractéristiques envahissantes, interférant fortement avec les communautés réceptrices :

- Lorsque les stolons couvrent complètement tous les substrats disponibles, ils constituent des structures multicouches pouvant atteindre 10 à 15 cm de large.
- Ces structures représentent un piège pour les sédiments, contribuant à asphyxier les organismes benthiques sensibles.
- La couverture et les espèces des communautés de macro algues envahies par *C. racemosa* diminuent et la structure des assemblages change fortement
- Les herbiers de *Cymodocea nodosa* et *Nanozostera noltii* sont facilement envahis par *C. racemosa* et la densité des pousses et des fleurs des plantes est influencée par l'envahisseur.
- Au contraire, l'espèce à forte canopée *Posidonia oceanica* est capable d'éviter l'invasion, surtout lorsque des lits denses sont présents interférant avec la croissance et la production de caulerpényne par l'algue.
- Des études récentes ont montré que *Posidonia oceanica* présente des modifications dans son cycle végétatif et sa production primaire lorsqu'elle est en contact avec *C. racemosa*. Ce qui suggère l'existence d'une stratégie adaptative de l'algue
- Sur les fonds meubles fortement colonisés par *C. racemosa*, les assemblages macro faunistiques sont profondément modifiés. Dans ce cas, certains taxons (par exemple, les gastéropodes et les crustacés) ont diminué d'effectif alors que d'autres taxons (par exemple les polychètes) augmentent, provoquant de profondes modifications de la structure des communautés envahies. La colonisation des fonds sableux stériles peut augmenter l'espace, la nourriture et la disponibilité des micro-habitats pour les organismes benthiques.

- D'une saison à autre il y a une variation dans l'abondance relative des taxons avec une grande richesse d'espèces de mollusques dans une zone envahie par *C. racemosa* ; la plupart des mollusques identifiés étaient caractéristiques d'autres systèmes végétaux et n'étaient représentés que par des stades juvéniles.
- les communautés benthiques indigènes comme le confirme **Ceccherelli et al. (2002)** ne sont pas capables d'éviter la sur-croissance de *C. racemosa*, surtout quand la complexité naturelle a été perdue à cause d'autres facteurs.

II. 2. 3. Interaction avec d'autres espèces introduites envahissantes

La concurrence de deux ou plusieurs espèces introduites envahissantes peut entraîner l'établissement de mécanismes compétitifs ou synergiques.

Dans certaines localités le long des côtes, *Caulerpa racemosa* co-occupe avec au moins trois de ces espèces : *C. taxifolia* et les deux Rhodophyceae formant le gazon *Acrothamnion preissii* et *Womersleyella setacea* (**Piazzì et al., 2001**).

Dans les deux cas, *C. racemosa* a montré une plus grande capacité compétitive que *C. taxifolia*, alors que la première n'était pas affectée par la présence de la plante. En effet, *C. taxifolia* cessait de croître et diminuait sa couverture lorsqu'elle coexistait avec l'autre espèce (**Piazzì et al., 2003**).

Des mécanismes synergiques ont été observés entre *C. racemosa* et *A. preissii* et *W. setacea* introduits pour former le gazon. Ainsi, la croissance et la propagation de *C. racemosa* sont renforcées là où les algues formant le gazon dominaient déjà, interagissant probablement avec le dépôt de sédiments et causant des effets plus profonds sur les communautés envahies (**Ceccherelli et al., 2002**).

II. 2. 4. Le rôle indirect des éléments nutritifs dans l'augmentation de l'invasion de *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea*

Au vu de la définition des objectifs de la recherche, une recherche-intervention, au sens défini par **Gennaro et Piazzì (2014)** paraissait la plus adéquate. La recherche-intervention comme *C. racemosa* a été transplanté à la fois dans les assemblages de macroalgues enrichis en nutriments et dans les assemblages témoins.

Les résultats ont montré que la pénétration et la biomasse de *C. racemosa* dans les assemblages précédemment traités avec des nutriments étaient plus élevées que dans les assemblages témoins, indiquant que les communautés stressées par la pollution sont plus vulnérables à l'invasion.

Les changements dans la disponibilité des nutriments de l'eau de mer peuvent favoriser la propagation de *C. racemosa*, à la fois en favorisant sa croissance et en érodant la résistance naturelle des macroalgues. Ainsi, le maintien d'une bonne qualité de l'eau peut jouer un rôle important pour contenir à la fois *C. racemosa* et d'autres algues introduites.

II. 2. 5. Synergisme entre deux impacts anthropiques : l'invasion de *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* et l'enrichissement en nutriments de l'eau de mer

Gennaro et Piazzi (2011) visaient à évaluer de l'effet de l'enrichissement de l'eau de mer en nutriments sur la propagation de la Chlorophyta *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* et les effets interactifs de l'enrichissement nutritionnel, ainsi que les effets de l'invasion de *C. racemosa* sur les assemblages de macroalgues indigènes d'un fond rocheux subtidal.

Pour atteindre ces objectifs, ils ont réalisé une expérience de terrain à une profondeur de 24 m dans le nord-ouest de la Méditerranée en ajoutant *C. racemosa* et en alimentant la colonne d'eau en nutriments.

Les traitements suivants ont été appliqués : assemblages non-manipulés, enrichissement en nutriments, traitement de la colonne d'eau et ajout de *C. racemosa*.

Les résultats ont montré que la propagation de *C. racemosa* était améliorée par l'enrichissement en nutriments. De plus, une interaction significative entre l'augmentation des nutriments et l'invasion de *C. racemosa* a été détectée. Les résultats suggèrent que les effets de l'invasion de *C. racemosa* sur les assemblages de macroalgues indigènes ont été amplifiés par l'enrichissement en nutriments.

II. 2. 5. Conservation du milieu naturel de l'invasion par *Caulerpa racemosa*

Otero et al. (2013) proposent des moyens de lutte contre les espèces invasives :

La prévention : Renforcement de la législation et des réglementations locales contrôlant les activités d'aquariophilie, de navigation, de pêche et de mariculture pour empêcher la propagation de cette espèce.

Éradication : Des études ou des programmes expérimentaux d'éradication de *C. racemosa* en méditerranée sont rares. Ils ont été appliqués avec une certaine efficacité dans de petites zones (400-1000 cm²), surtout dans des zones restreintes comme les baies et les ports. La procédure standard est l'enlèvement manuel de l'herbe à intervalles de 3 à 4 semaines. Néanmoins, les fragments de *C. racemosa* ont tendance à recoloniser ces zones après une période de 2 à 18 mois.

Chapitre III.

*Valorisation de Caulerpa racemosa var.
cylindracea Sonder*

III. 1. Valorisation dans le secteur alimentaire

III. 1. 1. Opportunités de l'utilisation de la *Caulerpa racemosa* dans l'alimentation

En Indonésie, *Caulerpa racemosa* a été utilisée comme légumes frais ou en salade, une saveur unique très appréciée, mais les consommateurs en Indonésie sont encore limités aux familles de pêcheurs ou aux communautés côtières. La situation est très différente de celle d'autres pays comme le Japon, les Fidji, les Philippines ou la Thaïlande. En Thaïlande, on trouve couramment la *Caulerpa racemosa* sur le marché de Phuket, où 10 à 20 kg sont vendus chaque jour, pour être utilisée comme sauce épicée. Les algues marines comestibles, parfois appelées algues marines, ont attiré un intérêt particulier en tant que bonnes sources de nutriments et une caractéristique particulièrement intéressante est leur richesse en polysaccharides sulfatés (SPs), dont les utilisations s'étendent des industries alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques à la microbiologie et la biotechnologie (Fithriani, 2015).

➤ Teneur en éléments nutritifs

Tableau 3. Composition nutritionnelle de *Caulerpa racemosa* ((Kumar *et al.*, 2010).

NUTRIMENTS (% MS)	VALEURS
HUMIDITE (%)	91.53 ± 8.80
CENDRE	24.20 ± 2.20
PROTEINE	12.88 ± 1.17
GLUCIDES	48.95 ± 2.06
LIPIDES	2.6 ± 0.20
CARBONE TOTAL	38.03 ± 1.84
AZOTE TOTAL	2.06 ± 0.19
C/N	18.45 ± 1.28
ÉNERGIE (KJ G ⁻¹ MS.)	10.91 ± 1.74

MS : masse sec

Kj g-1 MS : kilojoule / gramme masse sec

Les valeurs énergétiques obtenues pour *Caulerpa racemosa* ont été apportées par les glucides et les protéines car la teneur en lipides totaux était faible (2,06 % MS). Par conséquent, cette algue est adaptée aux aliments diététiques destinés à réduire l'obésité (**Kumar et al., 2010**).

Les fibres alimentaires insolubles de *caulerpa racemosa* contiennent de la cellulose et de l'hémicellulose qui jouent un rôle important dans la prévention de la constipation, des colites et des hémorroïdes (**Mohammed et al., 2011**).

Tableau 4. Composition minérale de *Caulerpa racemosa* par rapport à l'AJR
(**Kumar et al., 2010**).

	Na	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn
<i>C. racemosa</i> (mg 10 g ⁻¹ MS)	106 (4)	50 (3)	47 (6)	16 (1)	2.9 (7)	0.0 (6)	0.6 (8)
*RDA (mg 100 g ⁻¹ MS)	1500	2000	800	375	14	1	10

*(AJR) = (RDA) est l'apport journalier recommandé en minéraux pour les adultes de sexe masculin selon la direction générale de la santé et des consommateurs de l'UE.

Les valeurs indiquées dans () représentent le % approximatif des valeurs RDA fournies par 10 g de *C. racemosa* sec.

Selon le tableau 3, *Caulerpa racemosa* est riche en minéraux ; Le calcium, qui fonctionne comme un cofacteur pour de nombreuses enzymes extracellulaires, est bien connu pour renforcer les os, la structure des dents et la contraction musculaire. Le Zn et le Cu sont des cofacteurs essentiels pour les systèmes enzymatiques (cytochrome C-oxydase), stabilisent les membranes, les hormones et les acides nucléiques. La teneur plus élevée en Fe dans *Caulerpa racemosa* pourrait être due à la disponibilité d'un plus grand espace intercellulaire (**Kumar et al., 2010**).

➤ Teneur en vitamine

Caulerpa racemosa est riche en acide folique, acide ascorbique, vitamine A et B1 (thiamine). De plus, la *Caulerpa* est utilisée en médecine traditionnelle pour réduire la pression sanguine et pour traiter les rhumatismes (**Chew, 2008 in Fithriani, 2015**).

III. 1. 2. Formulation d'aliments fonctionnels à partir de *caulerpa racemosa*

Les aliments fonctionnels à base de *Caulerpa racemosa* pourraient être servis sous forme de boissons, de sauces, de jus, de salades fraîches et ajoutés à des produits carnés pour donner des fibres. L'utilisation de *Caulerpa racemosa* sous forme de salade fraîche reste possible, comme les fruits et légumes consommés frais sont la forme la plus simple d'un aliment fonctionnel (**Rasmussen et Morrissey 2007 in Fithriani, 2015**).

Tableau 5. Principaux types d'aliments fonctionnels (Fithriani, 2015).

Type d'aliments fonctionnels	Définitions	Exemples
Produit fortifié	Un aliment enrichi en nutriments supplémentaires	Jus de fruits enrichis en vitamine C
Produits enrichis	Un aliment auquel on a ajouté de nouveaux nutriments ou composants que l'on ne trouve pas normalement dans un aliment donné	Margarine avec ester de stérol végétal, probiotiques, prébiotiques
Produits altérés	Une denrée alimentaire dont un composant délétère a été éliminé, réduit ou remplacé par une autre substance ayant des effets bénéfiques	Fibres comme dégraissseurs dans les produits à base de viande ou de crème glacée
Produits de base améliorés	Un aliment dont l'un des composants a été naturellement amélioré grâce à des conditions de culture particulières, une nouvelle composition, manipulation génétique, ou autre	Œufs à teneur accrue en oméga-3 obtenue par des frais de poulet modifiés

La réalisation d'aliments fonctionnels implique deux aspects :

- D'une part, la sélection et la caractérisation des composants bioactifs dans l'aliment, la conception et le développement technologique de l'aliment et l'évaluation des facteurs qui modifient son contenu/biodisponibilité ;
- D'autre part, l'évaluation de l'effet fonctionnel à l'aide de modèles in vitro et in vivo qui fournissent des informations sur les mécanismes d'action, l'impact sur la fonction-réponse in vivo, la relation dose-réponse et les effets aigus et chroniques (Howlett, 2008 in Fithriani, 2015).

Caulerpa racemosa est riche en minéraux, vitamines, fibres et antioxydants. Le calcium et la vitamine C sont les plus connus des consommateurs (Bornkessel, 2013 in Fithriani, 2015).

Dans la formulation de *Caulerpa racemosa*, en tant qu'aliment fonctionnel, nous devons nous préoccuper des autres ingrédients qui ne doivent pas avoir d'effets néfastes sur la santé, se préoccuper de ce que les consommateurs savent, ce qu'ils veulent, et savoir ce que

les consommateurs pensent de leur santé, ce qui désigne la clé du succès des aliments fonctionnels (Fithriani, 2015).

III. 2. Valorisation dans le secteur industrielle

Récemment, il y a un intérêt croissant pour le développement des stratégies pour le contrôle des algues envahissantes et leur exploitation comme source de métabolites secondaires. Stabili *et al.* (2016) affirment l'un des points importants à mettre en œuvre pour l'utilisation optimale en biotechnologie de l'algue envahissante méditerranéenne *Caulerpa cylindracea*. ils ont rapporté les résultats de déférentes auteurs :

Les résultats de Gupta (1991) montrent que la fraction lipidique de l'algue *C. cylindracea*, renferme du polyhydroxybutyrate (PHB), un polymère naturel, linéaire, biodégradable et biocompatible appartenant au groupe des polyesters des bioplastiques. Le PHB est synthétisé par des micro-organismes (telles les algues rouges) comme une forme de granules de stockage d'énergie et utilisé lorsque les autres sources d'énergie ne sont pas disponibles.

En raison de la dégradation rapide et de la non-toxicité des produits finaux, le PHB représente un ingrédient important pour la production de polymères utilisés dans diverses applications biotechnologiques telles que la production de plusieurs dispositifs médicaux et de plastique compostable (Pachekoski, 2009).

Caulerpa cylindracea pourrait représenter l'une des alternatives pour la production de bioplastiques car il s'agit d'une excellente ressource renouvelable en raison de son fort potentiel de bio invasion et de son taux de croissance élevé. Le développement technologique des bioplastiques à base d'algues marines est encore en phase de recherche. Le défi est d'obtenir des avancées significatives dans l'industrie des bioplastiques pour faire des bioplastiques à base d'algues marines une alternative concrète dans le futur (Noreen, 2016).

III. 3. Valorisation dans le secteur agricole (engrais verts)

Plusieurs travaux présentent l'origine du courant de recherche sur les régulateurs de croissance végétale présents dans les extraits de *C. racemosa*. L'auteur Ekici (2012) propose de rendre compte leurs effets.

Des échantillons ont été extraits avec de l'eau distillée et de l'acétate d'éthyle. Les graines d'*Allium cepa*, ont été choisies pour les tests biologiques. Ces graines ont été traitées

avec l'extrait de *C. racemosa*. L'effet régulateur sur la croissance des plantes, des extraits d'algues a été étudié sur la longueur des racines et la longueur des pousses.

➤ **Les effets du CRWE sur la croissance d'*Allium cepa***

Le CRWE (*Caulerpa racemosa* water extract) a été obtenu directement à partir de l'algue.

- Comme la salinité de l'extrait était considérablement élevée, les taux de croissance des plantes ont été réduits au lieu d'augmenter, en raison de l'intolérance au sel de *A. cepa*.
- Une augmentation de la croissance des bulbes d'*A. cepa* a été observée suite à un traitement par CRWE à 15%. Au-delà de cette concentration, le taux de croissance des plantes a diminué.
- L'utilisation de 5% de CRWE a eu pour effet, l'augmentation de la longueur des racines de *Allium cepa*. Des concentrations plus élevées ont provoqué une diminution de la croissance. Ceci met en relief l'effet négatif de la concentration élevée en sel dans le CRWE.
- Contrairement à la longueur des racines, la longueur des pousses augmente jusqu'à 15% de CRWE. Néanmoins, les effets négatifs du sel sur la croissance sont apparus avec une concentration de 20 %.

C. racemosa a été étudié du point de vue de son effet de stimulation de la croissance des plantes. Elle pourrait être utilisée comme bio-fertilisant et être appliquée directement dans les champs agricoles. L'objectif était de transformer un problème naturel, l'invasion de *C. racemosa*, en une solution pour une meilleure croissance agricole sans produits chimiques, comme les hormones qui sont très nocives pour la santé humaine (**Cavas, non daté**).

En conclusion, On peut dire que l'extrait de *C. racemosa* peut être utilisé comme un stimulant de la croissance. La biomasse de *C. racemosa* peut être évaluée comme promoteur de croissance naturel dans l'agriculture biologique (**Ekici, 2012**).

Conclusion générale

Conclusion générale

La réalisation de nouvelles études implique également de nouvelles informations sur l'introduction de l'espèce *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* dans l'environnement. Comme beaucoup d'autres espèces, il y a une confusion dans la littérature concernant la classification taxinomique de l'algue dans leur domaine des eucaryotes.

De nombreux travaux de prospection et d'identification ont permis de mentionner sa présence un peu partout dans le monde, et dans différentes zones du littoral algérien. Ceci met en évidence sa valence écologique assez étendue.

Son abondance et sa capacité de coloniser divers milieux, au détriment d'autres algues concurrentes, peuvent révéler une activité phytotoxique qui lui permet de se propager avec succès.

Caulerpa racemosa var. *cylindracea* présente plusieurs vertus dans les domaines alimentaire, industriel et agricole. Ce qui en fait une ressource naturelle à exploiter dans le futur.

Cette étude bibliographique préliminaire nous a permis de mettre en évidence que la *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* est une algue prometteuse pour la valorisation :

- Elle présente un intérêt certain pour des applications en alimentation humaine. Sa richesse en minéraux, en acides antioxydants et en vitamines en font un aliment bénéfique pour la santé humaine (**Fithriani, 2015**).
- L'extrait lipidique de l'algue permet sa valorisation dans le secteur industrielle. La présence d'un polymère naturel le polyhydroxybutyrate (PHB), c'est un ingrédient important dans les applications biotechnologiques de fabrication de plastique biologique (biodégradable) respectueux de l'environnement (**Stabili et al., 2016**).
- Dans le domaine de l'agriculture, l'extrait de l'algue pourrait être utilisé comme un stimulateur de la croissance des racines, des pousses, et de la germination de certaines plantes. Son utilisation dans l'agriculture biologique s'avère prometteuse (**Ekici, 2012**).

Liste des références bibliographiques

B :

Baskin, Y., Yazici, Z., Baskin, H., Ozkul, A., Olgun, N., et Bahar, I. H., (2005). Selective Apoptotic Behavior of Bovine Herpes Virus 1 in an Epithelial-Like Microenvironment, *Acta. Vet. Hung.*, vol. 53, pp. 479–491.

Belton, G. S., Draisma, S. G., Prud'homme van Reine, W. F., Huisman, J. M., et Gurgel, C. F. D., (2019). A taxonomic reassessment of *Caulerpa* (Chlorophyta, *Caulerpaceae*) in southern Australia, based on tuf A and rbc L sequence data. *Phycologia*, 58(3), 234-253.

Bentaallah, M. E. A., et 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*, Vol. 7, 157-164.

Bornkessel, S., Bröring, S., Omta S, O., Trijp, H., (2013). What determines ingredient awareness of consumers A study on ten functional food ingredients. *Food Quality and Preference*.

Boudouresque, C.F., Lemée, R., Mari, X., Meinesz, A., (1996). The invasive alga *Caulerpa taxifolia* is not a suitable diet for the sea urchin *Paracentrotus lividus*. *Aquatic Botany* 53:245-250.

Bouiadjra, B. B., Taleb, M. Z., Marouf, A., Benkada, M. Y., & Riadi, H., (2010). First record of the invasive alga *Caulerpa racemosa* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Gulf of Arzew (western Algeria). *Aquatic Invasions*, 5(1), S97-S101.

Bouiadjra, B. B., (2012). L'étude de la flore algale benthique et les impacts de ses espèces invasives devant la côte mostaganémoise. Thèse de doctorat. Université de Mostaganem ‘‘Abdelhamid Ibn Badis’’.

C :

Cavas, L., et Yurdakoc, K., (2005). An investigation on the antioxidant status of the invasive alga *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Sonder) Verlaque, Huisman, et Boudouresque (Caulerpales, Chlorophyta). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 325(2), 189-200.

Cavas, I., Baskin, Y., Yurdakoc, K., Olgun, N., (2006). Antiproliferative and newly attributed apoptotic activities from an invasive marine alga: *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 339, 11–119.

Ceccherelli, G., Piazzini, L., Balata, D., et Cinelli, F., (2001). Comparative study of the growth of the two co-occurring introduced green algae *Caulerpa taxifolia* and *Caulerpa racemosa* along the Tuscan coast (Italy, western Mediterranean). Cryptogamie Algologie, 22(4), 459-466.

Ceccherelli, G., Piazzini, L., Balata, D., (2002). Spread of introduced *Caulerpa* species in macroalgal habitats. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 280, 1-1.

Chew, YL., Lim, YY., Omar, M., Khoo, KS., (2008). Antioxidant activity of three edible seaweeds from two areas in South East Asia. LWT 41; 1067-1072.

E:

Ekici, E. M., (2012). Elucidation of plant growth promoters in the extract of *Caulerpa racemosa*. Thèse de doctorat. DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

F:

Fithriani, D. (2015). Opportunities And Challenges for Developing *Caulerpa racemosa* as Functional Foods. KnE Life Sciences, p. 85-96.

G :

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

Garrido, M. (2008). Intérêt du Système d'Information Géographique dans la gestion intégrée du littoral à travers deux exemples. Thèse de doctorat. université de Corse, France.

Gennaro, P., et Piazzini, L. (2011). Synergism between two anthropic impacts: *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* invasion and seawater nutrient enrichment. Marine ecology progress series, 427, 59-70.

Gennaro, P., et Piazzini, L. (2014). The indirect role of nutrients in enhancing the invasion of *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea*. Biological invasions, 16(8), 1709-1717.

Ghellai, M. (2021). L'expansion, le contrôle et le suivi de l'algue marine invasive : *Caulerpa racemosa* Var. *cylindracea* (Forsskal) J. Agardh ; devant la côte ouest algérienne. Thèse de doctorat. Université de Mostaganem 'Abdelhamid Ibn Badis'.

Gravez, V., Boudouresque, C.F., Ruitton, S., (2005). Proposition d'une stratégie de contrôle des espèces envahissantes marines dans les eaux du Parc national de Port-Cros, illustrée par le cas de deux espèces de *Caulerpa*. GIS Posidonie et Parc national de Port-Cros publ., Fr : 1-68.

Gupta, M.P., Gómez, N.E., Santana, A.I., Solis, P.N., Palacios, G., (1991). Antimicrobial activity of various algae of the Panamanian Atlantic coast. Rev. Med. Panama, 16, 64–68.

H:

Howlett, J. (2008). Functional Foods From Science to Health and Claims: ILSI Europe concise monographs series.

I:

Ittis, A. (1980). Les algues. Flore et Faune aquatiques de l'Afrique sahélo-soudanienne, 1, 9-61.

Islam, M. M., Hoq, M. E., Ali, M. Z., Hasan, S. J., Sharif, A. S. M., et Bhuyan, M. S., (2020). Diversity and occurrence of seaweeds from the south-eastern coast of Bangladesh.

J:

Jung, V., Pohner, G., (2001). Rapid wound- activated transformation of the green algal defensive metabolite caulerpenyne tetrahedron in press.

Jung, V., Thibaut, T., Meinesz, A., and Pohnert, G., (2002). Comparison of the Wound-Activated Transformation of Caulerpenyne by Invasive and Noninvasive *Caulerpa* Species of the Mediterranean, Journal of Chemical Ecology., vol. 28, pp. 2091–2105.

K:

Kastan, M.B., Onyekwere, O., Sidransky, D., Vogelstein, B., et Craig, R. W., (1991). Participation of p53 Protein in the Cellular Response to DNA Damage, Cancer Res., vol. 51, pp. 6304– 6311.

Klein, J., et Verlaque, M. (2008). The *Caulerpa racemosa* invasion: a critical review. Marine pollution bulletin, 56(2), 205-225.

Kumar. M., Gupta. V., Kumari. P., Jha. B., (2010). Assessment of nutrient composition and antioxidant potential of *Caulerpaceae* seaweeds. Journal of Food Composition and Analysis 24: 270–278.

Kurt, O., Ozdal-Kurt, F., Tuglu, I., Deliloglu-Gurhan, S. I., et Ozturk, M., (2009). Neurotoxic effect of *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* by neurite inhibition on the neuroblastoma cell line. Russian journal of marine biology, 35(4), 342-350.

L:

Lamouti, S., Rebzani, C., et Bachari., N.E.I., (2011). Répartition de deux espèces introduites à caractère invasif dans la région centre de la côte algéroise : *Caulerpa racemosa* et *Oculina patagonica*. Actes de la "Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime". Tanger, 2^{ème} édition, p. 361-366,

Leclerc, V., floch, J.Y., (2010). Les secrets des algues. Algues à tout faire. Édition Quae, 167.

M:

Mohamed, S., Hashim, SN., Rahman, HA., (2011). Seaweeds: A sustainable functional food for complementary and alternative therapy. Trends in food science and technology.

N:

Nizamuddin, M. (1991). The Green Marine Algae of Libya. Elga Publ., Bern Switzerland. 227.

Noreen, A., Zia, K.M., Zuber, M., Ali, M., Mujahid, M. A., (2016). Critical review of algal biomass: A versatile platform of bio-based polyesters from renewable resources. International journal of biological macromolecules, 86, 937–949.

O:

Otero, M., Cebrian, E., Francour, P., Galil, B., et Savini. D., (2013). Monitoring marine invasive species in Mediterranean marine protected areas (MPAs): a strategy and practical guide for managers. IUCN, Malaga, 136.

Ould ahmed. N, et Meinesz. A, (2007). First record of the invasive alga *Caulerpa racemosa* on the coast of Algeria. Cryptogamie, Algologie, vol. 28, n° 3, p. 303-305.

P:

Pachekoski, W.M., Marcondes Agnelli, J.A., Belem, L.P., (2009). Thermal mechanical and morphological properties of poly (hydroxybutyrate) and polypropylene blends after processing. Mater. Res. 12, 159–164.

Payri, C., Lagourgue, L., Mattio, L., Gaubert, J., et Vieira, C. (2018). Histoire d’algues Édition IRD.

Piazzì, L., Ceccherelli, G., et Cinelli, F., (2001). Threat to macroalgal diversity: effects of the introduced green alga *Caulerpa racemosa* in the Mediterranean. Marine ecology progress series, 210, 149-159.

Piazzì. L., Ceccherelli. G., Balata. D., CINELLI. F., (2003). Early patterns of *Caulerpa racemosa* recovery in the Mediterranean Sea: the influence of algal turfs. Journal of the Marine biological association of the United Kingdom 83: 27-29.

Piazzì, L., Meinesz, A., Verlaque, M., Akcali, B., Antolic, B., Argyrou, M., et Ceccherelli, G., (2005). Invasion of *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean Sea: an assessment of the spread. Cryptogamie, Algologie, 26(2), 189-202.

R:

Raniello, R., Mollo, E., Lorenti, M., Gavagnin, M. & Buia, M. C., (2007). Phytotoxic activity of caulerpenyne from the Mediterranean invasive variety of *Caulerpa racemosa*: a potential allelochemical. Biological Invasions, 9(4), 361-368.

Ruitton, S., Verlaque, M., Aubin, G., Boudouresque, C.F., (2006). Grazing on *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean sea by herbivorous fish and sea urchins. Vie et Milieu 56 (1), 33–41. Marine biology and ecology 321, 35–41.

Ruitton, S., Javel, F., Culioli, J.M., Meinesz, A., Pergent, G., Verlaque, M., (2005) a. First assessment of the *Caulerpa racemosa* (caulerpales, chlorophyta) invasion along the French mediterranean coast. Mar. Pollut. Bull. 50, 1061–1068.

Ruitton, S, Verlaque, M, Boudouresque, C.F, (2005) b. Seasonal changes of the introduced *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Caulerpales, Chlorophyta) at the northwest limit of its Mediterranean range. *Aquat. Bot.* 82, 55–70.

S:

Sea, G. (2011). (*Caulerpa racemosa*) [archive] *Marine Species Identification Portal*.

Schroeder, H.C., Badria, F.A., Ayyad, S.N., Batel, R., Wiens, M., Hassanein, H.M.A., Kurelec, B., Mueller, W.E.G., (1998). Inhibitory effects of extracts from the marine alga *Caulerpa taxifolia* and of toxin from *Caulerpa racemosa* on multixenobiotic résistance in the marine sponge *geodia cydonium*. *Environmental toxicology and pharmacology* 5: 119-126.

Stabili, L., Frascetti, S., Acquaviva, M.I., Cavallo, R.A., De Pascali, S.A., Fanizzi, F.P., Gerardi, C., Narracci, M., Rizzo, L., (2016). The potential exploitation of the Mediterranean invasive alga *Caulerpa cylindracea*: can the invasion Be transformed into a gain? *Mar. Drugs* 14, 210.

T:

Tapotubun, A. M., Matruty, T. E., Riry, J., Tapotubun, E. J., Fransina, E. G., Mailoa, M. N., et Rieuwpassa, F., (2020). Seaweed *Caulerpa* sp position as functional food. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 517, No. 1, p. 012021).

V:

Verlaque, M., Durand, C., Huisman, J.M., Boudouresque, C.F., Le Parco, Y., (2003). On the identity and origin of the Mediterranean invasive *Caulerpa racemosa* (Caulerpales, Chlorophyta). *European journal of phycology* 38, 325-339.

W:

Wynne, M. J., Verbruggen, H., et Angel, D. L., (2009). The recognition of *Caulerpa integerrima* (Zanardini) comb. Et stat. nov. (Bryopsidales, Chlorophyta) from the Red Sea. *Phycologia*, 48(4), 291-301.

Z:

Zuljevic, A., Antolic, B., Onofri, V., (2003). First record of *Caulerpa racemosa* (Caulerpales: Chlorophyta) in the Adriatic Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the UK* 83, 711–712.

Thème
Étude bibliographique sur la toxicité d'une algue verte : *Caulerpa racemosa* (Var : *cylindracea*)

Résumé

Dans le cadre des services assurés pour le développement des ressources naturelles en tant que bio ressources de valorisation et application dans la vie, elles revêtent un intérêt international croissant d'évolution des algues. *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* subissent une prends soin anthropique sur l'origine, la répartition, la classification, et la valorisation dans les différents domaines alimentaires, industrielles, agricoles comme engrais vert, et dans l'énergie tant que source de biogaz et des recherches sont faites sur la cosmétique de la *Caulerpa* sp.

Pour la plupart des recherches il y a une importance mondiale de *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* protégée par des conventions internationales, elles ont subi une exploitation bénéfique de leur prolifération et propagation dans la méditerranée.

L'objet de cette étude bibliographique est d'apporter le maximum d'informations sur la biologie, l'écologie et la toxicité de l'algue qui envahie peu à peu le littoral algérien. En sus, des possibilités de sa valorisation dans les domaines de la consommation alimentaire, dans le domaine agricole (engrais verts), dans le domaine de l'industrie, plus particulièrement dans la production des biogaz (comme source énergétique propre).

Mots-clés : *Caulerpa cylindracea* Sonder, toxicité, propagation, valorisation, biogéographie.

Abstract

Within the framework of the services provided for the development of natural resources as bio resources of valorization and application in the life, they take an increasing international interest of evolution of the algae. *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* undergoes an anthropic care on the origin, distribution, classification, and valorization in the different fields of food, industrial, agricultural as green fertilizer, and in the energy as a source of biogas and researches are made on the cosmetics of *Caulerpa* sp.

For most of the research there is a global importance of *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* protected by international conventions, they have undergone a beneficial exploitation of their proliferation and spread in the Mediterranean.

The purpose of this bibliographic study is to bring the maximum of information on the biology, ecology and toxicity of the alga which invades little by little the Algerian littoral. In addition, the possibilities of its valorization in the fields of food consumption, in the agricultural field (green fertilizers), in the field of the industry, more particularly in the production of biogas (as a clean energy source).

Keywords: *Caulerpa cylindracea* Sonder, toxicity, propagation, valorization, biogeography.

ملخص

كجزء من الخدمات المقدمة لتنمية الموارد الطبيعية كمصادر حيوية للتقييم والتطبيق في الحياة، تعنى الطحالب باهتمام دولي متزايد. فإن *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* تخضع لرعاية بشرية المنشأ من حيث الأصل والتوزيع والتصنيف والتثمين في مختلف المجالات الغذائية والصناعية والزراعية مثل السماد الأخضر وفي الطاقة كمصدر للغاز الحيوي ويتم إجراء الأبحاث على مستحضرات التجميل من *Caulerpa* sp.

بالنسبة لمعظم الأبحاث، هناك أهمية عالمية لـ *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* المحمي بموجب الاتفاقيات الدولية، فقد خضعوا لاستغلال مفيد لانتشارها وتكاثرها في البحر الأبيض المتوسط.

الغرض من هذه الدراسة البيولوجية هو توفير أكبر قدر ممكن من المعلومات حول بيولوجيا وبيئة وسمية الطحالب التي تغزو الساحل الجزائري تدريجياً. بالإضافة إلى إمكانيات تقييمها في مجالات استهلاك الغذاء، في المجال الزراعي (الأسمدة الخضراء)، في مجال الصناعة، وبشكل خاص في إنتاج الغاز الحيوي (كمصدر للطاقة النظيفة).

الكلمات المفتاحية: السمية، الانتشار، التقييم، الجغرافيا الحيوية، *Caulerpa cylindracea* Sonder.