

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Seddik Benyahia- Jijel

جامعة محمد الصديق بن يحي جيجل

Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département des sciences de l'environnement  
et des sciences agronomiques



كلية علوم الطبيعة و الحياة

قسم علوم المحيط و العلوم الزراعية

## Mémoire de fin d'études

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

- ♣ **Domaine** : SNV
- ♣ **Filière** : Sciences agronomiques
- ♣ **Option** : Phytopharmacie appliquée

## THEME

**Etude des propriétés pharmaceutiques de certaines espèces  
d`algues du littoral Jijilienne contre les microorganismes  
pathogènes**

Jury :

**Président** : Dr. Benabdelkader M

**Examineur** : Dr. Bouziane Z

**Encadreur** : Dr. Mekircha F

présenté par :

**Benmerzouk Lynda**

**Ben saali Oumnia**

Numéro d'ordre : .....

Session : Octobre 2020

# *Remerciements*

*Au terme de ce travail ; Nous remercions tout d'abord  
« Allah » le tout puissant de nous avoir donné La foi,  
Qui nous a guidé et éclairé notre chemin ; et de nous avoir  
Donné le courage, la force, la volonté et la patience pour La  
réalisation et l'élaboration de notre travail.*

*Nous tenons à remercier profondément notre  
encadreur Madame Mekircha Fatima pour sa disponibilité,  
ses efforts et ses encouragements qui nous ont permis de  
mener à bien cette étude.*

*Nous tenons à remercier les membres de jury, qui vont  
évaluer notre travail pendant notre soutenance.*

*Enfin, nos remerciements s'adressent à toutes les personnes  
qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce  
travail et qui nous ont encouragé et soutenu à tout  
moment.*

*Un grand merci à tous!*



# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail*

*A ceux qui m'ont tout donné sans rien en retour*

*A ceux qui m'ont encouragé et soutenu dans mes moments les plus durs et ceux à qui je dois tant*

*A mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné l'amour et la force et dont je suis fière et reconnaissant d'avoir comme parents.*

*A Mon cher frère Mahmoud*

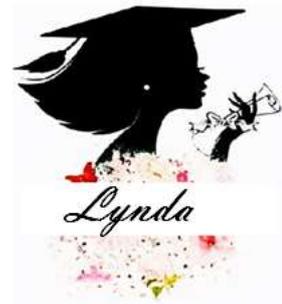
*A Mes très chères sœurs, Imen, yasmîna et Khalîda*

*A toute ma famille*

*A mon binôme Oumnia, qui m'a supporté tout le long de ce travail et à qui je souhaite tout le Bonheur du monde et de la réussite.*

*A tous les gens de ma promotion, enseignants et étudiants.*

*A mes amis et à toutes les personnes qui me sont chères.*



# *Dédicaces*

*A l'aide de dieu tout puissant, qui m'a tracé le chemin de ma vie,*

*J'ai pu réaliser ce travail que je dédie :*

*A la lumière de mes yeux, l'ombre de mes pas et le bonheur de ma vie ma mère qui m'a apporté son appui durant toutes mes années d'étude, pour son sacrifice et soutien qui m'ont donné confiance, Courage et sécurité.*

*A mon cher père qui m'a appris le sens de la persévérance tout au long de mes études, pour son sacrifice ses conseils et ses encouragements.*

*A ma chère sœur doua, A mes frères Aymen et Sidali*

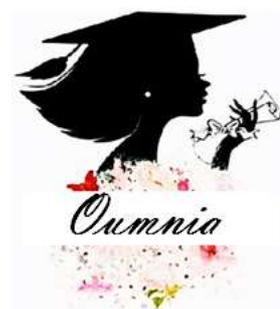
*Et A mon fiancé Abdallah-Bachir pour leurs aides, leurs générosités, leurs encouragements et leurs disponibilités*

*A tout la famille Bensaali*

*A mon binôme Lynda, qui m'a supporté tout le long de ce travail et à qui je souhaite tout le Bonheur du monde et de la réussite.*

*A tous les gens de ma promotion, enseignants et étudiants.*

*A mes amis et à toutes les personnes qui me sont chères.*



## LISTE DES ABREVIATIONS

**%** : Pourcentage

**µg/µl** : microgramme/ microlitre

**°C** : Degrè Celsius

**A** : Acetone

**C** : Chloroforme

**CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>** : Dichloromethane

**D** : Ether diethylique

**EA** : Acetate d'ethyle

**etc** : et cetera

**FAO** : Forme active de l'oxygène

**F.O.L** : *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*

**g** : gramme

**H** : Hexane

**H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>** : Peroxyde d'hydrogène

**HR** : Réponse hypersensible locale

**M** : Methanol

**MeOH** : Le méthanol ou alcool méthylique

**mcg** : millicentigramme

**mg** : milligramme

**mm** : millimetre

**PDA** : Potato Dextrose Agar

**W** : Aqueux

---

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 01</b> : représentation morphologique d'une macroalgue brune de genre <i>Laminaria</i> .....	02
<b>Figure 02</b> : la répartition des macroalgues .....	04
<b>Figure 03</b> : Distribution des diamètres des zones d'inhibition en fonction de l'extrait d' <i>Ulva lactuca</i> testé sur quatre bactéries .....	15
<b>Figure 04</b> : Index d'adhésion du <i>P. digitatum</i> aux cellules d'orange en présence des extraits d'algues d' <i>Ulva linza</i> .....	19
<b>Figure 05</b> : Effets de l'extrait éthanolique de <i>Cystoseira tamariscifolia</i> sur la croissance des thalles de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>Lycopersici</i> .....	22
<b>Figure 06</b> : La structure chimique de la laminarine présente dans l'algue brune <i>Laminaria digitata</i> .....	24
<b>Figure 07</b> : Formation de papilles dans des tissus racinaires de plants de tomate infectés par le <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis-lycopersici</i> Observations en microscopie électronique à haute résolution.....	25
<b>Figure 08</b> : Evènements de mise en place des réponses de défense de la plante suite à la reconnaissance de la laminarine. ....	25

---

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 01:</b> Caractéristiques importantes des groupes d'algues .....	03
<b>Tableaux 02 :</b> les six des espèces d'algues étudiées .....	10
<b>Tableau 03:</b> Evaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait d'algue ( <i>Ulva lactuca</i> ) ....	13
<b>Tableau 04 :</b> Diamètres des zones d'inhibition en fonction des antibiotiques sur les bactéries testées.....	15
<b>Tableau 05 :</b> l'activité antifongiques de différents extraits sur les pathogènes .....	16
<b>Tableau 06:</b> Inhibition de la croissance de <i>F.O.L.</i> par les différents extraits testés .....	21
<b>Tableau 07:</b> Inhibition de la croissance de <i>F.O.L.</i> par différentes concentrations de l'extrait éthanolique .....	21

# SOMMAIRES

Liste des Abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

**Introduction** ..... 1

## **Chapitre I: Généralités sur les algues marines**

1	Définition des algues marines .....	2
2	Classification.....	2
3	Mode de Reproduction .....	5
4	La composition chimique des macroalgues marines.....	5
4.1	Les protéines .....	5
4.2	Les lipides .....	6
4.3	Les polysaccharides.....	6
4.4	Les éléments minéraux et oligo-éléments.....	6
4.5	Les fibres .....	6
4.6	Les vitamines .....	7
4.7	Les caroténoïdes.....	7
4.8	Les métabolites secondaires.....	7
5	Principales utilisations des macroalgues .....	8
5.1	Utilisations des macroalgues en agriculture .....	8
5.2	Utilisations des macroalgues en cosmétiques .....	9
5.3	Utilisations des macroalgues en domaine pharmaceutique .....	9
5.4	Utilisations des macroalgues dans le domaine Environnemental .....	9
6	Les espèces d'algues les plus fréquentes dans le littoral Jijilienne.....	9

## **Chapitre II : Etude des propriétés pharmaceutiques de certaines espèces d'algues étudiées**

1	L'action directe des macroalgues sur les microorganismes pathogènes humains .....	12
1.1	Evaluation de l'activité antibactérienne .....	12
1.2	Evaluation de l'activité antifongique .....	16
1.2.1	Effet antifongique de l'algue brune <i>Sargassum wightii</i> .....	17

1.2.2	Effet antifongique de l'algue brune <i>Turbinaria conoides</i> .....	17
2	L' action directe contre les champignons pathogènes végétaux .....	18
2.1	1 <sup>er</sup> cas : Etude <i>in vitro</i> et <i>in vivo</i> de l'activité anti/ <i>Penicillium digitatum</i> d'extraits algues <i>Ulva linza</i> .....	18
2.1.1	Effet <i>in vitro</i> des extraits d' <i>Ulva linza</i> sur l'inhibition de la croissance de <i>Penicillium digitatum</i> .....	18
2.1.2	Effet post/récolte des extraits d' <i>Ulva linza</i> sur l'infection par <i>Penicillium digitatum</i> .....	19
2.1.3	Effet des extraits d' <i>Ulva linza</i> sur l'inhibition de l'adhésion des spores fongiques de <i>Penicillium digitatum</i> sur les cellules d'oranges .....	19
2.2	2 <sup>ème</sup> cas : Etude <i>in vitro</i> de l'activité anti/ <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> de l'algue marine <i>Cystoseira tamariscifolia</i> .....	20
2.2.1	Inhibition de la croissance de <i>F. oxysporum</i> . f sp. <i>lycopersici</i> .....	21
3	L' action indirect : Amélioration de la résistance accrue des plantes aux maladies .....	23
3.1	L' action de la laminarine .....	23
	<b>Conclusion</b> .....	27

### Références bibliographiques

### Annexes

### Introduction

La terre est la planète bleue où l'eau recouvre plus de 70% de sa surface. Elle abrite des organismes marins riches en composés doués d'activités biologiques, présentant une énorme ressource de nouveaux composés. Beaucoup d'extraits isolés à partir des organismes marins présentent une potentialité pharmacologique, bien supérieure à celle de produits naturels provenant d'organismes terrestres (**Ali El-Gamal, 2010**) ; Parmi ces organismes marins, les algues, forment la principale végétation des mers et des océans et représentées par un nombre considérable de familles du sous-règne thallophyta. Elles sont regroupées essentiellement en trois divisions à savoir Chlorophyta, Phaeophyta et Rhodophyta (**Lakhdar, 2018**). Les algues marines synthétisent une grande variété de métabolites secondaires chimiquement actifs, qui sont utilisées pour la défense contre les microorganismes pathogènes. Ces métabolites de défense sont produits par plusieurs espèces de macroalgues qui constituent un énorme réservoir de molécules naturelles potentiellement actives (**Blunt et al., 2009 ; Younes et al., 2009**).

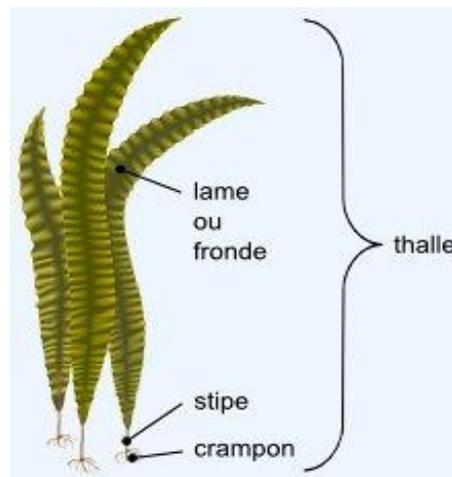
L'augmentation de la résistance des microorganismes aux agents antimicrobiens utilisés, est due à l'usage abusif et inapproprié des antibiotiques, ceci pose à l'heure actuelle de très sérieux problèmes. En effet, les maladies causées par les microorganismes sont de plus en plus difficiles à traiter par les médicaments existants (**Orthan et al., 2010**). Ainsi les scientifiques, se sont orientés vers la recherche de nouvelles sources, notamment les végétaux qui ont toujours constitué une source de composés bioactifs d'origine naturelle (**Keita et al., 2004**). L'activité antimicrobienne des algues marines est considérée comme un indicateur de leur capacité à synthétiser des métabolites secondaires bioactifs (**Davies et Beukes, 2004**).

Notre travail est une synthèse bibliographique regroupant les connaissances sur les propriétés phyto/pharmaceutiques des algues et leurs applications contre les microorganismes pathogènes humaines et végétaux.

L'étude présentée dans ce mémoire se divise en deux parties. Tout d'abord, nous avons cherché à présenter clairement les caractéristiques des algues dans le premier chapitre. Tandis que dans le deuxième chapitre, nous nous sommes intéressées aux activités antimicrobiennes potentielles de certaines espèces d'algues réputées très riches en termes de substances bioactives et largement détaillées dans les études antérieures.

### 1 Définition des algues marines

Les algues sont des organismes photosynthétiques que l'on trouve dans les milieux aquatiques d'eau douce ou marine, ainsi que dans de nombreux milieux terrestres (sur le sol, sur le tronc des arbres, sur les vieux murs humides...etc). Elles comprennent 20 000 à 30 000 espèces dans le monde, soit 18% du règne végétal (**Garon-Lardiere, 2004**). Ce sont des végétaux chlorophylliens dont l'appareil végétatif, appelé thalle (Figure 1), est caractéristique propre aux plantes inférieures, dépourvues de tige, de graines, de racines et de vaisseaux et extrêmement varie de forme et de couleur (**Agoun et Lounis, 2012**). Elles peuvent être libres ou fixées sur un support, leurs taille varie de moins d'un micromètre tel l'algue prochlorococcus à plusieurs dizaines de mètres pour les macrocystes (**Leclerc et Floc'h, 2010**) (Figure 01). Les algues constituent une part très importante de la biodiversité, et une des bases des réseaux trophiques des milieux aquatiques d'eaux douces, saumâtres et marines. Elles sont aussi utilisées dans l'alimentation humaine, par l'agriculture et par l'industrie (**Memory, 2011**).



**Figure 01** : Représentation morphologique d'une macroalgue brune de genre *Laminaria* (**Auxbulles, 2008**).

### 2 Classification

Les caractères d'ordre morphologiques, cytologiques et biochimiques (la nature des pigments photosynthétiques + la nature des polyholosides de réserve et de soutien) sont ceux qui ont le rôle le plus important dans la classification (**Ittis, 1980**). En effet, les algues sont un groupe d'organismes très diversifiés qui varient en forme et en grosseur : unicellulaire, multicellulaire, coloniale, filamenteuse, amas de protoplastes (**Memory, 2006**).

La composition pigmentaire basée sur les trois types de pigments suivants : les chlorophylles, les caroténoïdes et les phycobiliprotéines permet de répartir les algues en plusieurs divisions (**Leclerc et Floch, 2010**) (Tableau 01).

**Tableau 01:** Caractéristiques importantes des groupes d'algues (**Demoulin et Leymergie, 2009**)

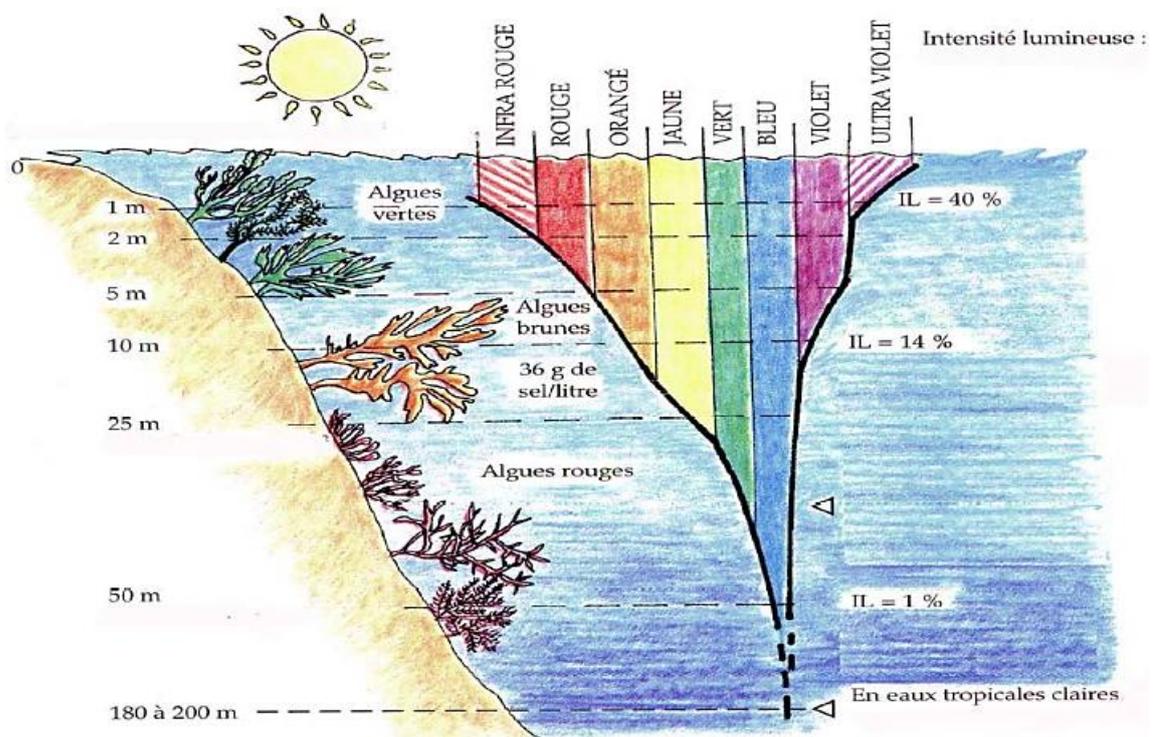
<b>Embranchement (Règne)</b>	<b>Nom commun</b>	<b>Nombre d'espèces</b>	<b>Pigments</b>	<b>habitat</b>
<b>Chlorophytes (Protistes)</b>	Algues vertes	7500 d'espèces	Chlorophylle (a, b) Xanthophylles Carotènes	Eau douce, saumâtre salée et terrestre
<b>Phéophytes (plantes)</b>	Algues brunes	1500 d'espèces	Chlorophylle (a, c) Xanthophylles Carotènes fucoxanthine	Eau salée et saumâtre
<b>Rhodophytes (plantes)</b>	Algues rouges	3900 d'espèces	Chlorophylle (a) Xanthophylles Carotènes, Zéaxanthine, Phycocyanine C, Phycoérythrine	Eau douce, saumâtre et salée
<b>Cyanophytes (Procaryotes)</b>	Cyanobactéries, Algues bleues	15000 d'espèces	Chlorophylle (a), Allophycocyanines, Phycocyanine, Phycoérythrine, Phycoérythrocyanine	Eau riche en minéraux

Cependant nous intéresserons qu'aux trois grandes divisions d'algues marines macroscopiques qui sont: Les chlorophycées (algues verts), les phéophycées (algues brunes) et les rhodophycées (algues rouges) en termes de leurs visibilités à l'œil nu, à la disponibilité immédiate de biomasse importante et surtout à la richesse de leur composition chimique.

- **Les Chlorophycées** ou algues vertes, jouent un rôle important dans l'oxygénation des eaux et se sont sensibles aux radiations rouges qui dominent dans les couches superficielles de la mer (situées entre 1 et 5 mètres de profondeur) (Figure 02). Elles sont de formes très variées, uni- ou pluricellulaires. Leurs plastes sont colorés en vert par les chlorophylles a et b, auxquelles sont associés aux carotènes et xanthophylles. La photosynthèse permet la formation d'amidon, comme pour les plantes supérieures (**Guillaume, 2010**).

- **Les Phéophycées** ou algues brunes, De structure généralement pluricellulaire et de dimensions très variables, elles présentent une couleur brunâtre résultant de l'association de pigments dominants, à savoir la xanthophylle et la fucoxanthine et se situent entre 5 et 25 mètres de fond de la mer (Figure 02), les Phéophycées représentent les plus grands thalles et forment les populations les plus denses (**Fellous, 2018**).

- **Les Rhodophycées** ou algues rouges, l'association de la phycoérythrine à d'autres pigments chlorophylliens est à l'origine de la coloration rosâtre des plastes de ces algues. Les rhodophycées sont des organismes pluricellulaires divisés en deux grands groupes, en fonction de leur cycle de reproduction : les bangiophycées et les floridéophycées, elles préfèrent les zones profondes (entre 25–100 mètres) où seules les radiations vertes et bleues parviennent à passer (**Fellous, 2018 ; Guillaume, 2010**) (Figure 02).



**Figure 02:** La répartition des macroalgues (**Leclerc et Floc'h, 2010**).

### 3 Mode de Reproduction

Deux modalités de reproduction existent chez les algues :

#### 3.1 Reproduction asexuée

Dans de très nombreux cas, la reproduction des algues s'effectue par multiplication végétative soit en scission binaire : division du noyau puis du cytoplasme, soit en une fragmentation de thalle aboutissant à la formation de plusieurs organismes identiques, soit en sporulation dont des spores peuvent être formées dans les cellules végétatives ordinaires ou dans des structures spécialisées appelées sporanges (**Michel, 2000**).

#### 3.2 Reproduction sexuée

Les algues eucaryotes (vertes, brunes, rouges) réalisent en plus une reproduction sexuée au cours de laquelle l'union de deux cellules reproductrices, ou gamètes, produit un œuf, ou zygote (**Guillaume, 2010**).

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). Aux cycles d'alternance de génération plus ou moins variés caractérisant leur reproduction, se superpose également une alternance de phases (de  $n$  à  $2n$  chromosomes) (**Garon-Lardiere, 2004**).

### 4 La composition chimique des macroalgues marines

Les macroalgues sont significativement différentes des plantes terrestres selon leur composition chimique, physiologique ainsi que leurs caractéristiques morphologiques (**Djilali et Kherouni, 2016**), leur composition est très variable selon les espèces, la saison, les conditions de croissance et le stress (**Person, 2010**).

#### 4.1 Les protéines

La teneur en protéines des algues marines est variable (**Chouikhi, 2013**). La richesse en protéines varie en fonction des espèces. Si les algues brunes disposent d'un contenu protéique restreint (5-11% de la matière sèche), il en va autrement des algues rouges dont certaines possèdent une fraction protéique importante (30-40% de la matière sèche). Les algues vertes, actuellement peu valorisées, présentent également un contenu protéique non négligeable puisque ce dernier peut atteindre 20% de la matière sèche (**Person, 2010**).

### 4.2 Les lipides

La teneur des lipides est très faible ; ils représentent 1-5% de la matière sèche chez les algues. Ces derniers sont riches en acides gras polyinsaturés particulièrement l'acide oméga 3 et oméga 6 qui jouent un rôle important dans la prévention des maladies cardio-vasculaires, l'arthrose et le diabète (**Zehlila, 2017**). Les lipides chez les algues sont divisés en trois classes : les lipides neutres, les glycolipides, les phospholipides (**Lakhdar, 2018**).

### 4.3 Les polysaccharides

Le fort intérêt des macroalgues réside non seulement dans leur richesse en polysaccharides classiques, comme ceux trouvés dans des plantes supérieures (amidon, cellulose), mais surtout dans leur richesse en polysaccharides très particuliers : les phycocolloïdes (18 à 45% de la masse sèche chez les algues brunes) (**Person, 2010**). Ces polysaccharides sont présentés par les alginates, les agars, les carraghénanes, les ulvanes et les fucoidiens (**Naghraoui, 2014**), qui sont largement utilisés dans l'industrie alimentaire et pharmaceutique et également dans d'autres branches de l'industrie (**Chouikhi, 2013**). Les polysaccharides sont devenus aujourd'hui une source importante de composés naturels bioactifs responsables de plusieurs activités biologiques. Ils montrent des activités antitumorales, anticoagulantes, antioxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes et antivirales (**Lakhdar, 2018**).

### 4.4 Les éléments minéraux et oligo-éléments

Les algues puisent dans la mer une richesse très importante d'éléments minéraux très variés. La teneur en minéraux varie entre 8 et 40 % de la masse sèche (**Michel, 2000**). La diversité des éléments représentés est grande : macroéléments comme le sodium, calcium, magnésium, potassium, chlore, soufre, phosphore, mais également oligo-éléments tels que l'iode, le fer, le zinc, le cuivre, le sélénium, le molybdène, ainsi que bien d'autres oligo-éléments comme le fluor, le brome, le manganèse, le bore, le nickel et le cobalt (**Person, 2010**).

### 4.5 Les fibres

Les algues contiennent des teneurs en fibres totales semblables ou légèrement élevées par rapport aux aliments terrestres, ces fibres représentent une diversité importante représentée essentiellement par l'agar agar, les carraghénanes, les xylanes, l'alginate, le fucane, le laminarane, et l'ulvane (**Chouikhi, 2013**).

### 4.6 Les vitamines

La composition vitaminique des macro-algues est intéressante, malgré de grandes variations saisonnières et des disparités liées au procédé de traitement des algues (Michel, 2000). Les algues rouges sont riches en vitamine A, par contre, les algues vertes sont riches en vitamines C. La vitamine E est bien présente dans les algues brunes. L'intérêt principal réside dans la vitamine B12 dont les teneurs sont assez importantes dans les algues contrairement aux plantes terrestres qui en sont totalement dépourvues (Lakhdar, 2018).

### 4.7 Les caroténoïdes

Toutes les macroalgues contiennent des caroténoïdes qui sont des pigments liposolubles composés des unités isoprènes. Ceux sont de puissants antioxydants (Chouikhi, 2013), ils représentent en moyenne 0,1 % du poids sec de l'algue, mais certaines espèces, dans certaines conditions environnementales, en produisent beaucoup plus (Lakhdar, 2018).

### 4.8 Les métabolites secondaires

Les métabolites secondaires sont des molécules organiques complexes synthétisées et accumulées en petites quantités par les plantes autotrophes (Naghraoui, 2014) ; les algues peuvent contenir aussi des métabolites secondaires comme les terpénoïdes, les alcaloïdes et les composés phénoliques (polyphénols et bromophénols) avec des propriétés anti oxydantes, antimicrobiennes, antifongiques et anti-inflammatoires (Chouikhi, 2013).

#### 4.8.1 Les composés phénoliques

En particulier sont considérés comme l'une des classes les plus importantes chez les algues. Leurs molécules sont formées par un ou plusieurs cycles aromatiques avec un ou plusieurs groupes hydroxyle. Les composés phénoliques sont des molécules biologiquement actives largement utilisés en thérapeutique comme vasoconstricteurs, anti-inflammatoires, inhibiteurs enzymatiques, antioxydants, anti radicalaires et antimicrobiens (Lakhdar, 2018).

#### 4.8.2 Les alcaloïdes

Les alcaloïdes sont des composés azotés présents dans les algues marines, ils sont divisés en trois groupes : alcaloïdes phényléthylamine, indole et alcaloïdes indoliques halogénés. (Naghraoui, 2014). Les alcaloïdes des algues marines sont relativement rares, comparés aux alcaloïdes végétaux terrestres, ils possèdent des activités antibactériennes, anti-

inflammatoires, antioxydantes, antitumorales et ont donc de grandes utilisations dans les industries alimentaires, pharmaceutiques et cosmétiques (**Michel, 2000**).

### 4.8.3 Les isoprénoides (Terpénoides):

Les terpénoides sont constitués d'unités isoprènes (C5). Ils sont classés en plusieurs catégories : monoterpènes (C 10), diterpènes (C20), triterpènes (C30), sesquiterpènes (C 15) et tetraterpènes (C40) (**Chouikhi, 2013**). Les algues brunes produisent des terpénoides et des acétogénines. Les algues rouges sont aussi caractérisées par la production d'un nombre impressionnant de composés halogénés. Les algues vertes, principalement les espèces de bryopsidales produisent des composés sesquiterpénoides et diterpénoides (**Naghraoui, 2014**).

Plusieurs phytohormones présentes en faibles quantités (principalement les cytokinines, l'acide abscissique et les auxines) ont été identifiées dans des produits obtenus d'algues marines, ces molécules ont une double fonction, d'une part, elles régulent les procédés de croissance, de développement et de défense, comme la division cellulaire, et d'autre part, elles jouent un rôle dans le signalement des changements de l'environnement extérieur (**Betit et Chiha, 2019**).

## 5 Principales utilisations des macroalgues

Les organismes marins sont une source de produits naturels structurellement uniques et de grande valeur, ayant des activités pharmacologiques et biologiques très variées.

### 5.1 Utilisations des macroalgues en agriculture

Les algues sont principalement utilisées comme ingrédient dans la fabrication d'aliments pour le bétail ou comme des engrais, qui permettent de retenir l'eau dans le sol, d'améliorer sa texture, de maintenir et d'enrichir le sol par des traces de métaux (Cu, Co, Zn, Mn, Fe, N) (**Lakhdar, 2018**), et également de fournir un renforcement des défenses naturelles des plantes contre certains pathogènes des cultures, une augmentation de taux de croissance et de germination des graines, une bonne résistance aux stress biotiques et abiotiques, une amélioration de l'absorption des nutriments, un changement dans la composition des tissus des plantes et un développement plus profond des racines (**Betit et Chiha, 2019**).

### 5.2 Utilisations des macroalgues en cosmétiques

Les métabolites dérivés d'algues ont été répertoriés comme actifs dans les soins antiâges de la peau, amincissant, antioxydant, photoprotecteur et hydratant. Plusieurs espèces d'algues appartenant à différents groupes sont utilisées en cosmétologie (Lakhdar, 2018).

### 5.3 Utilisations des macroalgues en domaine pharmaceutique

Les macroalgues occupent une place importante en tant que source de composés biomédicaux. Environ 2 400 produits naturels ont été isolés à partir d'algues marines. L'alginate est utilisé comme agent désintégrant et dispersant et dans la fabrication de compresse et comme principe actif de médicament. En industrie pharmaceutique, les algues et leurs produits sont utilisés pour le développement de nouveaux médicaments contre le cancer, l'inflammation et les infections microbiennes (Betit et Chiha, 2019).

### 5.4 Utilisations des macroalgues dans le domaine Environnemental

L'utilisation des populations de macroalgues à grande échelle peut fournir des technologies nouvelles et rentables pour la réduction de la diffusion des contaminants d'origine hydrique comme les métaux lourds, les bactéries pathogènes, les virus, etc. (Chouikhi, 2013). Les algues constituent un moyen potentiel pour la restauration de la croissance des cultures sous stress abiotique grâce à leurs composants chimiques et leur valeur nutritionnelle ainsi qu'aux propriétés physiques de leurs polysaccharides qui améliorent la structure du sol (Memory, 2006).

## 6 Les espèces d'algues les plus fréquentes dans le littoral Jijilienne

La mer méditerranéenne algérienne renferme une grande diversité d'organismes notamment des macroalgues vertes, brunes et rouges. La région de Jijel comporte un groupement naturel important d'algues marines, benthiques, à dominance des Ulves et des Corallinales, à grand intérêt écologique et scientifique. Les populations algales fréquemment remarquables sur la cote Jijilienne sont les suivantes (Baga, 2014 ; Ali Mohad et Amaouche, 2018) :

- **Algues vertes** : *Ulva lactuca*, *Ulva regida*, *Ulva compressa*, *Cladophora rupestris*, *Entemomorpha linza*, *Entemomorpha intestinales*, *Chaetomorpha sp*, *Codium tomentosum*.
- **Algues brunes** : *Saragassum wightii*, *Sargassum vulgare*, *Cystoseira tamariscifolia*, *Dictyota dichotoma*, *Dilophus fasciola*, *Padina pavonica*, *Halopteris scoparia*.

- **Algues rouges** : *Corralin aofficinalis*, *Corallina elongata*, *Asparagopsi staxiformis*, *Jania rubens*, *Gelidium sp.*

**Tableaux 02** : Caractéristiques de six espèces d'algues abondantes dans la côte Jijilienne.

Les espèces choisies	Classification	Les photos des espèces
<p><b><i>Ulva lactuca</i> et <i>Ulva linza</i></b> : des algues vertes foliacées d'un vert brillant ou jaune clair, qui vit fixée par un très petit disque de fixation</p>	<p>Règne: <i>Plantae</i> Embranchement: <i>Chlorophyta</i> Classe: <i>Ulvophyceae</i> Ordre : <i>Ulvales</i> Famille: <i>Ulvaceae</i> Genre : <i>Ulva</i></p>	 <p><i>Ulva lactuca</i> (Oksana Belous, 2012)</p>  <p><i>Ulva linza</i> (Michael Guiry, 2002)</p>
<p><b><i>Cystoseira tamariscifolia</i></b> : Algue brune de petite taille avec un thalle cylindrique en tout ou partie et des ramifications disposées dans tous les plans</p>	<p>Règne: <i>Plantae</i> Embranchement: <i>Phaeophyta</i> Classe: <i>Phaeophyceae</i> Ordre: <i>Fucales</i> Famille: <i>Cystoseiracées</i> Genre: <i>Cystosera</i></p>	 <p><i>Cystoseira tamariscifolia</i> (Ignacio Bárbara ,2011)</p>
<p><b><i>Sargassum wightii</i></b> : Algue brune pouvant atteindre plusieurs mètres de longueur, avec un thalle cylindrique en tout ou partie présence des flotteurs latéraux portés par un court pédoncule.</p>	<p>Règne: <i>Plantae</i> Embranchement: <i>Phaeophyta</i> Classe: <i>Phaeophyceae</i> Ordre: <i>Fucales</i> Famille: <i>sargassacées</i> Genre: <i>sargassum</i></p>	 <p><i>Sargassum wightii</i> (MD Guiry,2011)</p>

<p><i>Laminaria digitata</i> est une espèce d'algues brunes, Elle vit fixée aux rochers jusqu'à une profondeur de 10 mètres et prospère dans les zones moyennement battues ou à forts courants</p>	<p>Règne: <i>Plantae</i>                  Embranchement: <i>Ochrophyta</i>                  Classe : <i>Phaeophyceae</i>                  Ordre : <i>Laminariales</i>                  Famille : <i>Laminariaceae</i>                  Genre : <i>Laminaria</i></p>	<p>algaeBASE</p>  <p><i>Laminaria digitata</i> (Michael Guiry, 2002)</p>
<p><i>Turbinaria conoides</i> : algue brune caractérise par des feuilles épaisses, en forme de trompette, cône évasé, lisse, dessus presque triangulaire, légèrement concave au centre, avec une marge dentée.</p>	<p>Règne: <i>Plantae</i>                  Embranchement: <i>Ochrophyta</i>                  Classe : <i>Phaeophyceae</i>                  Ordre : <i>Fucales</i>                  Famille : <i>Sargassaceae</i>                  Genre : <i>turbinaria</i></p>	<p>algaeBASE</p>  <p><i>Turbinaria conoides</i> (Katrin osterlund, 2001)</p>

Selon des estimations, le nombre total d`espèces marines représente environ la moitié de la biodiversité totale de la planète. Seulement 1% des espèces marines identifiées ont été étudiées à ce jour. L`étude des produits d`origine marine a débuté à la fin des années 1960 et a conduit à l`isolement d`environ 10000 substances. Beaucoup des extraits isolés présentent une potentialité pharmacologique, bien supérieure à celle de produits naturels provenant de plantes ou d`organismes terrestres (**Ainane, 2011 ; Lavanya et Veerappan, 2012**).

### **1 L`action directe des macroalgues sur les microorganismes pathogènes humains**

#### **1.1 Evaluation de l`activité antibactérienne**

Les algues d`origine marine occupent une place importante en pharmacologie et en médecine, de ce fait, ils font l`objet d`une exploitation industrielle importante ; l`effet inhibiteur de croissance microbienne des métabolites secondaires des algues est étroitement lié à la nature chimique de ces derniers.

Les composés phénoliques exercent leurs effets antibactériens sur la membrane cytoplasmique en altérant sa structure et causant un dysfonctionnement par un changement dans le transport des ions ou par une dépolarisation à travers les changements structuraux dans la membrane, interférence avec le système de génération de l`énergie (adénosinetriphosphate) dans la cellule, ainsi ces composés provoquent la formation de complexes avec les protéines et certains constituants de la paroi cellulaire bactérienne menant à la lyse, et l`inhibition d`enzymes empêchant ainsi l`utilisation des substrats pour la production d`énergie (**Chertouk et Yousfi, 2014**).

Le mode d`action des polyphénols sur les microorganismes peut être lié à l`inhibition des enzymes hydrolytiques (protéases et carbohydrases) ou d`autres interactions inactivant les adhésives microbiennes, les protéines de l`enveloppe cellulaire et des interactions non spécifiques avec des hydrates de carbone (**Djilali et kherouni, 2016**).

Les flavonoïdes sont des substances antibactériennes efficaces contre une large gamme de bactéries. Cette activité antibactérienne des flavonoïdes peut être due à leur capacité à inhiber la synthèse des acides nucléiques, la fonction de la membrane cytoplasmique ou le métabolisme énergétique (**Chertouk et Yousfi, 2014**).

## Chapitre II : Etude des propriétés pharmaceutiques de certaines espèces d`algues étudiées

Une étude antérieure de **Kardache et Khoualdi** en 2016 sur le pouvoir antibactérien de l'extrait d'algue *Ulva lactuca* testée contre quatre bactéries à Gram négatif (*Escherichia coli*, *Klebsiella sp*) et (*Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*) bactéries à Gram positif ; pour chaque espèce de bactéries trois boîtes de Pétri sont ensemencées par une pré/culture bactérienne de 24 heures ; la première boîte est traitée par un extrait méthanolique, la seconde boîte reçoit l'extrait sec, alors que la troisième boîte reçoit des disques d'antibiotiques: Pénicilline (10 mcg), Lincomycine (10mcg), Amoxiciline (10 mcg) et Amikacine (10 mcg). L'antibiogramme a été réalisé par la méthode des puis.

Les résultats des tests montrent une différence de sensibilité des souches retenues. L'extrait d'*Ulva lactuca* a une activité antibactérienne révélée contre les bactéries à Gram négatif (*Escherichia coli*, *Klebsiella sp*) et les bactéries à Gram positif (*Bacillus cereus*) ; En revanche l'activité est absente contre la bactérie à Gram positif (*Staphylococcus aureus*) (Tableau 03) (**Kardache et Khoualdi, 2016**).

**Tableau 03:** Evaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait d'algue (*Ulva lactuca*) (**Kardache et Khoualdi, 2016**).

Espèce	Gram	Résultats	
		Extrait sec	Extrait méthanolique
<i>Escherichia coli</i>	Négatif	+	+
<i>Klebsiella sp</i>		+	+
<i>Bacillus cereus</i>	Positif	-	+
<i>Staphylococcus aureus</i>		-	-

(-): Absence d'activité

(+): présence d'activité

les résultats des tests montrent que :

l'extrait de l'algue *Ulva lactuca* présente une faible zone d'inhibition contre *Escherichia coli* en présence de l'extrait sec et méthanolique. Ce résultat indique une sensibilité modérée de cette bactérie à l'extrait.

Par ailleurs, on remarque une sensibilité de *Escherichia coli* envers l'antibiotique Amikacine, tandis que les autres antibiotiques n'ont aucun effet inhibiteur sur la souche testée.

## Chapitre II : Etude des propriétés pharmaceutiques de certaines espèces d'algues étudiées

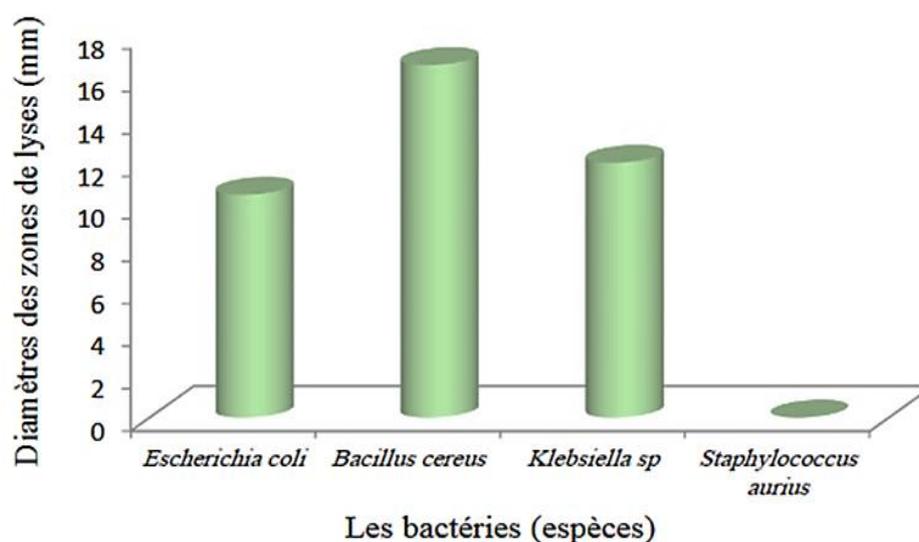
---

En ce qui concerne la souche *Klebsiella. sp*, il a été enregistré une zone d'inhibition tout autour des disques d'extrait sec et d'extrait méthanolique. Par ailleurs, les résultats obtenus au test antibiogramme montrent une résistance remarquable de la souche testée *klebsiella. sp* vis-à-vis de la Pénicilline, Lincomycine et amoxicilline et une sensibilité pour l'Amikacine.

On remarque que l'extrait sec d'*Ulva lactuca* présente une absence de zone d'inhibition contre la souche *Bacillus cereus*, par contre on constate que l'extrait méthanolique a un effet antibactérien assez considérable contre la souche testée. Les trois antibiotiques: Amoxicilline, Amikacine et Lincomycine exercent un effet inhibiteur sur *Bacillus cereus* contrairement à l'antibiotique restant avec lequel la souche est résistante.

On constate que l'extrait méthanolique et l'extrait brut n'ont aucun effet inhibiteur sur la souche testée *Staphylococcus aureus*, aucune zone d'inhibition n'a été observée. Les quatre antibiotiques ont un effet inhibiteur considérable contre *Staphylococcus aureus*, cette bactérie est potentiellement sensible.

Toujours dans la même publication, une évaluation des diamètres des zones d'inhibition des quatre souches bactériennes testées a été effectuée d'où l'extrait de l'algue a montré une activité antibactérienne significative par inhibition de la croissance de la plupart des microorganismes testés. D'après la figure 03, on remarque que la zone d'inhibition la plus marquée est obtenue avec la bactérie *Bacillus cereus* avec un diamètre d'inhibition variant entre (15 et 18 mm), Ce diamètre est suivi de celui de *Klebsiella sp* (9 et 15 mm) et *Escherichia coli* (10 et 11mm). En revanche, l'extrait n'a aucun effet inhibiteur sur la bactérie *Staphylococcus aureus*.



**Figure 03:** Distribution des diamètres des zones d'inhibition en fonction de l'extrait d'*Ulva lactuca* testé sur quatre bactéries (Kardache et Khoualdi, 2016).

Dans une partie importante de l'étude, l'action des antibiotiques sur les quatre bactéries étudiées a été réalisée et récapitulée dans le tableau ci-après :

**Tableau 04 :** Diamètres des zones d'inhibition en fonction des antibiotiques sur les bactéries testées (Kardache et Khoualdi, 2016).

	<b>p</b>	<b>L</b>	<b>AX</b>	<b>AK</b>
<i>Escherichia coli</i>	-	-	-	15mm
<i>Klebsiella sp</i>	-	29mm	12mm	18mm
<i>Bacillus cereus</i>	-	-	-	14mm
<i>Staphylococcus aureus</i>	9mm	2mm	16mm	2mm

(P) penicilline ; (L) Lincomycine ; (AX) Amoxiciline ;(AK) Amikacine

D'après le tableau 04, le diamètre de la zone d'inhibition le plus marqué (29 mm) est celui de la bactérie *Bacillus cereus* obtenu avec l'antibiotique Lincomycine. Le plus faible diamètre (2 mm) est enregistré avec la bactérie *Staphylococcus aureus* avec l'antibiotique Amikacine. L'extrait brut d'*Ulva lactuca* indique des zones d'inhibition très proches de celles de l'antibiotique Amikacine contre *Escherichia coli*, *Bacillus cereus* et *Klebsiella sp*.

## Chapitre II : Etude des propriétés pharmaceutiques de certaines espèces d'algues étudiées

On peut donc conclure que l'extrait de l'algue étudié a le même effet bactéricide que cet antibiotique vis-à-vis de ces trois bactéries

### 1.2 Evaluation de l'activité antifongique

L'activité antifongique a été considérée comme un indicateur de la capacité de l'algue à synthétiser des métabolites secondaires bioactifs. La recherche de nouveaux antibiotiques fongiques est importante car il existe peu de thérapies existantes pour les infections potentiellement mortelles, et elles sont souvent toxiques et d'une efficacité limitée (**Lavanya et Veerappan, 2012**).

Dans une initiative d'analyser l'effet antifongique des extraits d'algues, on a essayé d'analyser les résultats de l'étude réalisée par **Lavanya et Veerappan (2012)** sur l'activité antifongique des algues (*Sargassum wightii* et *Turbinaria conoides*) en utilisant sept solvants différents (acétone, méthanol, chloroforme, éther diéthylique, acétate d'éthyle, hexane et aqueux) testés contre les dix agents pathogènes fongiques suivant : (*Fusarium oxysporum*, *Fusarium udum*, *Fusarium solani*, *Rhizoctonia solani*, *Alternaria alternat*, *Botrytis cinerea*, *Candida albicans*, *Candida krusei*, *Aspergillus niger* et *Aspergillus flavus*).

Les résultats des activités antifongiques de différents extraits des deux algues sont indiqués dans le **tableau 05** :

**Tableau 05** : l'activité antifongiques de différents extraits sur les pathogènes (**Lavanya et Veerappan, 2012**)

Pathogènes	Les algues dans différents extraits de solvants													
	<i>Sargassumwightii</i>							<i>Turbinariaconoides</i>						
	A	M	D	C	H	EA	W	A	M	D	C	H	EA	W
<i>F. oxysporum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>F. udum</i>	*	*	-	-	-	-	*	***	-	-	-	-	*	*
<i>F. solani</i>	*	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-
<i>A. alternat</i>	-	*	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-
<i>R. solani</i>	-	**	-	-	-	-	**	**	-	-	-	-	**	*
<i>B. cinerea</i>	*	*	-	-	-	-	-	**	-	-	-	-	-	-

## Chapitre II : Etude des propriétés pharmaceutiques de certaines espèces d'algues étudiées

<i>C. albicans</i>	*	**	**	*	—	—	—	—	**	—	**	—	—	*
<i>C. krusei</i>	—	—	*	*	—	—	*	—	**	*	—	*	—	—
<i>A. niger</i>	*	**	—	*	—	—	*	—	—	**	*	—	—	*
<i>A. flavus</i>	—	—	*	*	*	—	—	—	—	—	**	—	—	*

Aucune activité (—) ; 1-4 mm (\*) ; 5-10 mm (\*\*) ; 11-16 mm (\*\*\*)

A : Acétone ; C : Chloroforme ; D : Ether d'éthylique ; EA : Acétate d'éthyle ; H : Hexane ; M : Méthanol W : Aqueux.

### 1.2.1 Effet antifongique de l'algue brune *Sargassum wightii*

Les zones d'inhibition maximales (10 mm) ont été enregistrées avec l'extrait méthanolique contre *R. solani*, *A. niger* et *C. albicans* (8 mm) suivi de l'extrait d'éther diéthylique contre *C. albicans*.

Les zones d'inhibition (2 mm) ont été observées avec l'extrait acétonique contre les isolats fongiques de *F. udum* et de *C. albicans*, avec l'extrait méthanolique contre *B. cinerea*, avec l'extrait chloroformique contre *C. krusei*, *A. niger*, avec l'extrait hexanoïque contre *A. flavus* et avec l'extrait aqueux contre *F. udum* et *C. krusei*.

Aucune activité antifongique n'a été mise en évidence après incubation de l'extrait d'acétate d'éthyle avec tous les agents pathogènes testés (Lavanya et Veerappan, 2012).

D'après les résultats obtenus, l'extrait méthanolique de l'algue brune *Sargassum wightii* a un effet antifongique significatif contre les champignons pathogènes *R. solani*, *A. niger* et *C. albicans*.

### 1.2.2 Effet antifongique de l'algue brune *Turbinaria conoides*

L'activité antifongique la plus importante a été observée avec l'extrait d'acétone contre *F. udum* et *B. cinerea* respectivement (16mm et 12 mm) et avec l'extrait de méthanol contre *C. krusei* (10 mm). L'extrait d'acétate d'éthyle a été actif contre *R. solani* (10 mm).

Les activités minimales (2 mm) ont été observées après incubation de l'extrait méthanolique avec *A. alternat* et l'extrait aqueux avec *F. udum*, *R. solani*, *C. albicans* et *A. niger* (Lavanya et Veerappan, 2012).

En conclusion, on a pu déduire que l'extrait acétonique est le plus actif en matière d'activité antimicrobienne contre *F. udum* et *B. cinerea*. L'extrait méthanolique a prouvé son efficacité antifongique contre *C. krusei*.

## **2 L` action directe contre les champignons pathogènes végétaux**

### **(Environnementale) : Evaluation de l'activité anti/phytopathogène des extraits d'algues vertes et brunes**

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés premièrement à la pourriture des fruits causées par *Penicillium digitatum*, et ensuite à la fusariose, causée par *Fusarium oxysporum* f. sp *lycopersici* (*F.O.L*) comme des exemples d'agents phytopathogènes.

#### **2.1 1<sup>er</sup> cas : Etude *in vitro* et *in vivo* de l'activité anti/*Penicillium digitatum* d'extraits algues *Ulva linza***

Les maladies post-récolte jouent un rôle majeur dans la réduction de la quantité et de la qualité des agrumes; Les blessures sur les agrumes causées pendant la récolte, fournissent des entrées aux agents pathogènes, y compris *Penicillium digitatum*, agents responsables de la moisissure verte, et causant environ 60 à 80% de pourriture (**Ibrahim El-Gali, 2014**). L'**annexe (I)** montre les caractéristiques culturelles et morphologiques de *P. digitatum*.

Les recherches de **Chbani et ses collaborateurs. (2013)** résument l'évaluation de l'activité anti/*Penicillium digitatum* de l'extrait d'*Ulva linza*. Les extraits liquides aqueux (200 g du broyat de l'algue + 1l d'eau ultra pure) et organiques {Extraits dichlorométhanoliques = 2mg de l'extrait brut (algue, CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>/MeOH) + 10 ml du CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>/MeOH} sont utilisés pour les tests antifongiques *in vitro* et *in vivo* ainsi que pour le test d'adhésion.

##### **2.1.1 Effet *in vitro* des extraits d'*Ulva linza* sur l'inhibition de la croissance de *Penicillium digitatum***

L'activité inhibitrice d'algue *Ulva linza* a été mise en évidence par la mesure de l'étendue d'inhibition développée sur la boîte de Pétri autour des disques renfermant l'extrait d'algue. L'extrait aqueux ne présente aucune zone d'inhibition autour des disques, il n'a aucun effet sur la croissance de *Penicillium digitatum*; alors que l'extrait organique dichlorométhanolique présente une zone d'inhibition importante (14.2 mm) s'approche de

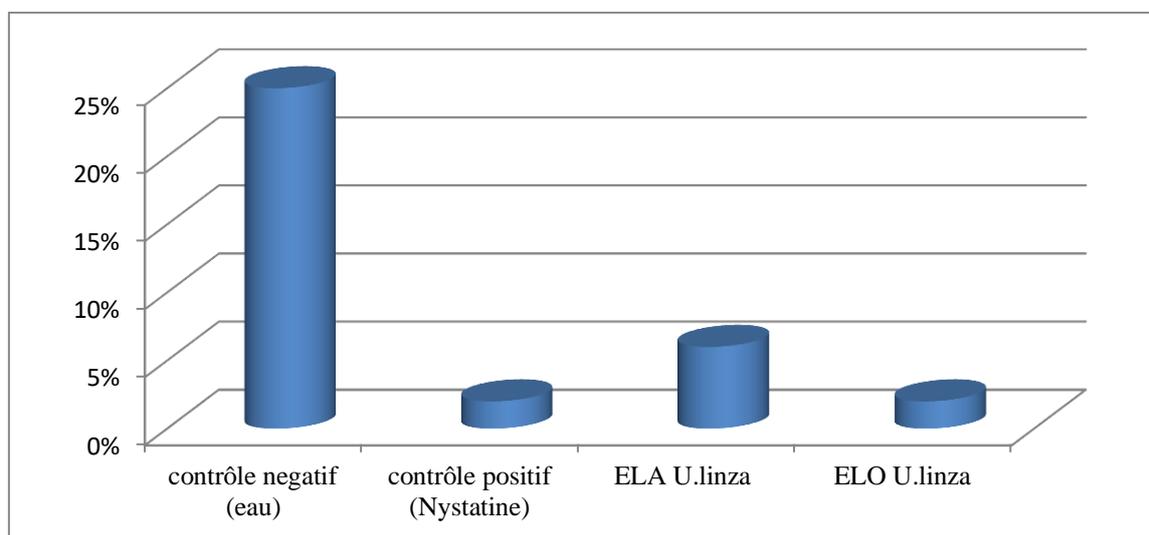
celle du contrôle positif, la Nystatine(14,5mm) (un antibiotique antifongique de contact de la famille des polyènes) ; Cette zone d'inhibition est caractérisée par l'absence de croissance mycélienne de *P. digitatum* et ayant un aspect très clair (Chbani et al.,2013) Annexe (II).

### 2.1.2 Effet post/récolte des extraits d'*Ulva linza* sur l'infection par *Penicillium digitatum*

Les oranges préalablement pulvérisées par les extraits aqueux et organiques de l'algue verte *Ulva linza* ont le même effet du contrôle positif (Nystatine), elles sont restées saines et intactes ; les extraits empêchent toute prolifération du champignon *Penicillium digitatum* sur les oranges traitées en comparaison avec les résultats des témoins négatifs "eau" qui n'a pas empêché la moisissure de s'installer (Chbani et al., 2013)Annexe III.

### 2.1.3 Effet des extraits d'*Ulva linza* sur l'inhibition de l'adhésion des spores fongiques de *Penicillium digitatum* sur les cellules d'oranges

L'étude de l'index d'adhésion des souches de *P. digitatum* aux cellules d'oranges en présence des extraits d'*Ulva linza* est résumée dans la (figure 04) ; Les résultats du test montrent que l'indices d'adhésion du contrôle négatif (eau) est élevé (25%) ; Les indices d'adhésion de l'algue verte *Ulva linza* sont plus faibles (6 et 2%) et se rapprochent de ceux présentés par le contrôle positif la nystatine (2%) (Chbani et al., 2013)



(ELA) extrait liquide aqueux ; (ELO) extraits liquides organiques

**Figure 04:** Index d'adhésion du *P. digitatum* aux cellules d'orange en présence des extraits d'algues d'*Ulva linza* (Chbani et al, 2013).

D'après les résultats des différents tests d'étude *in vitro* et *in vivo* de l'activité anti-*Penicillium digitatum* d'extrait d'algue *Ulva linza*, seul l'extrait organique présente une activité inhibitrice *in vitro* vis-à-vis de *penicillium digitatum*. Les deux extraits aqueux et organiques de cette algue ont montré une action protectrice *in vivo* contre ce champignon. Les extraits de cette algue sont de couleur verte foncée, ce qui traduit la présence d'une quantité importante de chlorophylle qui est un pigment verdâtre. La molécule de chlorophylle est un tétrapyrrol substitué avec un atome de magnésium central, elle contient un noyau tétrapyrrol porphyrine estérifié en un alcool diterpène, le phytol. Les algues sont une source abondante de métabolites secondaires, parmi lesquels les diterpénoïdes possèdent plusieurs caractéristiques tel que la phytotoxicité, des propriétés antivirales et antifongiques. Les algues vertes contiennent également des dérivés terpéniques qui ont été mis en cause dans les mécanismes antifongiques on peut supposer que le principe actif contenu dans l'algue verte *Ulva linza* serait éventuellement la molécule de chlorophylle qui contient une structure de type terpénique. Ce principe actif jouerait un rôle dans l'inhibition de la croissance du champignon ou dans la protection des oranges contre l'invasion de *Penicillium digitatum* ou éventuellement contribuerait à stimuler le système immunitaire qui protégerait les cellules contre ce phytopathogène.

### 2.2 2<sup>ème</sup> cas : Etude *in vitro* de l'activité anti/*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* de l'algue marine *Cystoseira tamariscifolia*

Les cultures de tomate peuvent être affectées par diverses attaques de maladies cryptogamiques y compris la fusariose (nécrose, trachéomycose) causées par *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (F.O.L), la maladie responsable du flétrissement et le jaunissement des feuilles, et la pourriture des racines (Alqarawi, 2019). L'annexe IV montre les caractéristiques culturelles et morphologiques de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*.

Les recherches d'Eloutassi en 2012 sur la valorisation pharmacologique et biologique de l'algue brune *Cystoseira tamariscifolia* déterminent l'activité antifongique de l'extrait éthanolique, chloroformique, hexanique, méthanolique (10 g du broyat de l'algue extraite au Soxhlet en présence d'éthanol, du chloroforme, d'hexane et du méthanol) et aqueuse (10 g du broyat de l'algue + 90 ml d'eau chaude (90°C) sur la croissance du champignon phytopathogène *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (F.O.L).

**2.2.1 Inhibition de la croissance de *F. oxysporum*. f *sp. lycopersici***

**2.2.1.1 Effet des différents extraits testés sur la croissance de *F. oxysporum*. f *sp. lycopersici*.**

Les résultats des tests préliminaires montrent que tous les extraits sauf l'extrait éthanolique ne présentent pas d'effet sur la croissance de *F.O.L* avec une faible inhibition de l'extrait méthanolique (20%) (Eloutassi, 2012).

**Tableau 06:** Inhibition de la croissance de *F.O.L*. par les différents extraits testés (Eloutassi, 2012).

Croissance de <i>F.O.L</i> . (%)	Extraits (1%)									
	Chloroformique		Méthanolique		Hexanique		Ethanolique		Aqueux	
	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C
	100	100	80	100	100	100	0	100	100	100

A : Assai ; C : Contrôle

Le tableau 06 montre une activité unique par l'extrait éthanolique ce qui indique que les principes actifs de l'algue sont solubles dans l'éthanol plus que dans les autres solvants. En termes de pourcentage, le pouvoir inhibiteur de l'extrait éthanolique est significativement élevé, il est de 100% pour la concentration de 1%. Alors il est de 20% pour l'extrait méthanolique et 0% pour les autres extraits (Eloutassi, 2012).

**2.2.1.2 Effet de l'extrait éthanolique sur de la croissance de *F.O.L*.**

L'inoculation de *F.O.L*. a été réalisée à différentes concentrations de l'extrait éthanolique. Les résultats rapportés dans le tableau ont montré une activité inhibitrice de l'extrait éthanolique à la concentration 5% (Eloutassi, 2012) (Tableau 07).

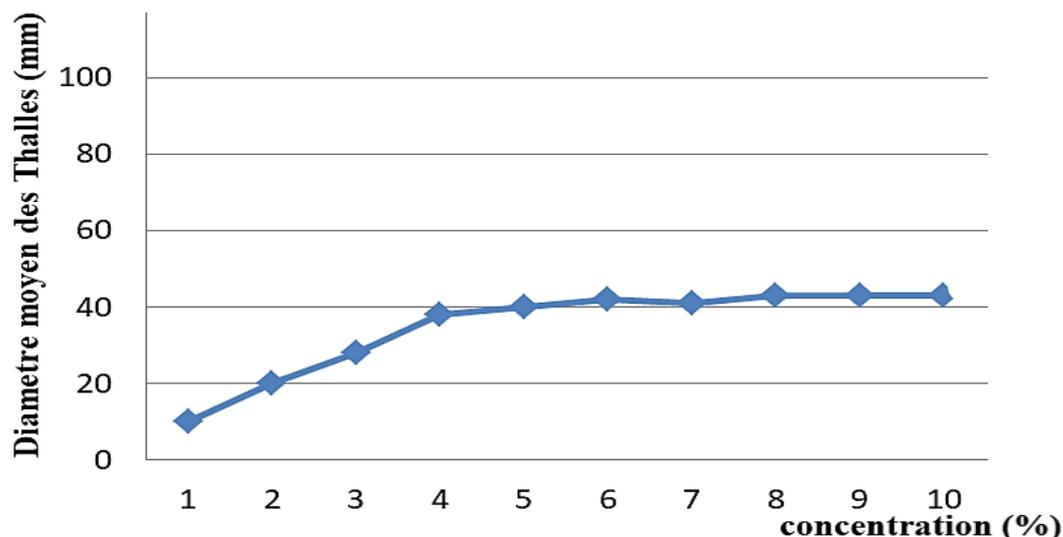
**Tableau 07:** Inhibition de la croissance de *F.O.L*. par différentes concentrations de l'extrait éthanolique (Eloutassi, 2012).

Concentration	Extrait éthanolique									
	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
Croissance de <i>F.O.L</i>	+	+	+	±	-	-	-	-	-	-

+ : croissance ; ± : faible croissance ; - : inhibition de croissance.

### ❖ Evaluation de la croissance diamétrale des thalles :

La courbe ci-dessous montre que la vitesse de croissance des thalles de *F.O.L.* diminue considérablement en présence des fortes concentrations utilisées de l'extrait éthanolique de *Cystoseira tamariscifolia* (notamment 8% et 10%). Aux faibles concentrations on remarque un effet stimulateur. Alors, il est inhibiteur aux concentrations moyennes (5%). Tandis qu'il peut être létal aux fortes concentrations (**Eloutassi, 2012**).



**Figure 05 :** Effets de l'extrait éthanolique de *Cystoseira tamariscifolia* sur la croissance des thalles de *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* (**Eloutassi, 2012**).

La figure 05 révèle la variation de la croissance des thalles de *F.O.L.* en fonction des concentrations de l'extrait éthanolique de l'algue. Les extraits de l'algue agissent sur la croissance des thalles en provoquant un retard de croissance des filaments mycéliens ; On remarque en générale trois phases principales de croissance commencé par une phase d'adaptation, suivie d'une deuxième phase où les concentrations 2% et 4% permettent un démarrage très rapide et une grande croissance des thalles. Ensuite une troisième phase caractérisée par la constance diamétrale des thalles. Le thalle atteint son maximum et son diamètre reste constant pour toutes les concentrations (**Eloutassi, 2012**).

D'après les résultats des différents tests d'étude *in vitro* de l'activité anti-*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* de l'algue marine *Cystoseira tamariscifolia*, ils montrent que l'inhibition totale de la croissance de *F.O.L* est obtenue par l'extrait éthanolique à la concentration 5% et éventuellement par l'extrait méthanolique, Ceci est peut être expliquée par l'absence ou la faible concentration de l'effet anti/*F.O.L* dans les extraits et renforcer

l'hypothèse que l'inhibition est due à une extraction partielle des composés actifs extractibles par l'éthanol ; D'autres travaux ont été réalisés afin d'éclaircir l'importance des constituants et des propriétés majeures des principes actifs dans les extraits de l'espèce *Cystoseira*. **Bennamara et al (1999)** a trouvé une activité anti/moisissures par un composé purifié de cette algue, c'est le méthoxybifurcarenone (un mérodiètepénoïde) et ils ont aussi isolés des diètepènes acyclique et des stérols qui possèdent des bioactivités intéressantes. Également, **Culioli et al (2000)** a identifié un dérivé des diètepènes (le geranylgeraniol). Ces principes actifs ont montrés une activité fongicide sur des champignons phytopathogènes (exemple : *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum* et *Verticillium albo-atrum*).

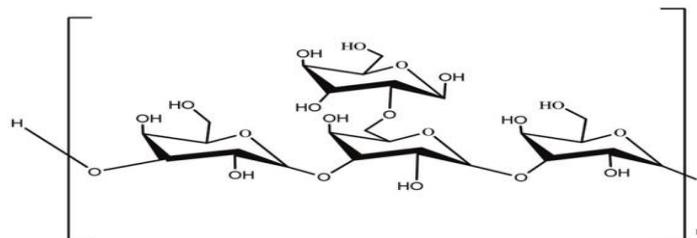
### 3 L'action indirect : Amélioration de la résistance accrue des plantes aux maladies

Les Stimulateurs de Défenses de la Plante (SDP) sont des substances ou produits capables d'induire ou de préparer l'induction des résistances de la plante. On confère le mot "éliciteur" à une substance qui induit une réponse physiologique de la plante en cascade amenant à l'activation et la stimulation des mécanismes de défenses naturelles qui seraient dirigées soit contre des bioagresseurs (maladies des cultures, mauvaises herbes), soit contre des stress abiotiques. On parle bien ici d'une réponse indirecte au stress car la molécule n'a en général pas d'action directe sur le bioagresseur (**Fardeau et Jonis, 2003; Blanchard, 2018**).

L'apport d'extraits d'algues donne aux plantes une plus forte résistance contre des bioagresseurs. Leur pulvérisation confère aux plantes une résistance accrue contre les maladies fongiques telles que *Botrytis cinerea* et *Plasmopara viticola* chez les cultures de la vigne (*Vitis vinifera*) et du tabac (*Nicotiana tabacum*) (**Lakhdar, 2018**). Divers types d'éliciteurs ont été caractérisés, y compris les laminarines.

#### 3.1 L'action de la laminarine

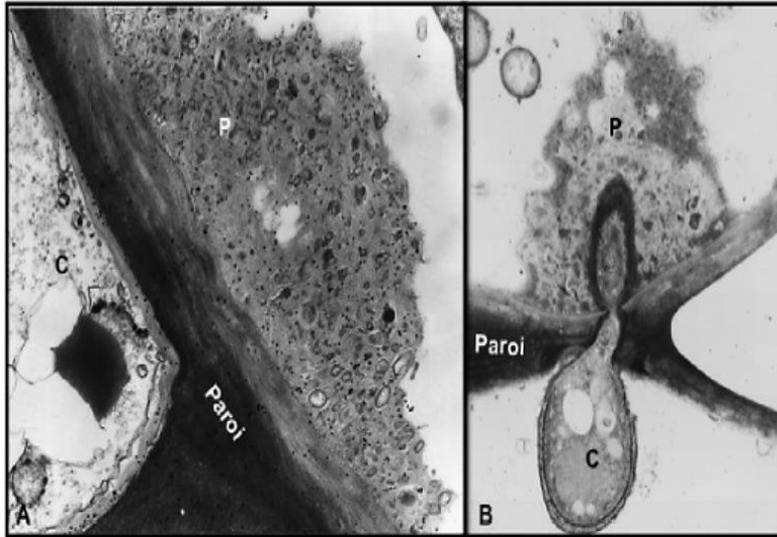
La laminarine aussi appelée la laminarane, est un polysaccharide dérivées de l'algue brune *Laminaria digitata*, Il s'agit d'un  $\beta$ -1,3-glucane composé de résidus de glucoses liés entre-eux par des liaisons  $\beta$ -D-1,3 sa structure est similaire au  $\beta$ -glucane le composé pariétal de certains champignons et bactéries (Figure 06). La laminarine sert notamment de sucre de réserve des algues brunes et elle est stockée dans la vacuole. Elle active les réponses de défense de la vigne et la protège contre *Botrytis cinerea* et *Plasmopara viticola* (**Aziz et al., 2003**). Elle est aujourd'hui commercialisée sous le nom d'Iodus2 par la société Goémar.



**Figure 06:** La structure chimique de la laminarine présente dans l'algue brune *Laminaria digitata* (Asanka Sanjeewa, 2018).

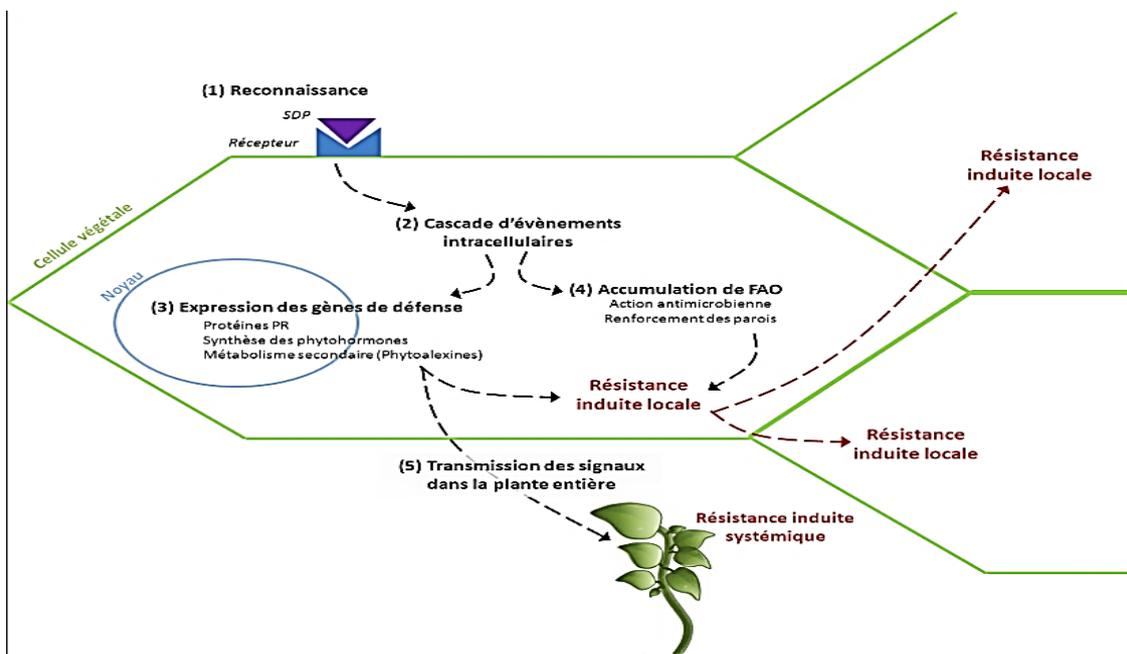
Une cascade d'évènements de signalisation se met en place à l'intérieur de la cellule végétale suite à l'interaction entre la laminarine et le récepteur (Figure 08);

- (1) **Reconnaissance** : Le mécanisme de reconnaissance de la laminarine met en jeu un ou plusieurs récepteurs de la plante tel que PRR (Pattern- Recognition Receptors ou Récepteurs de reconnaissance de formes) situés dans la membrane plasmique des cellules végétales (Faessel et al., 2014).
- (2) **Cascade d'évènements intracellulaires** : L'interaction récepteur/laminarine active des processus cellulaires menant à la résistance induite. On peut en particulier citer une dépolarisation membranaire, l'influx massifs de d'ions  $Ca^{2+}$  dans la cellule, et l'activation de protéines kinases une étape essentielle pour la transmission du signal à l'intérieur de la cellule (Aziz et al., 2003).
- (3) **Expression des gènes de défense** : Les kinases activent des facteurs de transcription spécifiques des gènes de défense qui entrent ensuite dans le noyau cellulaire pour se fixer sur des séquences promotrices en amont des gènes de défense, ce qui permet la synthèse des molécules de défense (Faessel et al., 2014) :
  - ✓ Protéines : les protéines de stress ou protéines PR,
  - ✓ Phytohormones : L'Acide salicylique, L'Acide jasmonique, L'éthylène
  - ✓ Métabolites secondaires : les phytoalexines, etc.).
- (4) **Accumulation des Formes Actives de l'Oxygène (FAO)**:telles que  $H_2O_2$  et l'oxyde nitrique :Ces molécules ont des actions antimicrobiennes directes et sont aussi impliquées dans le renforcement des parois cellulaires (callose, silice, composés phénoliques, subérine) , La formation de papilles (protubérances hémisphériques formées entre la paroi et la membrane plasmique rétractée dans un espace appelé l'espace paramural)(Figure 07) et dans la réaction d'hypersensibilité (l'autodestruction de la cellule attaquée, ainsi que des cellules voisines) (Benhamou et al., 2012 ; Faessel et al., 2014).



**Figure 07 :** Formation de papilles dans des tissus racinaires de plants de tomate infectés par *le Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici* Observations en microscopie électronique à haute résolution. A) Formation d'une papille (P) hétérogène entre la paroi et le cytoplasme rétracté (x 25 000). B) Tentative de pénétration d'une papille par le champignon pathogène (C) (x 20 000) (Benhamou Nicole et Rey Patrice. 2012).

- Les évènements (3) et (4) permettent dans la cellule initiale et dans les cellules adjacentes de déclencher les voies de signalisation intracellulaires pour la mise en place de la résistance induite (une activation ultérieure rapide et intense des mécanismes de défense c'est ce qu'on appelle la potentialisation).
- (5) **Transmission des signaux dans la plante entière** : Le transport de certaines molécules mobiles dans les parties distantes de la plante permet la mise en place de la résistance induite systémique (la propagation d'un signal de défense dans la plante entière).



**Figure 08 :** Evènements de mise en place des réponses de défense de la plante suite à la reconnaissance de la laminarine (Faessel et al., 2014).

## Chapitre II : Etude des propriétés pharmaceutiques de certaines espèces d`algues étudiées

---

A travers l'étude du cas de la laminarine comme un stimulateur de défenses des plantes, les infections sont limitées par empêchement du développement de pathogène (les phytoalexines), et par lévitation de nouveaux foyers infectieux via le renforcement pariétal (FAO) et via la dégradation des parois du pathogène (Protéines PR) ; Au fil des avancées scientifiques, la notion initiale de voie de signalisation s'est élargie à la notion de réseaux de voies de signalisation dans lesquels les différents circuits véhiculent les informations adéquates tout en étant modulés par les autres circuits. Parmi ces réseaux, le peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ), le calcium ( $Ca^{2+}$ ), les protéines kinases, et les phytohormones (acide jasmonique, acide salicylique, éthylène) ; les interactions entre les différentes voies de signalisation jouent un rôle crucial dans la régulation fine des mécanismes de résistance et aident les plantes à acquiescer et exprimer un type de résistance, lequel est souvent adapté au stress auquel elles sont confrontées.

### Conclusion

Depuis longtemps, les algues sont reconnues comme un aliment de haute valeur nutritive grâce à leur teneur en vitamine, en minéraux, acides gras et acides aminés : essentiels au corps humain. Dernièrement, la découverte de nouveaux composés bioactifs d'origine algale permet leur utilisation à des fins thérapeutiques ; l'Algérie avec sa longue bande côtière de 1600 km, constitue une source inexploitable en algues marines, les travaux réalisés jusqu'à présent en Algérie ont surtout porté sur les plantes médicinales terrestres. Peu de résultats, concernant l'activité antimicrobienne des algues marines sont disponibles.

Dans ce contexte, différentes espèces d'algues marines ont été collectées et analysées par plusieurs chercheurs pour leur activité antimicrobienne dans différentes parties du monde. La plupart des extraits d'algues utilisés dans les études montrent une activité antibactérienne et antifongique significative contre les pathogènes humains et végétales ; Les résultats positifs dans les études dues généralement à la présence des différents solvants (ex. méthanol, éthanol ...etc) qui jouent un rôle important dans l'extraction des molécules bioactives des algues et à la résistance ou la sensibilité des espèces pathogènes aux extraits d'algues.

Les algues marines jouent un rôle écologique et économique très important. Elles sont des sources potentielles de métabolites secondaires d'un grand intérêt pharmacologique, médicinal, agricole et industriel. Ces molécules représentent des pistes utiles dans le développement de nombreux domaines.

*Références*  
*Bibliographiques*

- Agoun, O., Lounis, S., 2012.** Aspects physiologiques et biologiques des algues rouges. Mémoire de fin de cycle en biochimie. Bejaia, Université Abderrahmane Mira, 32.
- Ainane, T. 2011.** Valorisation de la biomasse algale du Maroc : potentialités pharmacologiques et applications environnementales cas des algues brunes *Cystoseira tamariscifolia* et *Bifurcaria bifurcata*. Thèse de doctorat en chimie. Maroc, Université Hassan II – Casablanca, 220.
- Ali Mohad, A., Amaouche, N., 2018.** Etat de connaissances des Fucales de la région de Bejaia (Est d'Algérie). Mémoire de Master, Biodiversité et Sécurité Alimentaire. Bejaia, Université Abderrahmane Mira, 73.
- Ali El-Gamal, A., 2010.** Biological importance of marine algae. *Journal pharmaceutique saoudien*. 18 (1): 1-25.
- Alqarawi, A., Srinivas, C., Devi, N., Murthy, K., Mohan, C., Lakshmeesha, T., Singh, B., Kalagatur, N., Niranjana, T., Hashem, A., Tabassum, B., AbdAllah, E., Nayaka, C., Srivastava, R., 2019.** *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* agent causal de la flétrissure vasculaire de la tomate: de la biologie à la diversité. *Journal saoudien des sciences biologiques*. 26(7) : 1324.
- Aziz, A., Poinssot, B., daire, X., Adrian, M., Bezier, A., Lambert, B., Joubert, J.M., Pugin, A., 2003.** Laminarin elicits defence responses in grapevine and induces protection against *Botrytis cinerea* and *Plasmopora viticola*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 16(12): 1118.
- Baga, M., 2014.** Etude de la pollution maritime par les métaux lourds (Cd, Cr) dans la cote de Jijel. Mémoire de Master, écologie et environnement. Constantine, Université Constantine 1, 77.
- Benhamou, N., Rey, P., 2012.** Stimulateurs des défenses naturelles des plantes: une nouvelle stratégie phytosanitaire dans un contexte d'écoproduction durable. I. Principes de la résistance induite. *Phytoprotection*. 92 (1) : 35.
- Bennamara, A., Abourriche, A., Berrada, M., Charrouf, M., Chaib, N., Boudouma, M., Garneau, F.X., 1999.** Methoxybifurcarenone: an Antifungal and Antibacterial Meroditerpenoid from the Brown Alga *Cystoseira tamariscifolia*. *Phytochemistry* 52, 37-40.
- Betit, N., Chiha, N., 2019.** Effet des extraits d'algues marines sur la restauration de la croissance de l'orge cultivé sous stress salin. Mémoire de Fin d'étude Master en Génie des Procédés. Bejaia, Université Abderrahmane Mira, 55.

- Blanchard, A., 2018.** Les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN), histoire d'une innovation phytosanitaire (1977-2007). *Cahiers COSTECH*. (1): 19.
- Blunt J W, Copp BR, Munro M H G, Northcote P T, Prinsep M R. (2009).** Marine natural products. *Natural Product Reports*. 26: 170-244.
- Chbani, A., Gmira, N., Mawlawi, H., Mansour, R., 2013.** Evaluation in vitro et in vivo de l'activité anti-phytopathogène et de la propriété antiadhésive d'extraits de trois algues marines contre *Penicillium digitatum*. *ScienceLib Editions Mersenne*. 5(130307) : ISSN 2111-4706, 23.
- Chertouk, A., Yousfi, N., 2014.** Activité antibactérienne des extraits acétoniques des algues marines. Mémoire fin d'étude de master Microbiologie. Béjaia, Université Abderahmane Mira, 46.
- Chouikhi, A., 2013.** Les applications potentielles des macro-algues marines et les activités pharmacologiques de leurs métabolites. *International Congress of the Populations and Animal Communities Dynamics and Biodiversity of the terrestrial and aquatic Ecosystems*. Algeria: 40.
- Culioli, G., Di Guardia, S., Valls, R., Piovetti, L., 2000.** Geranylgeraniolderived diterpenes from the brown alga *Bifurcaria bifurcata*: Comparison with two other Cystoseiraceae species. *Biochem. System. Ecol.* 28 (2): 185-187.
- Davies-Coleman, M., Beukes, D., 2004.** Ten years of marine natural products research at Rhodes University South African. *Journal of Science*. 12: 539-544.
- Demoulain, G., Leymergie, C., 2009.** Les algues le trésor de la mer. *Heds, Haute école de santé Genève*, 08.
- Djilali, S ., kherouni, N., 2016.** Etude comparative de l'activité antimicrobienne des extraits éthanolique et méthanolique d'algues marines. Mémoire de Fin de Cycle master en Biotechnologie Microbienne. Bejaia, Université Abderrahmane Mira, 31.
- Eloutassi, N., Louaste, B., 2012.** Etude *in vitro* de l'activité anti-*Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* de l'algue marine *Cystoseira tamariscifolia*. *Science Lib Editions Mersenne*. 4(120908): ISSN 2111-4706, 13.
- Faessel, L., Gomy, C., Hipper, C., Nassr, N., Tostivint, C., 2014.** Produits de stimulation en agriculture visant à améliorer les fonctionnalités biologiques des sols et des plantes – Étude des connaissances disponibles et recommandations stratégiques. France : 156.

- Fardeau, J-C., Jonis, M., 2004.** Phytostimulants et éliciteurs pour végétaux Propriétés et garanties réglementaires. In : Séminaire sur les recherches en Agriculture Biologique INRA-ACTA. Draveil. 65, 21-24.
- Fellous, Samir., 2019.** Etude biologique et biochimique de l'algue brune *Cystoseira amantacea stricta* de la baie d'Oran. Thèse de doctorat en sciences de l'environnement. Sidi Bel Abbès, Université Djillali Liabes, 52.
- Garon-lardiere, S., 2004.** Etude structurale des polysaccharides pariétaux de l'algue rouge *Asparagopsis armata* (Bonne maisoniales). Thèse de doctorat en chimie. France, Université De Bretagne Occidentale, 210.
- Guillaume, P., 2010.** Caractérisation biochimique d'exopolymères d'origine algale du bassin de Marennes-Oléron et étude des propriétés physico-chimiques de surface de micro-organismes impliquées dans leur adhésion. Thèse de doctorat en biochimie. France, Université de La Rochelle, 30.
- Ibrahim El-Gali, Z., 2014.** Control of *Penicillium Digitatum* on Orange Fruits with Calcium Chloride Dipping. *Journal of Microbiology Research and Reviews*. 2(6), ISSN: 2350-1510, 61.
- Itis, A., 1980.** Les algues. In : Durand Jean-rene, Leveque Christian. Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahélo-soudanienne. *Éditeurs scientifiques hydrobiologistes ORSTOM*. Paris. 61.
- Kardache, A., Khoualdi, Y., 2016.** Etude des activités antioxydants, antibactérienne et antifongique d'extraits d'algues marines d'origine Algérienne. Mémoire fin d'étude de master Microbiologie. Constantine, Université des Frères Mentouri, 47.
- Keita, Y., Koné, O., Ly, KA., Häkkinen, V., 2004.** Etude chimique et l'activité antibactérienne des distillats de quelques variétés de mangue de Guinée. *Comptes Rendus Chimie*.7, 1095-1100
- Lakhdar, F., 2018.** Contribution à l'étude des potentialités antiproliférative et antibactérienne des algues brunes et rouges de la côte d'El Jadida pour une valorisation médicale et environnementale .Thèse de doctorat en Sciences de la Mer et du littoral. Maroc, Université de nante, El jadida, 207.
- Lavanya, R., Veerappan, N., 2012.** Pharmaceutical Properties of Marine Macroalgal Communities from Gulf of Mannar against Human Fungal Pathogens. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*. (S320-323), 4.

**Leclerc, V., Floch, J., 2010.** Les secrets des algues[en ligne]. *1<sup>ère</sup> éditions Quae*. France : ISBN : 978-2-7592-0347-5. 169.

**Memory, H., 2006.** Biologie Module 1, Diversité des algues et des plantes, 45.

**Memory, T., 2011.** Biologie Module 1, Diversité des algues et des plantes. Département des sciences biologiques. Zimbabwe, Université Virtuelle Africaine, 06.

**Michel, C., 2000.** Algues-operon. Biologie Module 1, Diversité des algues et des plantes, 20.

**Naghraoui, M., 2014.** Activités antioxydantes et antimicrobiennes de l'extrait brut et ses fractions de l'algue rouge *Coraiina officinalis*, récoltée sur la côte ouest algérienne (plage de Madrid). Mémoire de fin d'études Master en Sciences des aliments. Tlemcen, Université Aboubekre Belkaid,.

**Orthan, D., Ozceilik, B., Zgen, S., Ergum, F., 2010.** Antibacterial, antifungal, and antiviral activities of some flavonoids. *Microbiologicals Research*. 165: 496-504.

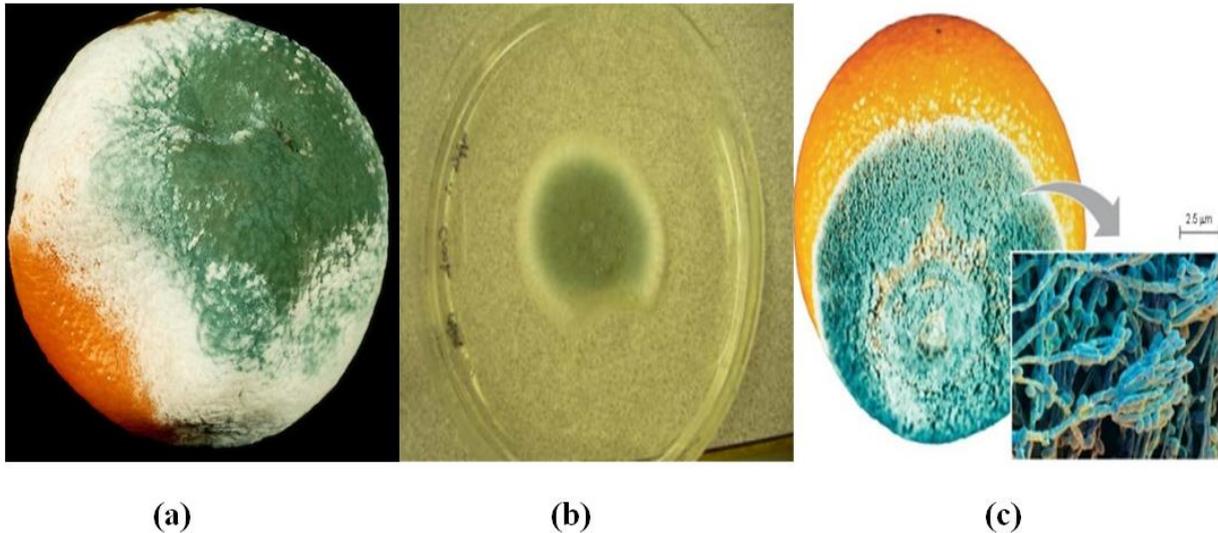
**Person, J., 2010.** Algues, filières du futur, colloque algues : filières du futur, livre turquoise, Adebiotech, Romainville, 163.

**Younes, F., Etahiri, S., Assobhei, O., 2009.** Activité antimicrobienne des algues marines de la lagune d'Oualidia (Maroc) : Criblage et optimisation de la période de la récolte. *Journal of Applied Biosciences*. 24 :1543-1552.

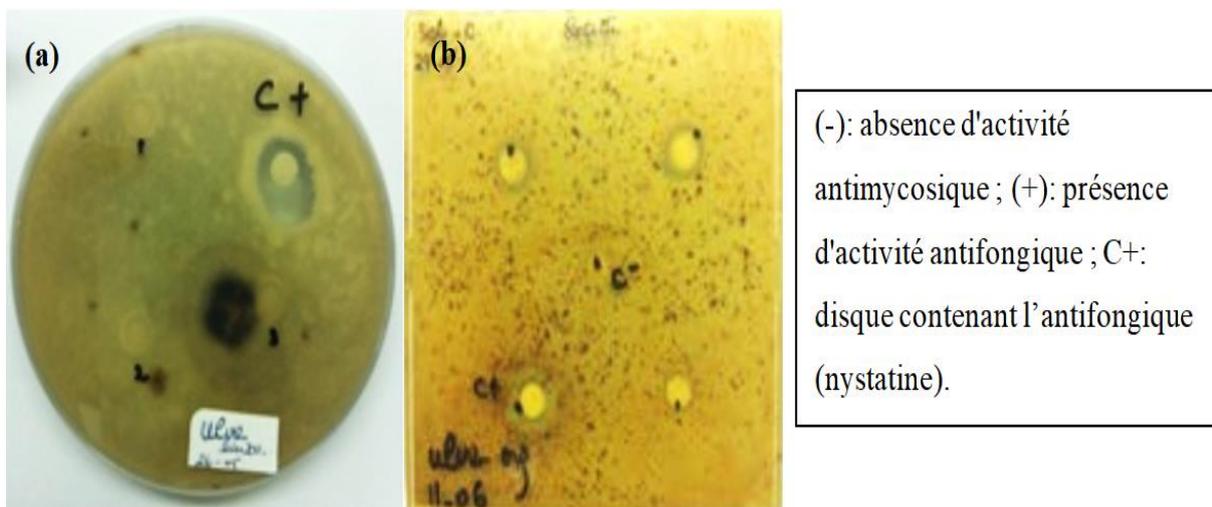
**Zehlila, A., 2017.** Caractérisation structurale et fonctionnelle des métabolites de l'algue verte *Ulva rigida* au moyen d'une approche protéomique. Thèse du Doctorat en Sciences Biologiques. Université Tunis el manar, 199.

# *Annexes*

**Annexe I :** (a) Examen macroscopique d'orange infectée par *P. digitatum* (Don Edwards et UC Davis, 1999). (b) Une culture de *P. digitatum* sur PDA. (c) Aspect microscopique (Chbani et al., 2013).



**Annexe II:** (a) Résultats de l'activité antifongique d'extraits aqueux d'*Ulva linza* sur *Penicillium digitatum* ; (b) Résultats de l'activité antifongique d'extraits organiques d'*Ulva linza* sur *Penicillium digitatum* (Chbani et al., 2013).



**Annexe III:** Effet du traitement des oranges contre l'infection par *Penicillium digitatum* ; (a) traitement par l'extraits aqueux, (b) traitement par l'extrait organique (c) traitement par la Nystatine (contrôle positif), (d) traitement par de l'eau (contrôle négatif) (Chbani et al., 2013).



(a)

(b)

(c)

(d)

**Annexe IV:** (a) symptômes sur la tige (Blancard, 2013) ; (b) une Colonie de *F. oxysporum*. f. sp. *lycopersici* sur gélose PDA; (c) Vue microscopique des macroconidies, macroconidies abondantes, communément trois cloisonnées et l'attachement des macroconidies au mycélium est observée (Alqarawi, 2019).



(a)

(b)

(c)

## Résumé

Les milieux aquatiques abritent des organismes riches en composés doués d'activités biologiques présentant une énorme ressource de nouveaux composés à des potentialités pharmacologiques importants ; parmi ces organismes les macroalgues qui sont une source potentiellement riche en composés bioactifs tels que les isoprénoides et les polyphénols . Dans ce travail théorique nous nous intéressons à l'évaluation du pouvoir antimicrobien des algues marines. Pour le cas des pathogènes humains, les tests antibactériens sur quatre bactéries révèle un effet bactéricide de l'extrait d'algue *Ulva lactuca* sur *Escherichia coli*, *Klebsiella sp*, *Bacillus cereus*. Les tests antifongiques des algues *Sargassum wightii* et *Turbinaria conoides* contre 10 agents pathogènes fongiques montrent des résultats positifs significatifs pour l'extrait méthanolique de l'algue *Sargassum wightii* contre les champignons pathogènes *R. solani*, *A. niger* et *C. albicans*, et pour l'extrait acétonique et méthanolique de *Turbinaria conoides* contre *F. udum*, *B. cinerea* et *C. krusei*. Concernant les pathogènes végétales, les études *in vitro* et post-récolte de l'activité anti-*Penicillium digitatum* d'extraits algues *Ulva linza*, montrent que l'extrait organique présente une activité inhibitrice *in vitro* alors que les 2 extraits aqueux et organiques de cette algue ont montré une action protectrice *in vivo* ; Les études *in vitro* de l'activité d'algue *Cystoseira tamariscifolia* montrent que l'inhibition totale de la croissance de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* est obtenue par l'extrait éthanolique et éventuellement par l'extrait méthanolique. L'ensemble de ces résultats obtenus ne constitue que des premières étapes dans la recherche de substances naturelles biologiquement actives à partir d'algues marines. Des essais complémentaires sont envisagés pour confirmer la bioactivité des algues marines.

**Mots clés :** les macroalgues, antimicrobienne, antibactérienne, *Ulva lactuca*, antifongique, *Sargassum wightii*, *Turbinaria conoides*, *Ulva linza*, *Cystoseira tamariscifolia*.

## Abstract

Aquatic environments shelter organisms rich in compounds endowed with biological activities and present an enormous resource of new compounds with significant pharmacological potentials; among these organisms macroalgae are a potentially rich source of bioactive compounds such as isoprenoids and polyphenols. In this theoretical work, we are interested in evaluating the antimicrobial activity of marine algae. In the case of human pathogens, the antibacterial tests on four bacteria reveal a bactericidal effect of the extract of *Ulva lactuca* algae on *Escherichia coli*, *Klebsiella sp*, and *Bacillus cereus*. The antifungal test of *Sargassum wightii* and *Turbinaria conoides* brown algae against 10 fungal pathogens shows significant activity for the methanolic extract of the algae *Sargassum wightii* against the pathogenic fungi *R. solani*, *A. niger* and *C. albicans*, and for the acetic and methanolic extracts of *Turbinaria conoides* against *F. udum*, *B. cinerea* and *C. krusei*. Regarding plant pathogens, the results of various *in vitro* and post-harvest studies of the anti-*Penicillium digitatum* activity of *Ulva linza* algae extracts show that only the organic extract exhibited inhibitory effect *in vitro* whereas the two aqueous and organic extracts of this algae have shown a protective action *in vivo*; Various tests *in vitro* of the activity of the algae *Cystoseira tamariscifolia* show that the total inhibition of the growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* is obtained by the ethanolic extract and in less degree by the methanolic extract. These results are only the first step in the research of natural biologically active substances from macroalgae. Further studies are needed to understand and exploit the bioactivity of these organisms.

**Keywords:** macroalgae, antimicrobial, antibacterial, *Ulva lactuca*, antifungal, *Sargassum wightii*, *Turbinaria conoides*, *Ulva linza*, *Cystoseira tamariscifolia*.

## ملخص

البيئات المائية هي موطن لكائنات حية غنية بالمركبات التي تتمتع بأنشطة بيولوجية وتمثل مورداً هائلاً من المركبات الجديدة ذات إمكانات صيدلانية مهمة؛ من بين هذه الكائنات الطحالب الكبيرة التي يمكن أن تكون مصدراً غنياً بالمركبات النشطة بيولوجياً مثل الأيزوبرينويدات (الترينويدات) والبوليفينول. في هذه الدراسة، نحن مهتمون بتقييم قوة الطحالب البحرية المضادة للميكروبات، في حالة مسببات الأمراض البشرية. يكشف النشاط المضاد للبكتيريا عن تأثير مثبط لمستخلص الطحالب *Ulva lactuca* على *Escherichia coli*, *Klebsiella sp*, *Bacillus cereus*؛ بالإضافة إلى ذلك أظهر اختبار مستخلص الطحالب *Sargassum wightii* et *Turbinaria conoides* المضاد للفطريات ضد 10 مسببات الأمراض نتائج إيجابية جيدة عند المستخلص الميثانولي لطحالب *Sargassum wightii* ضد الفطريات المسببة للأمراض *R. solani*, *A. niger* et *C. albicans* وفي مستخلص الأسيتون والميثانول ضد *F. Udum* و *B. Cinerea* و *C. Krusei*، فيما بمسببات الأمراض النباتية، تظهر نتائج الاختبارات المختلفة في المختبر وفي الجسم الحي للنشاط المضاد لـ *Penicillium digitatum* لمستخلصات الأعشاب البحرية من *Ulva linza*، أن المستخلص العضوي فقط هو الذي يظهر نشاطاً مثبطاً في المختبر. في حين أن المستخلصات المائية والعضوية من هذه الطحالب لها تأثير وقائي في الجسم الحي؛ التحاليل المختلفة في المختبر لنشاط طحلب *Cystoseira tamariscifolia* أظهرت أن التثبيط التام لنمو *Fusarium oxysporum* f. *Lycopersici* تم الحصول عليه عن طريق استخراج المستخلص الإيثانولي و الميثانولي. مجموع النتائج المتحصل عليها لا تمثل إلا الخطوات الأولى للبحث عن المواد الطبيعية النشطة بيولوجياً لذا الأعشاب البحرية، تم التخطيط لمزيد من الاختبارات لتأكيد النشاط الحيوي للطحالب البحرية.

**الكلمات الدالة:** الطحالب الكبيرة، المضادة للميكروبات، مضاد للبكتيريا، مضاد للفطريات

*Ulva lactuca*, *Sargassum wightii*, *Turbinaria conoides*, *Ulva linza*, *Cystoseira tamariscifolia*