

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Amar TELIDJI - Laghouat -  
Faculté des Sciences  
Département des Sciences Agronomiques

- - جامعة عمار ثلدي  
كلية العلوم  
الفلاحية



## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Agronomie  
Option : Protection Des Végétaux et d'Environnement

### *Thème*

**Contribution à l'étude de l'activité  
antifongique des extraits méthanolique  
d'algues marines sur quelques  
champignons phytopathogènes**

Présenté par : BOUNAB Elhachani

Le : 26/06/2014

Encadré par : *M. Hicham GOUZI; Maître de Conférences Classe A*  
*M. Benchettouh Ahmed ; Maître Assistant Classe B*

## Sommaire

	Page
<b>Dédicaces.....</b>	<b>I</b>
<b>Remerciements.....</b>	<b>II</b>
<b>Résumé.....</b>	<b>III</b>
<b>Liste des figures.....</b>	<b>VI</b>
<b>Liste des tableaux.....</b>	<b>VII</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1. Synthèse bibliographique.....</b>	<b>3</b>
1. Généralités sur les mycètes.....	3
2. Les moisissures toxigènes et les denrées alimentaires.....	4
3. Les mycotoxines.....	6
3.1 Nature et origine des mycotoxines.....	6
3.2 Effets des mycotoxines.....	6
3.3 Les moisissures mycotoxinogènes.....	7
4. La lutte chimique contre les champignons phytopathogènes.....	8
4.1 Les fongicides.....	8
4.1.1 Les fongicide non systémiques.....	9
4.1.2 Les fongicides systémiques.....	9
4.2 Les stimulateurs de défenses naturelles des plantes.....	9
4.3 Lute par les substances naturelles.....	9
5. Généralités sur les algues marines.....	10
5.1 Définition.....	10
5.2 Classification et cycle de vie.....	11
5.2.1 Chlorophytes.....	11
5.2.2 Algues rouges (Rodophytes).....	12
5.2.3 Algues brunes (Phéophytes ou Chromophytes).....	13
5.2.4 Cyanophytes.....	14
5.3 Compositions bioactifs des algues marines.....	15
5.3.1 Phlorotannins.....	15
5.3.2 Polysaccharides sulfatés (SPS).....	16
5.3.3 Caroténoïdes.....	17
5.3.4 Peptides.....	17
5.3.5 Acides gras polyinsaturés (AGPI).....	18
5.3.6 Fucostérol.....	18
5.3.7 Sels minéraux.....	19
5.4 Propriété nutritionnelle et utilisation des algues marines.....	19
5.4.1 Domaine de la nutrition.....	19
5.4.1.1 Alimentation humaine.....	20
5.4.1.2 Alimentation animale.....	20
5.4.2 Domaine thérapeutique.....	20
5.4.3 Domaine environnemental.....	20
5.4.4 Domaine industriel.....	21
6. Généralités sur les algues marines étudiées.....	21
6.1 <i>Caulerpa racemosa</i> (algue raisin).....	21
6.2 <i>Caulerpa prolifera</i> .....	22
6.3 <i>Enteromorpha intestinalis</i> .....	23
6.4 <i>Ulva lactuca</i> .....	23
6.5 <i>Asparagopsis armata</i> .....	24
6.6 <i>Corallina elongata</i> .....	25
6.7 <i>Cystoseira tamariscifolia</i> .....	26

## Sommaire

<b>Chapitre 2. Matériel et méthodes.....</b>	<b>27</b>
1. Matériel.....	27
1.1 Présentation du site de récolte .....	27
1.2 Récolte du matériel algal .....	27
2. Méthodes.....	27
2.1. Préparation de l'extrait méthanolique.....	27
2.2 Souche fongique et milieux de culture.....	28
2.3 Recherche de l'activité antifongique.....	28
<b>Chapitre 3. Résultats et discussion.....</b>	<b>29</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>34</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>35</b>
<b>Annexe.....</b>	<b>39</b>



## **Dédicaces**

*Avec l'aide d'Allah, j'ai pu réaliser ce modeste travail que je dédie :*

*A mes grands parents*

*A ma mère Rabiaa,  
qui représente pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et  
l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.*

*A mon père Lakhder,  
Qui était toujours mon exemple de persévérance , et pour ses efforts fournis jour et  
nuit pour mon éducation et mon bien être.*

*A mes sœurs, Nytéri, Lotfia, Nessrine et Warda.*

*A mon frère Mohammed El Amine*

*A tous mes amis , surtout :*

*Wael , Mourad, Maki, Salah, Nouri,  
omar, walid, khaled, djallal, Bachir et Taki.*

*Elhachani*

## Remerciements

Ce travail a été effectué au laboratoire de Biochimie de l'Université Amar Téliidji de Laghouat. Je remercie profondément Monsieur Mustapha Hadjouja, responsable des laboratoires, d'en avoir autorisé la réalisation.

Je désire alors exprimer ma profonde gratitude à Monsieur Gacem Mohamed qui m'a honoré en acceptant d'être président de ce jury.

Nous remercions tout particulièrement Messieurs Benchettouh Ahmed et Hicham Gouzi de m'avoir encadré durant mon stage en étant toujours disponibles et encourageants, pour leurs aides et leurs conseils et pour leurs grandes valeurs humaines.

Nous remercions également Monsieur Sifi Ibrahim d'avoir accepté d'examiner ce mémoire ainsi que d'avoir bien voulu être membre de mon jury de Master. Qu'il trouve ici le témoignage de ma gratitude.

Je souhaite aussi saluer et remercier mes collègues étudiants(es), avec qui j'ai eu le plaisir d'étudier durant ces cinq dernières années.

Je tiens aussi à remercier toute l'équipe administrative et enseignante de l'Université Amar Telidji.

Un grand merci à mes parents et à toute ma famille pour leur amour et leur soutien. Pour l'aide qu'ils m'ont apportée.

Enfin, merci à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin durant ces années d'études.

هذا العمل يهدف الى معاينة نشاط مستخلص الطحالب البحرية مستخرجة من منطقتين سيدنا يوشع (تلمسان) و سلمندر ( ) و لهذا, النشاط ضد الاعفان ضد الفطريات المضرّة للنباتات تطبق بالمسح على وسط PDA. من بين هذه المستخلصات *Asparagopsis aramata* *Dictya dictyoma* *Corallina elongate* *Colérpa racemosa* تبين نشاط ضد الاعفان المعني, من جهة اخرى *Entheromorpha* *Colerpa prolifera* *Ulva lactuca* لا تثبط نمو الفطريات المجربة. *intestinalis* يكون مصدر واعد كعامل ضد الاعفان طبيعي ربما قد يستعمل لمعالجة ضد

الطحالب البحرية, المستخلصات المثانولية, الاعفان المضرّة, الكلمات المفتاحية:

### Résumé

Ce travail a pour objectif le criblage de l'activité antifongique des algues marines de deux lagunes, Sidna Youchaa (Tlemcen) et Salamandre (Mostaganem) d'Algérie.

Pour cela, l'activité antifongique vis-à-vis des champignons phytopathogènes ont été évaluée par la méthode de diffusion sur milieu PDA. Parmi les extraits algaux testés, *Colerpa racemosa*, *Corallina elongata*, *Dictya dictyoma* et *Asparagopsis aramata* ont montré une activité antifongique intéressante, par contre *Ulva lactuca*, *Colérpa prolifera*, et *Entheromorpha intestinalis* n'ont pas inhibé la croissance des champignons testés.

L'algue rouge *Asparagopsis aramata* constitue une source prometteuse d'agent antifongique naturel qui peut être utilisé pour lutter contre les mycotoxines.

**Mots clés:** Algues marines, extrait méthanolique, champignons phytopathogènes, mycotoxines.

### Abstract

This work was aims to screening the antifungal activity of the marine algae obtained from two Algerian coasts, Sidna Youchaa (Tlemcen) and Salamandre (Mostaganem).

For this, the antifungal activities against a phytopathogenic fungus were evaluated by diffusion method on PDA medium. From all algal extracts, *Colérpa ramosa*, *Corallina elongata*, *Dictya dictyoma* and *Asparagopsis aramata* shows an interesting antifungal activity while *Ulva lactuca*, *Colérpa prolifera*, et *Entheromorpha intestinalis* can't inhibit the growth of the tested fungus.

The red algae *Asparagopsis aramata* constitute a promising source of natural antifungal agent that can be used against mycotoxin production.

**Keywords:** Marines algae, methanolic extract, phytopathogenic fungi, mycotoxins.

## Liste des figures

	<b>Page</b>
<b>Figure 1 :</b> Le cycle de reproduction de <i>Ulvalactuca</i> (Simon, 2002).....	<b>12</b>
<b>Figure 2 :</b> Le cycle de développement d' <i>Asparagopsisarmata</i> (Otero et al., 2013)....	<b>13</b>
<b>Figure 3 :</b> Le cycle de développement du fucus (Roland, 2008).....	<b>14</b>
<b>Figure 4 :</b> quelque produits antioxydants de phlorotannins dérivés des algues marines (Li et Kim, 2011).....	<b>16</b>
<b>Figure 5 :</b> Les polysaccharides sulfatés antioxydants ont dérivé des algues marines : fucoidan, carraghénane et ulvan (Li et Kim, 2011).....	<b>17</b>
<b>Figure 6 :</b> les antioxydants dérivés des caroténoïdes d'algues marines (Li et Kim, 2011).....	<b>17</b>
<b>Figure 7 :</b> Structure du fucosterol (Li et Kim, 2011).....	<b>19</b>
<b>Figure 8:</b> (A) <i>Caulerpa racemosa</i> . (B) Poudre d'algue <i>Caulerpa racemosa</i> .....	<b>22</b>
<b>Figure 9:</b> (A) <i>Caulerpa prolifera</i> . (B) Poudre d'algue <i>Caulerpa prolifera</i> .....	<b>22</b>
<b>Figure 10:</b> (A) <i>Enteromorpha intestinalis</i> . (B) Poudre d'algue <i>Enteromorpha intestinalis</i> .....	<b>23</b>
<b>Figure 11:</b> (A) <i>Ulva lactuca</i> . (B) Poudre d'algue <i>Ulva lactuca</i> .....	<b>24</b>
<b>Figure 12:</b> (A) <i>Asparagopsis armata</i> . (B) Poudre d'algue <i>Asparagopsis armata</i> .....	<b>25</b>
<b>Figure 13:</b> (A) <i>Corallina elongata</i> . (B) Poudre d'algue <i>Corallina elongata</i> .....	<b>26</b>
<b>Figure 14:</b> (A) <i>Cystoseira tamariscifolia</i> . (B) Poudre d'algue <i>Cystoseira tamariscifolia</i> .....	<b>26</b>
<b>Figure 15 :</b> Résultats de l'effet antifongique de l'extrait méthanolique d' <i>Asparagopsis armata</i> et du méthanol déterminé par la méthode de diffusion sur milieu PDA.....	<b>32</b>

## *Liste des tableaux*

	<b>Page</b>
<b>Tableau 1 :</b> Moisissures et mycotoxines retrouvées dans certains aliments (Nguyen, 2007).....	5
<b>Tableau 2:</b> Les principales mycotoxines et leurs effets (Brochard et Le Bâcle, 2009).....	7
<b>Tableau 3:</b> Quelques espèces fongiques productrices de mycotoxines (Atoui, 2006).	8
<b>Tableau 4 :</b> Résultats de l'effet antifongique des extraits méthanoliques de quelques algues marines d'Algérie.....	31
<b>Tableau 5.</b> Résultats de l'effet de l'extrait méthanolique d'algue rouge <i>Aspragopsis armata</i> sur la croissance de quelques champignons phytopathogènes...	33

# **Annexe**

## *Introduction*

---

Les champignons phytopathogènes et leurs mycotoxines sont considérées des contaminants alimentaires les plus significatifs en termes d'impact sur la santé publique, la sécurité alimentaire et notamment l'économie de nombreux pays (Ruppel et *al.*, 2004, Atoui 2006).

Selon la FAO, au moins 25% des cultures alimentaires sont contaminées par les mycotoxines au moment où la production agricole des produits de base soutient à peine la croissance de la population mondiale (Nafees, 2009).

Ce n'est que vers le début du 20<sup>ème</sup> siècle que les propriétés toxiques des moisissures commencent à être soupçonnées.

En matière de protection, on peut utiliser plusieurs types d'approches soient la lutte chimique, la lutte biologique, la lutte physique, les biopesticides et les facteurs humains. (Vincent et *al.*, 2001). La lutte chimique semble être le moyen le plus efficace pour juguler les parasites fongiques des cultures maraîchères. Cependant, elle présente de nombreux inconvénients tels que la pollution de l'environnement, les problèmes d'intoxication des opérateurs et des consommateurs, l'apparition de souches résistantes et l'augmentation de la quantité des résidus sur les fruits (Ainane, 2011), l'élimination de l'entomofaune utile, le coût élevé des appareils et des produits de traitement, l'accumulation de résidus dans la chaîne alimentaire et notamment l'apparition de champignons résistants dans le temps (Mokbel et Sukanuma, 2006).

Devant cette situation, l'intégration d'autres stratégies efficaces et respectueuses à l'environnement semble être nécessaire. La présente étude encourage l'utilisation des produits biologiques et naturels comme les extraits d'algue marine pour lutter contre les phytopathogènes.

Depuis la découverte des activités antibactériennes et antifongiques de plusieurs espèces d'algue marine des différentes parties du monde et l'isolement de leurs principe actif, (Hornsey and Hide, 1974; Reichelt and Borowitzka, 1984), les algues marine ce sont devenues une source potentielle de substances d'antibiotiques (Rao, 1991).

En Algérie il existe une très grande diversité d'algues marines mais il existe peu de travaux sur le screening de leur activités antimicrobienne (Saidani et *al.*, 2012).

Les résultats des recherches sur les propriétés pharmacologiques des algues marines des côtes Algériennes, constituent des pistes prometteuses de développement, notamment dans le domaine des antifongiques. La présente étude a donc eu pour objectif de tester l'activité antifongique des extraits méthanolique de sept algues marines sur des champignons phytopathogènes (*Aspergillus ochraceus*, *Aspergillus parasiticus*, *Pinicilium viridicatum*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium oxysporum radices lycopersici*, *Rizoctonia*).

## *Introduction*

---

Les espèces d'algues ont été récoltées des cotes de Sidi Youchaa (Tlemcen) et de Salamandre (Mostaganem).

Ce mémoire présenté en trois chapitres est séquencé comme suit.

Le premier chapitre concerne un rappel bibliographique sur les algues marines et sur les champignons phytopathogènes.

Dans le deuxième chapitre, nous mettrons en évidence les procédures expérimentales. Le troisième chapitre est consacré à une discussion des résultats obtenus.

Enfin, une récapitulation succincte des résultats ainsi que les perspectives ouvrant la voie à des études ultérieures, sont regroupées dans la conclusion.

# **Chapitre 1. *Synthèse bibliographique***

## 1. Généralités sur les mycètes

Les mycètes, communément appelés champignons, sont des organismes ubiquitaires qui se trouvent dans tous les milieux. On les rencontre dans les forêts, à l'intérieur des habitats humides, dans les salles de bain, les cuisines, sur les tapisseries, mais aussi sur les céréales, les fruits, les légumes, le fromage, le pain, etc. (Nafees, 2009).

Les mycètes constituent un règne autonome appelé *Mycota* qui comprend 60 000 à 100 000 espèces (Reboux et *al.*, 2010). Suite aux apports de la biologie moléculaire, le règne des mycètes est divisé en six divisions qui sont *Chytridiomycota*, *Zygomycota*, *Ascomycota*, *Basidiomycota*, *Glomeromycota* et *Deuteromycota* (Lecompte, 2008). Ce sont des organismes eucaryotes uni- ou multicellulaires, incluant des espèces macroscopiques (macromycètes) et d'autres microscopiques (micromycètes), d'aspect filamenteux ou lévuriforme (Tabuc, 2007).

Les micromycètes multicellulaires, appelés couramment moisissures, ont la forme de filaments. Ces filaments peuvent être divisés par des cloisons, ou septa (septum au singulier), formant des unités qui ressemblent à des cellules distinctes. On les appelle hyphes segmentés ou septés. Dans d'autres classes de mycètes, les hyphes ne contiennent pas de cloisons; ils sont appelés siphons ou cénocytes (Tortora, 2003). L'ensemble des hyphes (cloisonnés ou non) constitue un réseau visible à l'œil nu sous forme de petites taches colorées à la surface de substrats moisissés. Ce réseau forme la partie végétative du mycète nommée mycélium (Chasseur et Nolard, 2003).

Il s'agit d'organismes hétérotrophes qui vivent au dépend soit, de la matière organique morte (saprophytes), soit des métabolites des autres organismes (parasites ou symbiotes). Leur nutrition s'effectue par l'émission d'enzymes et d'acides sur le substrat, puis ils absorbent les nutriments ainsi libérés à travers leur paroi; des absorbotrophes (Roquebert, 1997).

Les mycètes se développent, en général, dans les endroits obscurs, humides et mal aérés, le plus souvent, entre 20°C et 30°C avec une activité d'eau (aw) entre 0,85 à 0,98 et un pH entre 5,5 à 9 (Reboux, 2006). Ces microorganismes sont dotés de deux modes de reproduction: sexuée et asexuée. Une espèce fongique peut se présenter dans une culture soit sous forme sexuée (téléomorphe), asexuée (anamorphe) ou sous les deux formes (holomorphe) (Chabasse et *al.*, 2002).

La reproduction asexuée est le mode commun de la plupart des mycètes qui peut se faire de plusieurs façons, la plus commune est la production des spores endogènes ou exogènes. Ces dernières sont appelées conidies et sont portées par des structures spéciales nommées conidiophores (Chasseur et Nolard, 2003).

Les moisissures peuvent avoir un effet bénéfique dans différents domaines (la fabrication du fromage dans le domaine agroalimentaire et des antibiotiques dans le domaine thérapeutique). A côté de ces moisissures utiles, on retrouve des moisissures indésirables, toxigènes, responsables de problèmes économiques ou encore elles sont dangereuses pour la santé suite à leur production de mycotoxines (Ellis et *al.*, 2008).

## **2. Les moisissures toxigènes et les denrées alimentaires**

Une espèce fongique toxigène est une espèce dont certaines souches sont susceptibles d'élaborer ou de provoquer, dans certaines conditions, l'apparition d'un ou de plusieurs substances toxiques. La formation de ces métabolites peut résulter de trois mécanismes différents: la transformation d'un substrat non toxique en un produit toxique par le biais des bioconversions; la déviation du métabolisme normal de la plante, aboutissant à la formation de produits toxiques ou la production, proprement dite, des mycotoxines, métabolites secondaires propres à la souche fongique (Leclerc et *al.*, 2005).

Les moisissures sont capables de provoquer d'importantes détériorations, dans le domaine agronomique. Ainsi, leur présence indésirable donne aux aliments des odeurs moisiées et modifient leurs aspect via la production de pigments, comme la mélanine. Il y a donc une réduction quantitative et qualitative de la valeur alimentaire de la denrée, accompagnée d'une baisse du rendement des récoltes.

Les métabolites produits par ces champignons lors de leur croissance sont aussi des éléments majeurs dans l'altération des denrées alimentaires dont les mycotoxines sont les plus graves en raison de risque d'intoxication (Nguyen, 2007).

Les aliments touchés par les moisissures toxigènes peuvent être d'origine animale ou végétale. Les céréales sont les denrées alimentaires végétales les plus fréquemment contaminées (en plein champ ou lors du stockage). Les autres produits d'origine végétale sont les fruits (y compris leurs jus et leurs produits de fermentation tels que les vins, le cidre et leurs dérivés secs), les épices, le café et le cacao.

Des produits et aliments d'origine animale tels que le lait, le sang, les abats et tout ce qui en dérive doivent retenir l'attention (Tableau 1), du fait qu'ils peuvent contenir des traces de mycotoxines ou des dérivés des mycotoxines contenues dans les aliments ingérés par les animaux d'élevage (AFSSA, 2009).

*Aspergillus* sp. sont les espèces fongiques les plus communes qui sont capables de produire des mycotoxines dans les produits alimentaires. Les mycotoxines sont connues pour être une cause puissante capable de produire un cancer hépatique chez les animaux et les humains. La présence et la croissance des champignons peuvent entraîner la détérioration et la réduction de la qualité et la quantité des aliments (Rasooli et Abyaneh, 2004).

**Tableau 1 :** Moisissures et mycotoxines retrouvées dans certains aliments (Nguyen, 2007).

Moisissure	Mycotoxine	Denrées
<i>Aspergillus</i>	Aflatoxines Stérigmatocystine Ochratoxines A	Maïs, riz, cacahuète, graines de coton, de potiron, haricots, tissus d'animaux (jambon, lard, saucisse), lait et dérivés
<i>Fusarium</i>	Trichothécènes (déoxynivalénol, toxine-T2, diacétoxyscirpénol), fumonisines, zéaralénone, moniliformine, fusarenone	Blé, maïs, orge, riz, seigle, avoine, noix
<i>Penicillium</i>	Patuline, ochratoxine A, citrinine, acide cyclopiazonique, pénitrem A	Fruits et jus de fruits, blé et dérivés, riz, fromage, noix
<i>Alternaria</i>	Alternariol, acide tenuazonique	Fruits, légumes et produits dérivés de pommes et tomates
<i>Claviceps</i>	Alcaloïdes de l'ergot	Blé et dérivés, seigle

Le développement des moisissures toxigènes est favorisé dans les pays d'Afrique, d'Asie du Sud et de l'Amérique Latine, où la dominance de chaleur et d'humidité se conjuguent. Ainsi le maïs, le riz et le millet, aliments de base des populations de ces pays, sont souvent contaminés par les aflatoxines (Nguyen, 2007). Plusieurs autorités ont suggéré que le maïs est une source de maladie sur le plan nutritionnel, liée à sa consommation comme un aliment de base (Dutton, 2009). Cette réalité est liée à la sensibilité élevée du maïs à la contamination par les mycotoxines, en comparaison avec les autres céréales, comme le blé, qui sont résistantes ou seulement modérément sensible à cette contamination (Zinedine et Mañes, 2009).

### 3. Les mycotoxines

#### 3.1 Nature et origine des mycotoxines

Les mycotoxines sont des métabolites secondaires, toxiques, de faible poids moléculaire (entre 200 et 10.000 daltons), excrétées par certaines moisissures qui se développent sur divers produits agricoles sous des conditions environnementales particulières (Krska, 2009). À ce jour, 300 à 400 mycotoxines sont connues (Pamel et *al.*, 2010). Il s'agit de petites molécules peu solubles dans l'eau, peu volatiles et difficilement métabolisées par les organismes vivants.

Les mycotoxines sont très stables à l'acidité et à la chaleur (Ruppel et *al.*, 2004). L'origine chimique des mycotoxines est très diverse, certaines dérivent des polycétoacides (aflatoxines, ochratoxine, patuline, stérigmatocystine), d'autres des acides aminés (alcaloïdes de l'ergot, acide aspergillique, acide cyclopiazonique) et les derniers sont des dérivés terpéniques (désoxynivalénol, diacétoxyscirpénol, fusarénone,) (Leclerc et *al.*, 2005).

#### 3.2 Effets des mycotoxines

Les mycotoxines constituent un danger imminent qui tire le signal d'alarme, en raison des pertes économiques importantes qui sont liées à leurs effets sur la santé de l'homme, sur la productivité animale et sur le commerce national et international. La FAO estime que plus de 25 % des récoltes mondiales sont significativement contaminées par des mycotoxines (Krska, 2009). L'ingestion d'aliments contaminés par les mycotoxines peut être à l'origine de toxicités aiguës ou chroniques nommées mycotoxicoses. Cependant, les intoxications aiguës sont rares, spécifiquement chez l'homme, en raison des faibles quantités pouvant être ingérées avec des aliments contaminés. Mais, l'intoxication chronique est souvent à craindre et ce, à cause de l'effet cumulatif des doses fixées sur des organes cibles, tels que le foie ou le rein (Leclerc et *al.*, 2005). Les mycotoxines peuvent aussi avoir des effets carcinogènes, mutagènes, tératogènes et immunosuppresseurs (Tableau 2). En outre, certaines mycotoxines peuvent altérer des réactions immunitaires et réduire ainsi, la résistance aux infections. Du coup, il est, maintenant, largement considéré comme leur effet le plus important, surtout dans les pays en développement (Pamel et *al.*, 2010).

**Tableau 2:** Les principales mycotoxines et leurs effets (Brochard et Le Bâcle, 2009).

Mycotoxines	Effets avérés ou suspectés
Aflatoxines	Hépatotoxique – Mutagène – Cancérogène – Immunotoxique
Citrinine	Néphrotoxique
Fumonisine B1	Neurotoxique – Hépatotoxique – Immunotoxique – Cancérogène
Ochratoxines	Néphrotoxique – Cancérogène - Mutagène
Patuline	Neurotoxique – Mutagène ( <i>in vitro</i> )
Pénitrème A	Neurotoxique
Stérigmatocystine	Hépatotoxique - Cancérogène
Trichothécènes	Hématotoxique– Hépatotoxique - immunotoxique – Cancérogène
Zéaralénone	Ostrogénique – Effet sur la fertilité et la reproduction

### 3.3 Les moisissures mycotoxinogènes

Les mycotoxines sont produites par de nombreuses moisissures, dotées génétiquement d'un pouvoir toxigène (Reboux, 2006). Plus de 150 moisissures mycotoxinogènes sont connues actuellement, elles appartiennent principalement aux genres *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium* et *Penicillium* (Pamel et al., 2010). Parmi ces genres, seules certaines espèces et parfois, certaines souches au sein d'une espèce, sont capables d'excréter des mycotoxines (Ruppel et al., 2004).

Certaines mycotoxines sont étroitement liées à des espèces fongiques spécifiques alors que, d'autres sont élaborées par de nombreuses espèces appartenant à des genres différents (Tableau 3).

Les mycotoxines sont produites soit, dans le champ lors du développement de la plante (toxines du champ) soit, après la récolte (toxine du stockage) (AFSSA, 2009). De manière générale, les conditions environnementales nécessaires à la production de mycotoxines sont plus étroites que celles permettant la croissance fongique (Tabuc, 2007).

**Tableau 3:** Quelques espèces fongiques productrices de mycotoxines (Atoui, 2006).

Mycotoxine	Moisissure
Aflatoxines B1, B2, G1 et G2	<i>Aspergillus parasiticus</i> , <i>A. flavus</i>
Citrinine	<i>P. citrinum</i> , <i>Monascus ruber</i>
Déoxynivalénol (DON), Nivalenol, Fusarenone, Toxine T2	<i>F. tricinctum</i> , <i>Fusarium sp.</i>
Fumonisines	<i>F. moniliforme</i> , <i>F. proliferatum</i> , <i>Fusarium sp.</i>
Monolifirmine	<i>F. proliferum</i> , <i>F. Subglutinans</i>
Ochratoxines A, B, C	<i>A. ochraceus</i> , <i>A. carbonarium</i> <i>Penicillium verrucosum</i> , <i>P. nordicum</i>
Patuline	<i>P. ochraceus</i> , <i>P. cyclopium</i> , <i>P. Puberulum</i>
Stérigmatocystine	<i>A. nidulans</i> , <i>A. versicolor</i>
Zéaralénone	<i>Fusarium roseum</i> , <i>Fusarium sp.</i>

#### 4. La lutte chimique contre les champignons phytopathogènes

##### 4.1 Les fongicides

Plusieurs stratégies chimiques permettent de lutter contre l'invasion d'une plante par un champignon, de façon directe ou indirecte. En effet, certains fongicides agissent sur le système énergétique des cellules fongiques en inhibant les processus respiratoires.

D'autres agissent sur la synthèse des constituants du champignon. Des substances ont encore pour but de désorganiser les cellules et leurs divisions au sein des tissus fongiques. Un classement de ces matières actives consiste à distinguer plusieurs catégories suivant leur pénétration dans la plante et leur action chimique.

#### **4.1.1 Les fongicide non systémiques**

Les fongicides non systémiques sont ceux qui demeurent au niveau du point d'application sur la plante. Ils sont dits de surface s'ils restent à l'extérieur du végétal, à la surface des feuilles dans le cas d'une application foliaire.

Lorsque les fongicides sont suffisamment lipophiles, ils sont piégés au niveau de la cuticule des feuilles; on les appelle alors cuticulaires. Ils peuvent aussi franchir la cuticule et diffuser dans les parois des premières couches cellulaires. Dans ce cas, il s'agit de fongicides pénétrants.

#### **4.1.2 Les fongicides systémiques**

La systémie des fongicides se limite uniquement à une systémie xylémienne: le produit diffuse de la semence (zone d'application) vers le sol environnant puis est absorbé par les racines au moment de la germination pour migrer vers les partie aériennes.

#### **4.2 Les stimulateurs de défenses naturelles des plantes**

Les mécanismes de défenses naturelles sont complexes mais de mieux en mieux connus grâce aux approches génétiques et moléculaires. Il est alors possible d'intervenir à différents niveaux en appliquant sur les plantes des substances naturelles ou des analogues dont le rôle est de stimuler les réactions de défense vis-à-vis des pathogènes (Rocher, 2004).

#### **4.3 Lute par les substances naturelles**

La lutte chimique semble être le moyen le plus efficace pour juguler les parasites fongiques des cultures maraîchères. Cependant, elle présente de nombreux inconvénients tels que la pollution de l'environnement, les problèmes d'intoxication des opérateurs et des consommateurs, l'élimination de l'entomofaune utile, le coût élevé des appareils et des produits de traitement, l'accumulation de résidus dans la chaîne alimentaire et notamment l'apparition de champignons résistants dans le temps. Pour pallier à ces nombreuses contraintes liées à l'emploi des pesticides, d'autres stratégies de lutte ont été envisagées, à savoir la lutte variétale qui consiste en la sélection de matériel végétal et la lutte biologique qui consiste en l'utilisation de biopesticides et des ennemis naturels. Les substances naturelles des plantes ont été utilisées traditionnellement dans la conservation des aliments, *in vitro*, les extraits et la poudre de certains végétaux ont montré leur capacité d'inhiber les moisissures toxigènes et la production des toxines (Mohammedi, 2013).

Dans cette lutte, les produits végétaux ont pris une part considérable dans les travaux de recherche et plus précisément les huiles essentielles, cependant, très peu d'études ont été réalisés jusqu'à ce jour concernant les extraits naturels.

Les inhibiteurs de la biosynthèse de l'*aspergillus flavus* agissent à trois niveaux: (1) modulent les facteurs physiologique et environnementales affectant la biosynthèse de l'aflatoxine, (2) inhibent les circuits de signalisation des voies biosynthétiques, ou (3) inhibe directement l'expression des gènes ou l'activité des enzymes (Mohammedi, 2013).

## 5. Généralités sur les algues marines

### 5.1 Définition

Les algues sont des plantes primitives non fleurissantes sans racine, ni tige et ni feuilles (Sathya, 2013). Elles sont des Thallophytes chlorophylliens se développant dans l'eau ou dans des milieux très humides. Bien que surtout abondantes dans les eaux des mers, et les eaux douce (lacs et mares), et des eaux thermales, on en trouve également sur les rochers humides et sur la terre. Exceptionnellement, elles peuvent être endophytes de tissus animaux ou végétaux (Feldmann, 1963) et même dans la neige. Elles se nourrissent directement à partir de leur surface cellulaire et prélèvent les éléments nutritifs dans le milieu qui les baigne ou les humecte (Cabioc'h, 2006).

Les algues sont des organismes autotrophes, c'est à dire capables de photosynthèse à la tributaires de la lumière. Or celle-ci est absorbée par l'eau et à quelques mètres de profondeur l'éclairement devient insuffisant pour assurer une assimilation compensant les pertes dues à la respiration. Elles sont limitées pour cette raison en milieu aquatique à une zone superficielle qui, en général, ne dépasse pas 40 à 60 mètres de profondeur (ce qui, à l'échelle océanique représente une mince pellicule ; au-delà, le milieu marin est dépourvu de producteurs).

On distingue dans les populations algales deux grands ensembles. Le premier est constitué d'espèces qui flottent ou nagent en pleine eau ; elles sont en général microscopiques et souvent unicellulaires. Elles forment la partie végétale et productrice du plancton et *phytoplankton* (du grec, *plankton*= errant). Le second ensemble *phytobenthos* (du grec, *benthos* = fond) est constitué par des espèces fixées au fond.

Elles constituent en particulier une riche frange de végétation sur le littoral. Parmi ces Algues côtières se rencontrent des espèces dont les thalles atteignent de grandes dimensions et un degré élevé d'organisation pluricellulaire (Roland, 2008). L'air, la lumière et des sels dissous sont, en plus de l'eau, nécessaires à leur développement.

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 (Feldmann, 1963).

## **5.2 Classification et cycle de vie**

Les Algues ont des couleurs variées dues à la présence de pigments masquant plus ou moins la chlorophylle. Ce caractère conduit à subdiviser le groupe en trois grandes lignées qui s'opposent par un ensemble de caractères biochimiques, structuraux et fonctionnels (Roland, 2008).

L'ensemble des algues a été classé selon leurs pigmentations en :

- Chlorophytes (Algues vertes)
- Rodophytes (Algues rouges)
- Phéophytes ou Chromophytes (Algues brunes)
- Cyanophytes (Algues bleues).

### **5.2.1 Chlorophytes**

La plus part des algues vertes vivent en eau douce, mais de nombreuses espèces se rencontrent en milieu océanique comme composantes de la végétation benthique ou bien du phytoplancton. Quelques autres sont terrestres, se développant dans des endroits humides au voisinage des mousses et des fougères. Certaines algues vertes peuvent également former des associations symbiotiques avec d'autres organismes. Les algues vertes synthétisent les chlorophylles a et b, et stockent l'amidon dans les plastes.

Il existe environ 7500 espèces d'algues vertes réparties dans plusieurs classes, parmi lesquelles : les Chlorophyceae, les Ulvophyceae et Charophyceae. Ces classes diffèrent par la disposition et l'ancrage des flagelles, par la chronologie de la disposition des fuseaux à la télophase, et par la manière dont se produit la cytodierèse après la division nucléaire (Nabors, 2009).

La reproduction peut se manifester à l'observation de deux manières. Dans les cas les plus simple et les plus aisément observables, un ensemble de cellules végétatives transforment intégralement leur contenu en cellules fertiles (spores ou gamètes). Tel est le cas des Ulvales, dont on observe fréquemment sur les grèves les extrémités décolorées après complètes libération des éléments fertiles (Figure 1). Chez ces espèces, après élimination de la région morte décolorée, le thalle, demeuré intact, se répare jusqu'à l'apparition d'une seconde poussée reproductrice. Chez d'autre espèces, au contraire, le thalle se reproduit une seule fois, se transforme intégralement en éléments reproducteurs (holocarpie des *Caulerpa*, *Flabellia*, *Halimeda*) et ne survit pas à la période de reproduction. Dans d'autres cas par exemple *codium*, des cellules spécialisées apparaissent au moment de la reproduction et sont relativement peu accessibles à l'observation sans les moyens de le microscope.

Les cycles biologiques sont divers, depuis le cycle digénétiques isomorphe (alternance entre un sporophyte diploïde et un gamétophyte haploïde identiques) des *Ulva* et *Cladophorajus* qu'au cycle monogénétique des *codium* et *Caulerpa* (une seule génération productrice de gamètes), auxquels s'ajoutent des cas intermédiaires (cycles digénétiques hétéromorphes) ainsi que de nombreuses possibilités d'aberrations (apoméiose, apomixie, parthénogénèse).

Les algues vertes marines présentent différents cas de longévité. Certaines sont pérennantes, c'est-à-dire susceptibles de vivre plusieurs années, avec une croissance et une reproduction généralement saisonnières que *codium* et *Halimeda*. D'autres sont au contraire annuelles et éphémères; elles ont une vie courte et connaissent une succession de génération au cours de l'année. Certains d'entre elles peuvent en outre présenter des périodes de prolifération importantes et spectaculaires sous l'effet d'un fort ensoleillement et d'un enrichissement du milieu en sels nutritifs. Tel est le cas des *Ulvales* (Cabioc'h et al, 2006).

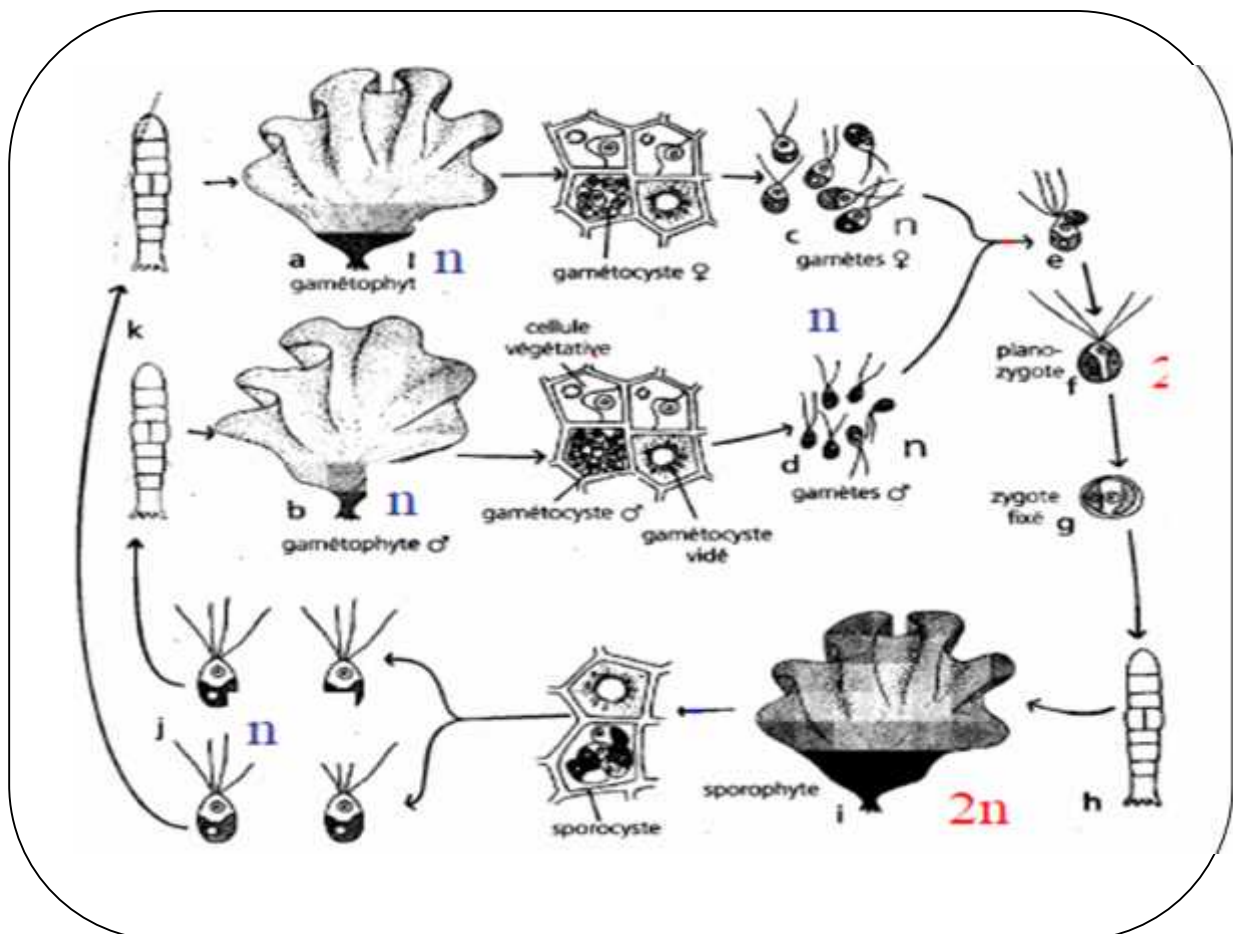


Figure 1 : Le cycle de reproduction de *Ulvalactuca* (Simon, 2002).

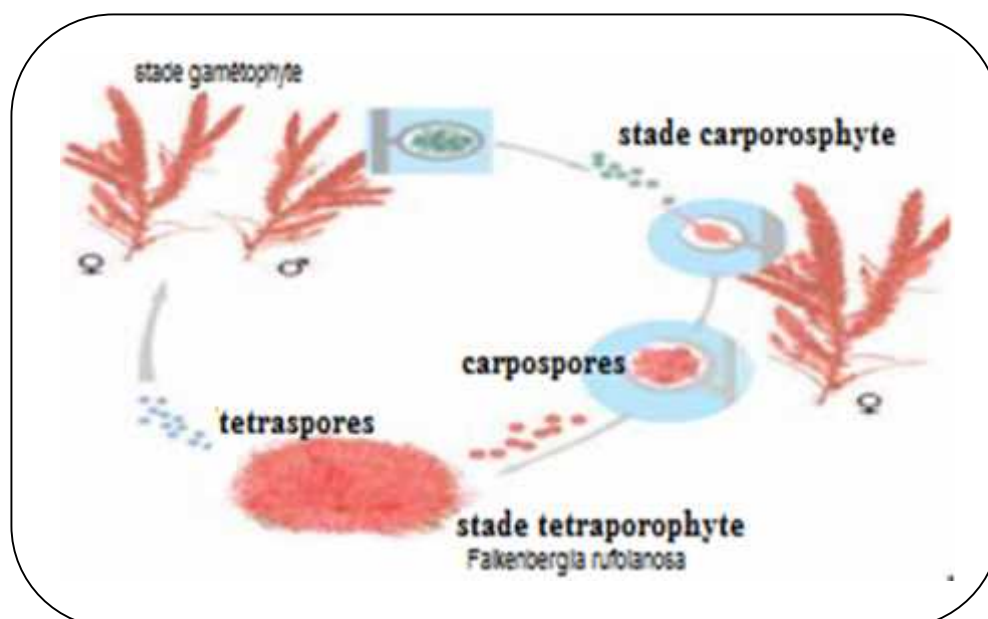
### 5.2.2 Algues rouges (Rodophytes)

Sont rouge dû à leur teneur élevée de phycoérythrine et phycocyanine, qui masque d'autres colorants (Graham et Wilcox , 2000). La plus part des 5000 espèces connues sont marines. Parmi les espèces identifiées moins de 100 vivent en eau douce. La plupart des algues rouges sont pluricellulaires, avec des thalles pouvant mesurer jusqu'à 30 cm de longueur. Les différentes espèces ont un mode de vie libre (parfois épiphyte) ou parasite.

Les parois d'algues rouges possèdent une charpente cellulosique, mais elles sont essentiellement constituées de mucilage contenant des agars et des carragénanes, tous polymères de galactose qui sont utilisés comme épaississants alimentaires. De nombreuses algues rouges forment en outre des dépôts de carbonate de calcium dans leurs parois. Ces algues appartiennent au groupe des *Corallinacées*.

Les algues rouges sont connues par la complexité de leur cycle de vie. La majorité des espèces possède trois phases pluricellulaires : une phase gamétophytique haploïde et deux phases sporophytiques diploïdes. L'une des phases sporophytiques (tétrasporophytes), produit par moise des spores (tétraspores) qui germent en donnant des gamétophytes mâles ou femelles. Les gamétophytes mâles libèrent des spermaties (gamètes non flagellées), qui seront transportées par les courants jusqu'aux cellules reproductrices femelles portées par les gamétophytes femelles (Figure 2).

Après la fécondation, le zygote se divise par mitose, produisant la seconde phase sporophytique, le carposporophyte, qui reste d'ailleurs fixé sur le gamétophyte femelle, aux dépens duquel il vit en parasite. Le carposporophyte libère des carpospores, qui vont se développer en donnant de nouveaux sporophytes (Nabors, 2009).



**Figure 2** : Le cycle de développement d'*Asparagopsis armata* (Otero et al., 2013).

### 5.2.3 Algues brunes (Phéophytes ou Chromophytes)

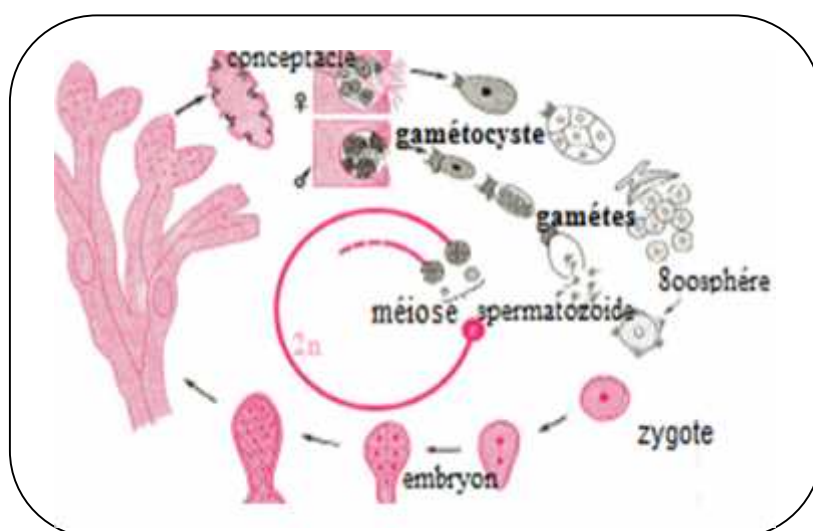
Ces algues sont brunes en raison de leurs concentrations élevées de fucoxanthin et d'autres caroténoïdes de xanthophylle (Karleskint et *al.*, 2009). Les caractéristiques principales des algues brunes, indépendamment de leur abondance de caroténoïdes de xanthophylle, est le stockage des produits photosynthétiques excessifs sous forme de laminaran et de mannitol et de fait que leurs murs de cellules se composent de cellulose, d'acide fucinique, et d'acide alginique (Kumar et Singh, 1979; Wiencke et *al.*, 2007).

Les plastes bruns de ces algues, qui comptent quelques 1500 espèces, contiennent trois chlorophylles (a,  $c_1$  et  $c_2$ ) plus ou moins masquées par divers pigments jaunes et orangés, les parois des cellules sont riches en un polysaccharide particulier, l'acide alginique, présent sous forme d'alginate.

Le paranoïde (corpuscule continu dans le plaste et impliqué dans la photosynthèse). L'amidon est toujours absent chez les phéophycées. Chaque algue brun est male, femelle, ou hermaphrodite. Leur cycle peut comporter une ou deux générations (Nabors, 2009).

La reproduction se fait par voie sexuée et asexuée, à l'aide de cellules spécialisées sporocystes ou gamétocystes, il ya deux grands types de cycles biologiques qui ont été reconnus :

- Dans la majorité des cas le cycle digénétique comporte la succession d'un gamétophyte producteur de gamètes et d'un sporophyte producteur de spores.
- un second ensemble d'algues brunes est caractérisé par une réduction extrême du gamétophyte. Seule persiste une génération diploïde (sporophyte) qui héberge un gamétophyte inclus et réduit, producteur de gamètes. Le cycle est alors monogénétique. Tel est le cas des fucales (Figure 3) (Cabioc'h et *al.*, 2006).



**Figure 3** : Le cycle de développement du fucus (Roland, 2008).

### **5.2.4 Cyanophytes**

Les algues bleues appartenant au domaine des Eubactéries. Ce sont des organismes autotrophes grâce à la présence de la chlorophylle et des pigments surnuméraires ‘phycobilines’ qui sont des phycocyanines (bleues) et des phycoérythrine (rouges). Ce sont également des procaryotes; leur matériel génétique est sous forme d’ADN nu. Elles sont caractérisées par l’absence de plastes, de mitochondries, d’appareil de Golgi et de réticulum endoplasmique. Elles ne possèdent jamais de flagelles.

Les Cyanobactéries se présentent sous différentes formes : unicellulaires solitaires, unicellulaires coloniales informes, cénobies, trichomes qui peuvent être simples, ramifiés ou présentant des fausses ramifications.

Les cyanobactéries se reproduisent uniquement par voie asexuée. Parmi les modes de division rencontrés, on cite :

- La scissiparité (division binaire) : se fait par apparition d’une membrane annulaire qui se développe vers le centre en se refermant à la manière d’un diaphragme iris.
- La Fragmentation de la colonie : chez les espèces à trichomes, donne des structures spécialisées qui sont des coccospores (spores isolées) ou des hormogonies (filaments de quelques cellules). Des cellules particulières permettent également la fragmentation du thalle. Ce sont des nécriides, des cellules disjonctrices et des hétérocystes. Les hétérocystes sont des cellules volumineuses et enkystées qui sont réparties le long du trichome. Ce sont des cellules spécialisées également dans la fixation de l’azote de l’air dans un milieu aérobique. Ces structures sont caractéristiques de certaines familles. Des espèces non munies d’hétérocystes peuvent fixer l’azote de l’air mais seulement en anaérobie (Ourari, 2013).

## **5.3 Compositions bioactifs des algues marines**

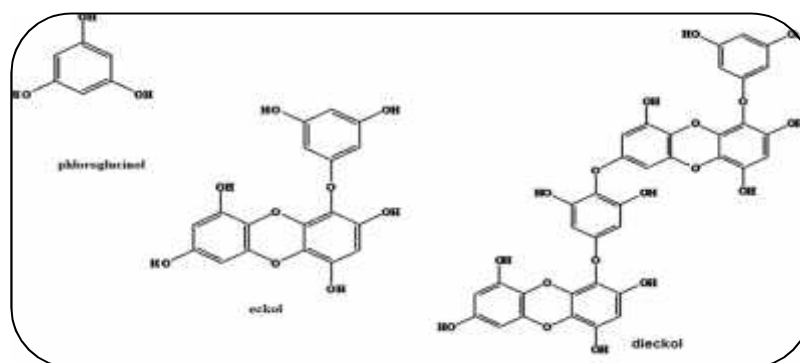
### **5.3.1 Phlorotannins**

Les phlorotannins sont des composés phénoliques constitués par la polymérisation du phloroglucinol ou défini en tant qu’unité du monomère 1,3,5-trihydroxybenzène et biosynthétisés par la voie d’acétate malonate. Les phlorotannins ont été identifiés à partir de plusieurs familles d’algues brunes, telles que les Alariaceae, les Fucaceae et les Sargassaceae. Beaucoup d’études ont prouvé que les phlorotannins sont le seul groupe phénolique détecté en algues brunes et peuvent constituer jusqu’à 15 % de leurs poids sec. Phlorotannins sont les composants fortement hydrophiles avec une large gamme de taille moléculaire entre 126 et 650 kDa (Sathya et al., 2013). En outre, il a été rapporté que les Laminariaceae sont plus riches en phlorotannins comparés à d’autres algues marines (Kannan et al., 2014). Des études

ont été menées sur deux espèces *Eisenia bicyclis* et *Ecklonia cava* résultant en un nombre important de phlorotannins à savoir : phloroglucinol, phloroglucinol tétramère, eckol, dieckol (Figure 4), bieckol, phlorofucofuroeckol **A** et dioxinodehydroeckol.

Les phlorotannins ont plusieurs activités biologiques salutaires de santé, y compris l'activité antioxydante qui est fortement liée aux cycles de phénol qui agissent en tant que pièges d'électron pour éliminer les peroxydes, aux anions de superoxyde et aux radicaux d'hydroxyle.

Les phlorotannins des algues brunes ont jusqu'à huit cycles reliés ensemble et sont donc des extracteurs plus efficaces de radical libre que des polyphénols dérivés des plantes terrestres (Sathya et al., 2013).



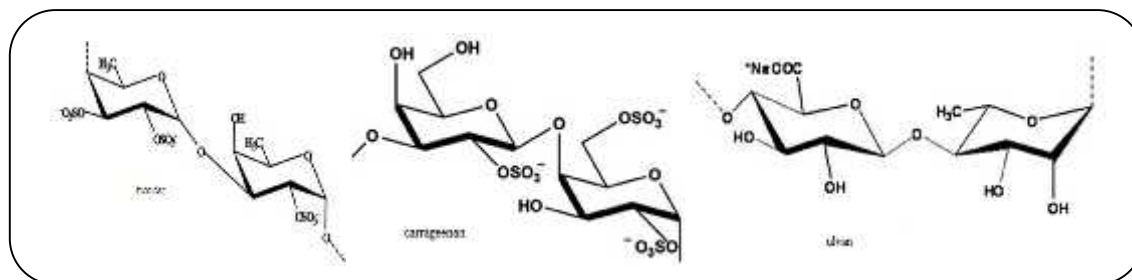
**Figure 4:** quelque produits antioxydants de phlorotannins dérivés des algues marines (Li et Kim, 2011).

### 5.3.2 Polysaccharides sulfatés (SPS)

Les polymères des sucres simples liés par des liaisons glycosidiques. Ces polymères chimiquement anioniques, constituent une grande variété d'applications comme stabilisateurs, épaississants, et émulsifiants en nourriture (Kannan et al., 2014).

Les algues marines sont la source la plus importante de SPS non animal et la structure chimique de ces polymères change selon l'espèce d'algues. La quantité présente de SPS s'avère différer selon les trois divisions principales des algues marines, Chlorophyceae, Rhodophyceae, et Phéophyceae. Les principales SPS trouvées dans les algues marines incluent des fucoidan et des laminarans d'algues brunes et du carragénanes des algues rouges, et ulvan des algues vertes (Figure 5). L'activité antioxydante du SPS dépend de leurs dispositifs structuraux tels que le degré de sulfatage, de poids moléculaire, de type du sucre majeur, et d'embranchement glycosidique. Par exemple, le SPS à faible poids moléculaire montre une activité antioxydante efficace que SPS de poids moléculaire élevé. En outre, le

SPS des algues marines sont connus pour être des extracteurs et des antioxydants de radicaux libres importants pour la prévention des dommages oxydants, qui sont un contribuant important dans la carcinogénèse (Li et Kim, 2011).

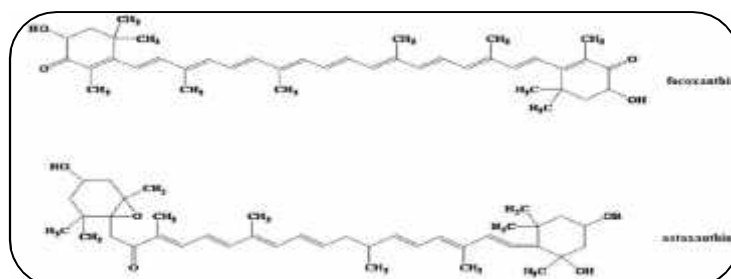


**Figure 5 :** Les polysaccharides sulfatés antioxydants ont dérivé des algues marines : fucoidan, carraghénane et ulvan (Li et Kim, 2011).

### 5.3.3 Caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des pigments organiques tétraterpenoid, ce sont synthésisé naturellement au niveau des chloroplastes et des chromoplastes des plantes et quelques autres organismes photosynthétiques comme les algues, quelques types de mycète et bactéries.

Les caroténoïdes communs, comme la lutéine, l'astaxanthine, et la zéaxanthine, sont connus comme xanthophylles mais le fucoxanthin et l'astaxanthine (sont les constituants principaux des caroténoïdes d'algues marines. Le fucoxanthin est l'un des caroténoïdes marins le plus abondants, et contribue plus que 10 % de toute la production estimée des caroténoïdes en nature, spécialement dans l'environnement marin (Figure 6). C'est une xanthophylle, de la formule  $C_{42}H_{58}O_6$ , se trouvant comme pigment accessoire dans les chloroplastes des algues brunes, par exemple, *Sargassum siliquastrumen* leur donnant une couleur brune ou verte-olive (Wijesinghe et al., 2012).



**Figure 6 :** les antioxydants dérivés des caroténoïdes d'algues marines (Li et Kim, 2011).

### **5.3.4 Peptides**

Il y a une grande évidence suggérant que l'algue est dérivée des protéines et des fragments de peptide qui peuvent exercer des effets biologiques in vitro et in vivo. Les peptides bioactives peuvent être produits par des réactions hydrolytiques en utilisant des diverses protéases.

La structure primaire des protéines naturelles se compose de certaines séquences d'acide aminé qui ont la capacité d'exercer les avantages physiologiques dans les êtres humains. Ce genre de peptides est inactif dans la séquence de la protéine parentale et peut être libéré dans différentes manières telles que l'hydrolyse par les enzymes digestives et par les micro-organismes protéolytiques.

Récemment les peptides marins ont ouvert une nouvelle perspective dans le développement pharmaceutique. Les protéines et les peptides biologiquement actifs ont été isolés non seulement dans les animaux marins, mais également dans les algues. En ce qui concerne les potentialités nutraceutiques et pharmaceutiques, différents protéines et peptides avec diverses bioactivités ont été découverts.

Quelques espèces rouges ou vertes d'algue contiennent une quantité de protéines considérablement élevé. Cependant, l'extraction de la protéine de la plupart des algues est difficile en présence de grandes quantités de polysaccharides dans les cloisons cellulaires, tels que des alginates de rhéophycées ou les carragénanes de certains Rhodophycées (Wijesinghe et Jeon, 2012).

### **5.3.5 Acides gras polyinsaturés (AGPI)**

Les phospholipides et les glycolipides sont les principales classes de lipides présents dans les algues. Lorsque la température de l'environnement diminue, les algues peuvent accumuler des acides gras polyinsaturés (AGPI). Les espèces qui vivent dans les régions froides contiennent plusieurs AGPI que les espèces vivant dans des températures plus élevées. AGPI à chaîne longue (LC-PUFA) font partie de l'entretien de la santé de l'homme et ils ne sont synthétisés que par les plantes. Ces lipides sont constitués d'au moins 20 atomes de carbone avec au moins deux doubles liaisons. Lorsque la première double liaison est située dans le troisième atome de carbone, la molécule de lipide est désignée comme les oméga-3 (n-3 LC-PUFA). La recherche a montré que n-3 AGPI-LC constitué 10,38% des acides gras totaux présents dans *Enteromorpha* spp (Chojnacka, 2012).

### **5.3.6 Fucostérol**

Tous les eucaryotes contiennent universellement grandes quantités (20 à 30 %) des stérols plus élevées dans leurs membranes plasmiques. Les règnes eucaryotes ont différents stérols plus élevées pour leur armature de membrane, tels que le cholestérol chez les animaux, l'ergostérol dans les champignons et le phytostérol chez les plantes. Les phytostérols (stérols végétaux) sont des triterpènes et la plupart d'entre eux contiennent 28 ou 29 atomes de carbone et 1 ou 2 carbone-carbone doubles liaisons, typiquement une dans le noyau stérol et parfois un second dans la chaîne alkyle latérale.

Fucostérol est un phytostérol trouvé dans les algues brunes bien reconnu pour ses activités biologiques bénéfiques pour la santé, tels que, les antioxydants, réduction du cholestérol, et des activités antidiabétiques (Figure 7).

Le fucostérol obtenu à partir de la fraction n- hexane de *Pelvetia siliquosa* (Phéophyceae) efficace contre les radicaux libres et l'hépatotoxicité. En outre, le fucostérol augmente l'activité de piégeage des radicaux libres par les enzymes, tels que le superoxyde dismutase, catalase et glutathion peroxydase. En outre, le saringosterol, un dérivé du fucostérol, découvert en plusieurs algues brunes (Phéophyceae), tels que *Lessonia nigrescens* et *Sargassum ringgoldianum*, a montré un pouvoir inhibiteur de croissance de *Mycobacterium tuberculosis* (Li et Kim, 2011).

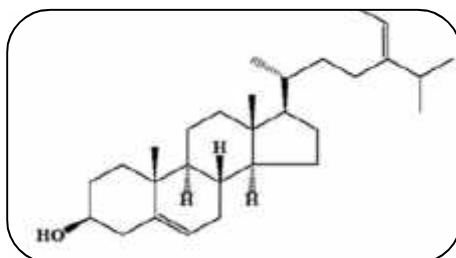


Figure 7 : Structure du fucostérol (Li et Kim, 2011).

### 5.3.7 Sels minéraux

Les algues sont une source riche en minéraux. Leur contenu dans la biomasse est parfois aussi élevée que 40%. Ceci est dû à l'accumulation des ions métalliques de l'eau salée par les algues et la concentration des substances, comme les sels de carbonate, dans leurs thalles.

Quand les chercheurs ont examiné la teneur en minéraux dans les algues récoltées sur les plages japonaises, ils montrèrent que les ions de concentrations plus élevées sont le potassium (2,71 g / L), le magnésium (0,19 g / L) et le calcium (0,16 g / L) qui ont été détectés dans l'extrait de *Sargassum ringgoldianum* subsp. *coreanum*. *Codiumfragilea* été montré d'être une source riche d'ions de sodium (1,21 g / L). *Kappaphycus alvarezii* contient des niveaux élevés d'ions de magnésium (581,20 mg / l) et de calcium (460,11 mg / L) (Chojnacka, 2012).

### 5.4 Propriété nutritionnelle et utilisation des algues marines

### 5.4.1 Domaine de la nutrition

L'analyse des algues marines a montré qu'elles contiennent des quantités utiles de minéraux (potassium, phosphore, magnésium, de calcium, de sodium, de chlore et de soufre), d'oligoéléments et de vitamines (McHugh, 2003).

#### 5.4.1.1 Alimentation humaine

En raison de leur valeur nutritive élevée, les algues sont traditionnellement employées pour l'alimentation, en particulier dans les pays asiatiques. Elles sont employées pour la préparation des salades, des potages, des vinaigres et aussi consommée dans les crèmes glacées, les pâtisseries, les confiseries, les desserts lactés, les laits chocolatés...etc, comme on les trouve, aussi, dans les conserves de viandes, les jus des fruits et les confitures (Cabioc'h et al, 2006 ; Kannan et al, 2014).

Récemment, l'utilisation des algues comme nourriture, en particulier comme épice et délicatesses, a été reconduite aux pays occidentaux dus au changement du style de vie et conventions diététiques (Kannan et al, 2014). Les algues les plus utilisées sont *Spirulina*, *Chlorella*, *Dunaliella*, *Nostoc*, *Aphanizomenon*, *Sargassum wightii* et *Ulva* (Meenakshi, 2009).

#### 5.4.1.2 Alimentation animale

Pendant longtemps, les animaux, tels que, les moutons, les bovins et les chevaux, qui vivaient dans les zones côtières, consommés des algues, en particulier dans les pays européens où les grandes algues brunes ont été rejetés sur le rivage. Aujourd'hui la disponibilité d'algues pour les animaux a été ajouté à la production de farine d'algues marines à partir *Ascophyllum nodosum*, *Laminaria digitata* et *Alaria esculenta*. En outre ; les études montrent que les farine d'algues marines sont vraiment bénéfiques pour les ovins et les bovins par contre chez les volailles l'ajout d'un repas *Ascophyllum* ne présente aucun effet sauf l'augmentation de la teneur d'iode des œufs (McHugh, 2003).

### 5.4.2 Domaine thérapeutique

Les algues sont une source naturelle des molécules bioactive avec une large gamme des activités biologiques, telles que les antibiotiques, les antiviraux, les antisudoraux, les antioxydants et les anti-inflammatoires (Bhagavathy, 2011). L'utilisation des algues marines pour des buts médicaux n'est pas nouvelle ; étant mentionné dans la médecine chinoise, les algues ont été employées dans la médecine pour le traitement du goitre, les maladies nephretique, antihelminthiques, cataracte, les maladies de peau, et comme source de vitamine suppléments pour le traitement de divers désordres intestinaux, tels que des vermifuges et états hypocholestérolémiques et hypoglycémiques (Kannan et al, 2014).

### 5.4.3 Domaine environnemental

La teneur élevée en matière organique, notamment en fibre, ainsi que les éléments minéraux solubles dans l'eau et oligoéléments dans les algues principalement les fucus et les laminaires font d'elles un excellent engrais (Saidani, 2010).

Les microalgues peuvent être de bonnes candidates pour la production des combustibles, grâce à leur efficacité photosynthétique et leur croissance rapide comparée à la biomasse lignocellulosique (Miao et al., 2004 ; Minowa, et Yokoyama, 1995). Et elles peuvent être aussi utilisées dans la dépollution des eaux usées en particulier celles polluées par des métaux lourds comme Cd, Cu, Ni, Pb et Zn (Leusch et al., 1995 ; Kumar et al., 2006 ; Herrero et al., 2005).

### 5.4.4 Domaine industriel

L'utilisation des algues comme matière première dans l'industrie des phycocolloïdes ; deux types des algues sont essentiellement récoltés à cet effet, les algues brunes *Laminaria digitata*, *Laminaria hyperborea*, *Ascophyllum nodosum*, dont, on extrait les polysaccharides d'alginate, et les algues rouges *Chondrus crispus* et *Mastocarpus stellatus* dont on extrait les polysaccharides de carragénanes. Ces substances particulières qui n'existent que chez ces végétaux et qui n'ont pas leur équivalent de synthèse sont recherchées pour leurs propriétés physiques et utilisées surtout comme agent gélifiants, épaississant et stabilisateur. Leur pouvoir élevé de gélification ou d'épaississement permet de les utiliser à très faibles doses (de 0.01 à 0.5%) dans la plupart des cas. C'est pour cette raison qu'elles entrent de manière discrète dans une multitude d'application aussi variées que l'impression des textiles, le couchage de papier, l'enrobage des électrodes, les vernis, les colles, les dentifrices et les couches pour les bébés (Cabioc'h et al., 2006).

## 6. Généralités sur les algues marines étudiées

### 6.1 *Caulerpa racemosa* (algue raisin)

**Description:** C'est une Chlorobionte (algue verte) marine de couleur verte, reconnaissable par ses axes rampants (stolons) avec des rhizoïdes et des frondes (axe) dressés portant des ramules (Klein, 2011) souvent opposées, sphériques ou cylindriques en forme de petites massues ; sa taille peut atteindre entre 1 et 11cm (max 19) de haut et de 3 à 10 mm de large. Elle a une reproduction sexuée et végétative (Figure 8) (Boudouresque et al., 2006).

**Habitat :** *Caulerpa racemosa* colonise dans les habitats benthiques jusqu'au 40 m de profondeur (maximum 70 m).

**Classification**Classe : *Chlorophycophyte*Ordre : *Bryopsidale*Famille : *Caulerpaceae*Genre : *Caulerpa*Espèce : *Caulerpa racemosa*

**Figure 8:** (A) *Caulerpa racemosa*. (B) Poudre d'algue *Caulerpa racemosa*.

**Utilisation :** En Asiatique, habituellement il est servi cru comme de la salade ou mangé cuit, en outre, l'est employée pendant que l'alimentation des animaux et dans la médecine pour réduire la tension artérielle et pour traiter le rhumatisme (Chew et *al.*, 2008a,b).

### 6.2 *Caulerpa prolifera*

**Description :** *Caulerpa prolifera* est une algue verte de limbes vert foncé et de forme ovale, mesurant environ 1,5 à 2,5 cm de large et 6 à 15 cm de long (Figure 9). Les feuilles de cette espèce se développent à partir de quelques stolons robustes, en émergeant perpendiculairement selon des intervalles de 1 à 2 cm ; elles sont en général ovales ou allongées linéairement avec des bords lisses. La *Caulerpa prolifera* se distingue par son absence de nervure proéminente sur la longueur des feuilles (Otero et *al.*, 2013).



**Figure 9:** (A) *Caulerpa prolifera*. (B) Poudre d'algue *Caulerpa prolifera*.

**Classification**

Classe : *Chlorophycophyte*

Ordre : *Bryopsidale*

Famille : *Caulerpaceae*

Genre : *Caulerpa*

Espèce : *Caulerpa prolifera*

**Habitat :** toute l'année ; substrat meuble, sableux ou vaseux, entre 1et 15m de profondeur, souvent en association avec des magnoliophytes marins ; plus profondément en méditerranée orientale.

**Utilisation :** *Caulerpa prolifera* est une des algues méditerranéennes qui s'acclimatent très bien en aquarium (Boudouresque et al, 2006).

**6.3 *Enteromorpha intestinalis***

**Description :** *Enteromorpha intestinalis* (cheveux de mer) est une algue verte fixée par un stipe atténué qui s'élargit vers le haut en un tube boursoufflé intestiniforme simple ou avec des proliférations basales semblables à la fronde principale ; vert clair ; de quelques centimètres jusqu'à 1m de haut et de 1mm à 10 cm de large (Figure 10).



**Figure 10:** (A) *Enteromorpha intestinalis*. (B) Poudre d'algue *Enteromorpha intestinalis*.

**Classification**

Classe : *Ulvophyceae*

Ordre : *Ulvale*

Famille : *Ulvaceae*

Genre : *Enteromorpha*

Espèce : *Enteromorpha intestinalis*

**Habitat :** toute l'année, maximum de l'hiver jusqu'au début de l'été ; biotopes photophiles, près du niveau ou un peu au dessus, dans les zones de ruissellement d'eau douce

plus ou moins polluée ; flaques ; milieux portuaires et étangs littoraux (Boudouresque et al, 2006).

#### 6.4 *Ulva lactuca*

**Description :** *Ulva lactuca* est une algue verte sous forme d'une lame orbiculaire de taille allant de 10 à 30 centimètres, plus ou moins lobée, qui s'attache au substrat rocheux par un petit disque formé de nombreux rhizoïdes issus des cellules basales (Figure 11).

Elle est également connue sous le nom de *laitue de mer*, à cause de l'aspect de ses frondes organisées en lames aplaties rappelant les feuilles des laitues.



**Figure 11:** (A) *Ulva lactuca*. (B) Poudre d'algue *Ulva lactuca*.

#### Classification

Classe : *Ulvophyceae*

Ordre : *Ulvales*

Famille : *Ulvaceae*

Genre : *Ulva*

Espèce : *Ulva lactuca*

**Habitat :** C'est une espèce qui se développe dans les eaux peu profondes, sur les niveaux supérieurs du littoral.

**Utilisation :** Dans certains pays du nord, cette algue se consomme crue en salade (Sadi, 2010).

#### 6.5 *Asparagopsis armata*

**Description :** belles touffes, rose pale, au contour pyramidal, atteignant parfois 30 cm de haut. Axe, cylindriques à la base, diversement ramifiés; le thalle porte de très nombreux ramules, surtout dans sa partie supérieure, ce qui lui donne un aspect caractéristique d'Asparagus (Figure 12). Mais surtout présence de rameaux épineux, en forme de harpon, de quelques centimètres de long. Les thalles sont des gamétophytes; cystocarpes ovoïdes de 2mm de diamètres.les tetrasporophytes très différents morphologiquement étaient désignés autrefois sous le nom de «*Falkenbergia rufolanosa* ». C'est une espèce annuelle,

infralittorale, photophile, épiphyte sur d'autres algues, originaire d'Australie et de Nouvelle Zélande (Boudouresque et *al*, 2006).



**Figure 12:** (A) *Asparagopsis armata*. (B) Poudre d'algue *Asparagopsis armata*.

### Classification

Classe : *Rhodophycophyte*

Ordre : *Bonnemaisoniale*

Famille : *Bonnemaisoniaceae*

Genre : *Asparagopsis*

Espèce : *Asparagopsis armata*

**Habitat:** cette algue se développe sur les fonds rocheux au niveau de l'étage infralittoral, de la surface jusqu'à 40 m de profondeur.

**Utilisation:** *Asparagopsis armata* à des composés organiques halogènes volatiles comme l'iode, chlorés et bromés qui sont des propriétés antifongique et antimicrobienne (Garon-Lardiere, 2004).

### 6.6 *Corallina elongata*

**Description :** *Corallina elongata* = *Corallina mediterranea*, algue dressée ramifiée, formée de branches calcifiées articulées, nées d'une croute basale. Forme et couleur variable, le plus souvent gris violacé ; articles (segment calcifiés) aplatis, souvent losangiques et pourvus d'une carène. Ramification nettement pennée (Figure 13). Gamétophyte et tétrasporophyte semblable. Conceptacle toujours unipores et situés en position latérale.

**Classification**Classe : *Rhodophycophyte*Ordre : *Corallinales*Famille : *Corallinaceae*Genre : *Corallina*Espèce : *Corallina elongata*

**Figure 13:** (A) *Corallina elongata*. (B) Poudre d'algue *Corallina elongata*.

**Habitat :** pérennante, infralittorale, relativement photophile, plus nettement abondante dans les milieux battus. Peut supporter un assèchement et forme à basse mer un revêtement continu au bord des cuvettes littorales.

**Utilisation :** les *corallina* étaient autrefois utilisés en pharmacie pour leurs propriétés vermifuges (Boudouresque et al, 2006).

### 6.7 *Cystoseira tamariscifolia*

**Description :** *Cystoseira tamariscifolia* ou *Cystoseira éricoïdes* est une algue brune épineuse à forte iridescence bleu turquoise en état d'immersion, lorsque les thalles sont jeunes et peu couverts d'épiphytes. Peut atteindre 60 cm de long. Flotteurs généralement bien visibles (Figure 14).



**Figure 14:** (A) *Cystoseira tamariscifolia*. (B) Poudre d'algue *Cystoseira tamariscifolia*.

**Classification**

Classe : *Phéophycophyte*

Ordre : *Fucale*

Famille : *Cystoseiraceae*

Genre : *Cystoseira*

Espèce : *Cystoseira tamariscifolia*

**Habitat :** c'est une espèce pérennantes, vivant dans les milieux abrités de la mi-marée à l'infra-littoral (Boudouresque et *al*, 2006).

## **Chapitre 2. *Matériel et méthodes***

## 1. Matériel

### 1.1 Présentation du site de récolte

La récolte des algues a eu lieu dans les lagunes de Sidna Youchaa (Tlemcen, 35°07'06.50" N ; 1°46'46.4" O) et à Salamandre (Mostaganem, 09°02'50" longitude Ouest et 32°44'42" l'altitude nord) pendant le mois de février 2014. Les prélèvements ont été faits à marée basse.

### 1.2 Récolte du matériel algal

Pour cette étude, sept espèces d'algues ont été récoltées des lagunes de Sidna Youchaa (Tlemcen) et Salamandre (Mostaganem). Elles appartiennent au trois classes de macroalgues : Rhodophycées, Phéophycées et Chlorophycées.

Rhodophycées: *Asparagopsis armata* et *Corallina elongata*.

Phéophycées: *Cystoseira tamariscifolia*

Chlorophycées: *Ulva lactuca*, *Caulerpa prolifera*, *Caulerpa racemosa*, *Enteromorpha intestinalis*.

Après la récolte, les algues sont lavées plusieurs fois à l'eau de mer sur place afin d'éliminer tout corps étranger qui pourrait influencer l'évaluation des activités biologiques, puis sont emportées au laboratoire. Les algues sont ensuite séparées, identifiées puis séchées. Après séchage à la lumière de soleil les algues sont broyées à l'aide d'un mixeur en fine poudre qui sera stockée dans des flacons en verre pour son utilisation ultérieure.

## 2. Méthodes

### 2.1. Préparation de l'extrait méthanolique

Pour chaque espèce, 10 g de la poudre d'algue marine préparée sont introduites dans un flacon en verre contenant 100 ml de méthanol absolu pour une macération de 24 heures à température ambiante. Le macéra obtenu est ensuite filtré sur papier filtre. Le filtrat récupéré est conservé et le matériel végétal est macéré une deuxième fois. Les filtrats sont regroupés puis évaporés à sec sous vide à l'aide d'un évaporateur rotatif (Büchi Rotavapor R-144, Suisse) à 55°C.

L'extrait sec est dissout dans un faible volume de méthanol pur à une concentration appropriée (200 mg/ml) puis stocké au réfrigérateur à + 4 °C dans des tubes en verre pour les tests d'activité antifongique.

**2.2 Souche fongique et milieux de culture**

Toutes les souches de champignons pathogènes utilisés dans cette étude (*Aspergillus ochraceus*, *Aspergillus parasiticus*, *Penicillium viridicatum*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium oxysporum radialis lycopersici*, *Rizoctonia*) ont été fournies par le laboratoire de biologie du département d'agronomie de l'université de Laghouat. Les souches sont maintenues sur milieu PDA. Le milieu a été utilisé pour préparer l'inoculum fongique et pour le test antifongique.

Les souches sont conservées à 4°C dans des boîtes de pétri sur milieu PDA.

**2.3 Recherche de l'activité antifongique**

Les champignons sont tout d'abord cultivés dans des boîtes de pétri de milieu PDA pendant 7 jours. La suspension de spores pour chaque souche fongique est préparée par raclage des mycéliums à l'aide d'un écouvillon imbibé avec une solution de Tween 80 à 0.1%. Après homogénéisation et solidification de la gélose, des puits de 6 mm ont été creusés à l'aide d'une pipette pasteur dans la gélose PDA inoculée (Mahmoud, 2012 ; Okay et al. 2013).

Avant d'évaluer l'activité antifongique des extraits, la toxicité du solvant peut également être critique. A cet effet, nous avons testé (test control) l'innocuité du méthanol pur utilisé pour solubiliser le résidu sec des algues marines.

Des volumes variables des extraits méthanolique des algues marines sont ajoutés (20, 40 et 60µl).

L'incubation des boîtes de pétris se fait à 27°C pendant 7 jours. L'inhibition se traduit par une zone autour du puits visible à l'œil nu et dont on peut déterminer le diamètre à l'aide d'un pied à coulisse. Tous les tests sont répétés deux fois.

## **Chapitre 3. *Résultats et discussion***

L'activité inhibitrice d'extraits de quelques espèces d'algues marines sur la croissance de certaines souches de moisissures pathogènes a été étudiée. Sept extraits méthanoliques des algues marines ont été testés. La technique de diffusion sur gélose PDA (Potato Dextrose Agar) a été utilisée pour évaluer l'inhibition des moisissures.

Les résultats relatifs à l'activité antifongique de divers extraits méthanolique des algues marines sont consignés dans le Tableau (4).

On remarque tout d'abord que le pouvoir antifongique de l'extrait méthanolique des algues marines dépend des souches fongiques testées et également de l'espèce algale testée.

Seul l'extrait méthanolique de l'algue rouge *Asparagopsis armata* qui a montré une activité antifongique contre presque toutes les souches de moisissures étudiées, avec des zones d'inhibition comprises entre 10 et 30 mm. *Altarnaria* et *Pyrenophora* semblent avoir une résistance vis-à-vis de l'extrait méthanolique d'*A. armata*. *Les algues vertes*, *U. lactuca*, *E. intestinalis* et *C. prolifera* n'ont pas inhibé la croissance des champignons testés.

*D. dictyoma* et *C. elongata* ont inhibées seulement et de manière significative *Fusarium culmorum*. De même, *C. racemosa* a un effet inhibiteur sur la croissance d'*Aspergillus ochraceus* et *Fusarium oxysporum radialis lycopersici*, avec des diamètres d'inhibition de 13.8 et 18.6 mm, respectivement. Le méthanol pure n'a aucun effet antifongique sur les espèces testées (Figure 15).

D'après ses résultats on constate que l'algue rouge *A. armata* sont riches en agent antifongiques ont par rapport aux autres algues marines. L'activité antifongique des algues rouge peut être due par la production des bromophénols, les terpenoides brominés et les composés acétylés (Craigie et Gruenig, 1967; Fenical, 1975, 1982).

Nos résultats sont en accord avec ceux cité dans la littérature. Plusieurs auteurs ont montré que les algues rouges ont une forte activité antifongique par rapport aux algues brunes et vertes (Padmakumar et Ayyakkannu, 1997 ; Saidani et al., 2012).

Gao et al. (2011) ont signalé également que les algues marines n'ont pas seulement une activité antifongique mais sont toxiques pour les cellules cancéreuses. Les espèces d'*Asparagopsis* ont été reportées d'avoir des propriétés antifongiques, antibactériennes et anti-protazoaires (Bansemir et al., 2006; Burreson et al., 1975; Genovese et al., 2009; Jiao et al., 2011; McConnell et Fenical, 1977; Salvador et al., 2007).

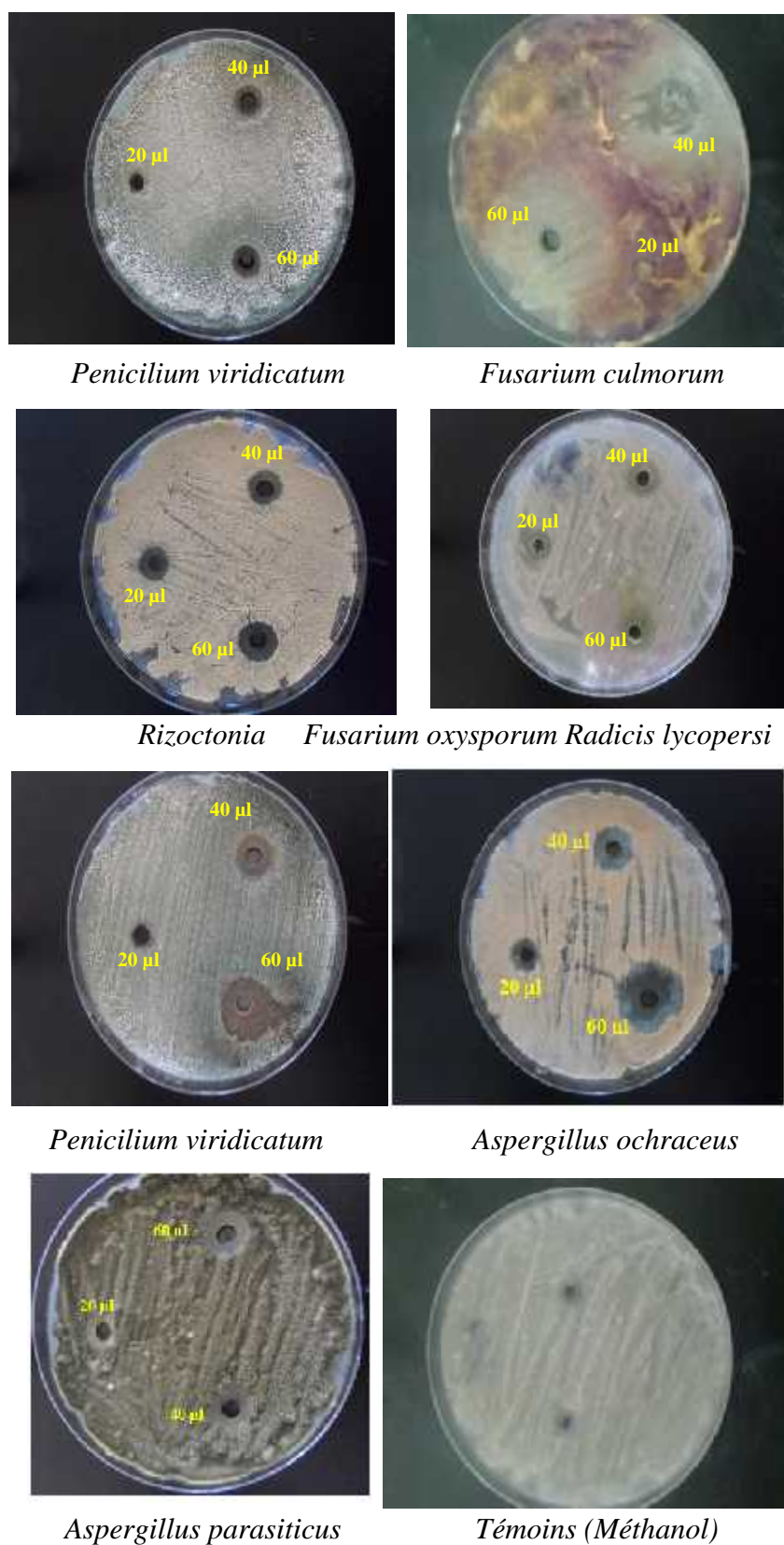
Nicod et al. (1987) ont montré que les extraits chloroformique et méthanolique d'algue rouge *Ptilonia magellanica* ont des activités antibactériennes et antifongiques considérables due à la présence d'un métabolite secondaire halogéné (l'acétoxy-4 dibromo-1, 1 héptanol-2).

Plusieurs travaux ont montrés que les extraits des algues marines rouges ont des activités antifongiques due à la présence des composés volatiles tels que les dérivés des phénols et des acides gras halogénés, des terpenoides et des métabolites secondaires halogénés (Kladi et *al.*, 2004 ; Dembitsky et Srebnik, 2002).

**Tableau 4 :** Résultats de l'effet antifongique des extraits méthanoliques de quelques algues marines d'Algérie.

	Diamètre d'inhibition (mm)						
	<i>Colérpa ramosa</i>	<i>Corallina elongata</i>	<i>Dictya dictyoma</i>	<i>Asparagopsis aramata</i>	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Colérpa prolifera</i>	<i>Entheromorpha intestinalis</i>
<i>Aspergillus ochraceus</i>	13.83±0.28	ND	ND*	13.00±0.50**	ND	ND	ND
<i>Fusarium oxysporum radices lycopersici</i>	18.66±0.57	ND	ND	16.66±0.28	ND	ND	ND
<i>Fusarium culmorum</i>	ND	36.50±0.50	24.83±1.04	30.00±0.86	ND	ND	ND
<i>Aspergillus parasiticus</i>	ND	ND	ND	14.83±0.57	ND	ND	ND
<i>Penicilium viridicatum</i>	ND	ND	ND	16.83±0.28	ND	ND	ND
<i>Rizoctonia</i>	ND	ND	ND	10.66±0.28	ND	ND	ND
<i>Altarnaria</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Pyrenophora</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

\*ND : non déterminé ; \*\*Volume de l'extrait méthanolique 30 µl par puits sur le milieu PDA.



**Figure 15 :** Résultats de l'effet antifongique de l'extrait méthanolique d'*Asparagopsis armata* et du méthanol déterminé par la méthode de diffusion sur milieu PDA.

L'effet de la concentration de l'extrait méthanolique d'*Asparagopsis armata* sur la croissance des champignons a été étudié. D'après les résultats indiqués sur la Figure (15), on remarque que le diamètre d'inhibition de la croissance des champignons augmente avec l'augmentation du volume de l'extrait méthanolique d'algue marine.

D'après le Tableau (5), les algues marines, *Aspergillus ochrum*, *Penicilium ves* et *Fusarium cum* sont fortement inhibées par l'extrait méthanolique d'*Asparagopsis armata* tandis que les espèces fongiques, *Fusarium oxysporum radiceis lycopersici*, *Rizoctonia* et *Aspergillus parasiticus* sont relativement résistantes.

**Tableau 5.** Résultats de l'effet de l'extrait méthanolique d'algue rouge *Asparagopsis armata* sur la croissance de quelques champignons phytopathogènes.

Moisissure	Volume de l'extrait méthanolique (µl)	Diamètre d'inhibition (mm)
<i>Aspergillus ochraceus</i>	20	10.83±0.28
	40	13.33±0.28
	60	22.00±0.50
<i>Aspergillus parasiticus</i>	20	10±0.00
	40	11.66±0.28
	60	15.5±0.50
<i>Pinicilium viridicatum</i>	20	8±0.00
	40	14.33±0.28
	60	18.83±0.28
<i>Fusarium culmorum</i>	20	24.83±0.28
	40	30.16±0.76
	60	34.16±0.76
<i>Fusarium oxysporum radiceis lycopersici</i>	20	9±0.00
	40	12.16±0.28
	60	14.83±0.28
<i>Rizoctonia</i>	20	10±0.00
	40	11,16±0.28
	60	12,83±0.28

# **Conclusion**

## *Conclusion*

---

L'étude de l'activité antifongique des extraits méthanolique de quelques espèces d'algues marines Algérienne par la méthode de diffusion sur milieu PDA a révélé que les extraits des algues rouges *Corallina elongata* et *Asparagopsis armata* ont les activités antifongique les plus élevées par rapport aux algues vertes.

L'extrait méthanolique d'*Asparagopsis armata* possède une activité fongicide sur la majorité des souches fongiques sélectionnées à l'exception d'*Altarnaria* et *Pyrenophora* qui sont révélées résistantes.

L'extrait méthanolique d'algue rouge *Asparagopsis armata* peut constituer donc une nouvelle stratégie de décontamination pour la lutte contre les mycotoxines.

## **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

- AFSSA, Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (2009). Évaluation des risques liés à la présence de mycotoxines dans les chaînes alimentaires humaine et animale Rapport final. Maison Alfort. 308p.
- 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 Présentée pour obtenir le diplôme de doctorat. Faculté des Science Ben M'sik. Université Hassan II – Casablanca. Royaume du Maroc.
- Arisawa M, Hayashi K, Nikaido T, Koike K, Fujita D, Nunomura N, Tanaka M, Sazaki T, 1997. Screening of some Marine organism extracts for cAMP phosphodiesterase inhibition, cytotoxicity and antiviral activity against HSV- 1. *International Journal of pharmacognosy* 35: 6-11.
- Atoui A. Approche de la mycotoxinogénèse chez *Aspergillus ochraceus* et *Aspergillus carbonarius*: études moléculaire et physiologique. Thèse de doctorat d'université : Microbiologie et Biocatalyse industrielles. Toulouse : Institut National Polytechnique. France. 2006. 245p.
- Ballesteros E, Martin D, Uriz MJ, 1992. Biological activity of extracts from some Mediterranean macrophytes. *Botanica Marina* 35: 481-485.
- Bansemir, A., Blume, M., Schröder, S., Lindequist, U., 2006. Screening of cultivated seaweeds for antibacterial activity against fish pathogenic bacteria. *Aquaculture* 252, 79-84.
- Bhagavathy, S; Sumathi, P; Bell, IJB. (2011). Green algae *Chlorococ-cum humicola* - A new source of bioactive compound with antimicrobial activity. *Asian Pac. J. Trop. Biomed.* S1-S7.
- Bhakuni DS, and Silva M, 1974. Biodynamic substances from Marine Flora. *Botanica Marina* 17: 40-51.
- Blunt JW, Copp BR, Munro MH, Northcote PT, Prinsep MR, 2006. Marine natural products. *Naturals Products Reports* 22: 15-61.
- Blunt JW, Copp RB, Hu WP, Munro MH, Northcote PT, Prinsep MR, 2008. Marine natural products. *Naturals Products Reports* 25: 35-94.
- Blunt JW, Copp RB, Hu WP, Munro MH, Northcote PT, Prinsep MR, 2009. Marine natural products. *Naturals Products Reports* 26: 170-244.
- Boudouresque, C.F; Meinesz, A ; Verlaque, M ;Cabioch, j ;Floc'h , J-Y; le Toquin, A. (méditerranée / manche et atlantique).(2006).Guide des algues des mers d'Europe. 2éme édition. délachaux et niestlé.272 pages.
- Brochard G. Le Bâcle C. (2009). Les mycotoxines en milieu de travail. Documents pour le Médecin du travail N°119. INRS.
- Burkholder, P. R. & Sharma, G. M. (1969). Antimicrobial agents from the sea. *Lloydia* 32, 466-483.
- Burreson, B.J., Moore, R.E., Roller, P., 1975. Haloforms in the essential oil of the alga *Asparagopsis taxiformis* (Rhodophyta). *Tetrahedron Letters*, 473e476.
- Chabasse D., Bouchara J.P., Gentile L., Brun S., Cimon B., Penn P (2002). Les moisissures d'intérêt médical. (edn) Bioforma. Paris. 160p.
- Chasseur C., Nolard N. (2003). Les champignons de l'habitat. 1ère partie introduction à la mycologie, risques pour la santé, expertises dans Recherches et Études. CSTS magazine.
- Chew , Y .L; Lim , Y.Y ; M. Omar , k. S. Khoo.(2008a). Antioxydants activity of thre edible seaweeds from two areas in south East Asia. 41 :1067-1072
- Chew, Y.L ; Lim, Y.Y ; Omar, M ; Khoo, K.S. (2008b). Antioxidant activity of thre edible seaweeds from two areas in Aouth East Asia. *LWT.* 41 : 1067–1072.

## Références bibliographiques

---

- Chojnacka, K ; Agnieszka, S ; Zuzanna, W ; Łukasz, T. (2012). Biologically Active Compounds in Seaweed Extracts -the Prospects for the Application. The Open Conference Proceedings Journal. 3 : 20-28.
- Craigie, J. S. & Gruenig, D. E. (1967). Bromophenols from red algae. *Science* 157, 1058-1059.
- Culioli, G., Di Guardia, S., Valls, R., Piovetti, L. (2000). Geranylgeraniol-derived diterpenes from the brown alga *Bifurcaria bifurcata*: Comparison with two other Cystoseiraceae species. *Biochem. System. Ecol.* 28 (2): 185-187.
- Daoudi, M., Bakkas, S., Culioli, G., Ortalo-Magne, A., Piovetti, L., Guiry, M.D. (2001). Acyclic diterpenes and sterols from the genera *Bifurcaria* and *Bifurcariopsis* (Cystoseiraceae, Phaeophyceae). *Biochem. System. Ecol.* 29: 973-978.
- Dembitsky, V M., M Srebnik. 2002. Natural halogenated fatty acids: their analogues and derivatives. *Progress in Lipid Research.* 41: 315–367.
- Dutton M.F. (2009). The African Fusarium/maize disease. *Mycotox Res.* 25: 29–39.
- Ellis S. D., Boehm M. J., Mitchell T. K. (2008). Fungal and Fungal-like Diseases of Plants. The Ohio State University. Fact Sheet.
- Fenical W. (1975). Halogenation in the Rhodophyta. A review. *Journal of Phycology* 11, 245-259.
- Fenical W. (1982). Natural products chemistry in the marine environment. *Science* 215, 923-928.
- Gao SH, Li XM, Li CS, Proksch P, Gui B (2011). Penicisteroides A and B, antifungal and cytotoxic polyoxygenated steroids from the marine alga-derived endophytic Fungus *penicillium chrysogenum* QUEN – 24S. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 21: 2894-2897.
- Garon-Lardiere S. (2004). Etude structurale des polysaccharides pariétaux de l'algue rouge *Asparagopsis armata* (Bonnemaisoniales). These de Doctorat. Université DE Bretagne Occidentale. 226pages.
- Genovese, G., Tedone, L., Hamann, M.T., Morabito, M., 2009. The Mediterranean red alga *Asparagopsis*: a source of compounds against *Leishmania*. *Marine Drugs* 7: 361-366.
- Hodgson LM, 1984. Antimicrobial and antineoplastic activity in some South Florida seaweed's. *Botanica Marina* 27: 387- 390.
- Homsey, I. S. & Hide, D. (1976). The production of antimicrobial compounds by British marine algae. II. Seasonal variation in production of antibiotics. *British Phycological Journal* 11, 63--67.
- Hornsey IS, Hide D (1974). The production of antimicrobial compounds by British marine algae. I. Antibiotic producing marine algae. *Br. Phycol. J.* 9: 337-342.
- Jiao, G., Yu, G., Zhang, J., Ewart, H.S., 2011. Chemical structures and bioactivities of sulfated polysaccharides from marine algae. *Marine Drugs* 9, 196e223.
- Kannan, RRR ; Manoj G. Kulkarni, Wendy A S ; Johannes Van Staden. (2014). Bioactive Metabolites and Value-Added Products from Marine Macroalgae University of KwaZulu-Natal Pietermaritzburg.
- Khaleafa, A F., Kharboush, M. A M., Metwalli, A, Mohsen, A F. & Serwi, A (1975). Antibiotic (fungicidal) action from extracts of some seaweeds. *Botanica Marina* 18, 163-165.
- Kladi, M., Vagias, C., Roussis, V. 2004. Volatile halogenated metabolites from marine red alga. *Phytochemistry Reviews.* 3: 337–366.
- Klein J C. (2011). Causes et conséquences de la prolifération d'organismes marins.
- Krska R. (2009). Mycotoxins. *Anal Bioanal Chem.* 395: 1203–1204.
- Leclerc F. C., Papon N., Noel T., Villard J.(2005). Moisissures et risques alimentaires (Mycotoxicoses). *Revue Francophone des Laboratoires.* 373 : 61-66.

## Références bibliographiques

---

- Li Y.X et Kim SK. (2011). Utilization of Seaweed Derived Ingredients as Potential antioxidants and functional ingredients in the Food Industry: An Overview. 20(6): 1461-1466.
- McConnell, O., Fenical, W., 1977. Halogen chemistry of the red alga *Asparagopsis*. *Phytochemistry*, 16: 367-374.
- McHugh, Dennis J. (2003). A guide to the seaweed industry. FAO fisheries technical paper. 441.
- Meenakshi, S ; Manicka Gnanambigai, D ; Tamil Mozhi, S ; Arumugam, M ; Balasubramanian, T. (2009). Total Flavonoid and in vitro Antioxidant Activity of Two Seaweeds of Rameshwaram Coast. *Global Journal of Pharmacology*. 3: 59-62.
- Mohammedi, Z. 2013. Etude Phytochimique et Activités Biologiques de quelques Plantes médicinales de la Région Nord et Sud Ouest de l'Algérie. Thèse de doctorat. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen. Algérie. 170pages.
- Mokbel, M.S. and Sukanuma, T. (2006). Antioxidant and antimicrobial activities of the methanol extracts from pummelo (*Citrus grandis* Osbeck) fruit albedo tissues. *European Food Research and Technology* 224, 39-47.
- Nabors, M . (2009). Biologie végétale structure, fonctionnement et biotechnologies. nouveaux nabors. 614 pages.
- Nafees B. Caractérisation des polycétones synthétisées intervenant dans la biosynthèse d'ochratoxine a, d'acide pénicillique, d'asperlactone et d'isoasperlactone chez *Aspergillus westerdijkiae*. Thèse de doctorat d'université : Microbiologie et Biocatalyse Industrielles. Toulouse : Institut National Polytechnique. France. 2009.255p.
- Nguyen Minh Tri M. Identification Des Espèces De Moisissures, Potentiellement Productrices De Mycotoxines Dans Le Riz Commercialisé Dans Cinq Provinces De La Région Centrale Du Vietnam - Etude Des Conditions Pouvant Réduire La Production Des Mycotoxines. Thèse De Doctorat D'université : Génie Des Procédés Et De L'environnement. Toulouse : Institut National Polytechnique. France. 2007. 147p.
- Nicod, F., Tillequin, F., Vaqueite, J. 1987. Métabolite halogéné nouveau, substance majoritaire de *Ptilonia magellanica*, algue rhodophycée. *Journal of Natural Products*. Vol. 50, 259-260.
- Otero, M ; Cebrian, E ; Francour, P ; Galil, B ; Savini, D. (2013). Surveillance des espèces envahissantes marines dans les aires marines protégées (AMP) méditerranéennes : guide pratique et stratégique à l'attention des gestionnaires. UICN. 136 p.
- Ourari, M. (2013). Polycoché de cours de botanique Tome I : Les organismes à thalles. Faculté aculte des sciences de la nature et de la vie.
- Padmakumar K, Ayyakkannu K (1997). Seasonal variation of antibiotal and antifungal activities of the extracts of marine algae from southern coast of India. *Botanica marina*. 40: 507-515.
- Pamel E. V., Vlaemynck G., Heyndrickx M., Herman L., Verbeken A., Daeseleire E. (2010). Mycotoxin production by pure fungal isolates analysed by means of an uhplc-ms/ms multimycotoxin method with possible pitfalls and solutions for patulin-producing isolates. *Mycotox Res*. 1-11.
- Rajeev KJ. and Xu Z, 2004. Biomedical compounds from marine organisms. *Marine Drug* 2: 123-146.
- Rao PPS (1991). Biological investigation of Indian marine algae, screening of some green, red and brown seaweeds for their antibacterial antimicrobial activity. *Seaweed Res.Util.* 14:37-43

## Références bibliographiques

---

- Rasooli I. and Abyaneh M. R. Inhibitory effects of Thyme oils on growth and aflatoxin production by *Aspergillus parasiticus*. *Food. Control.* 2004; 15: 479-483.
- Reboux G. (2006). Mycotoxines : effets sur la santé et interactions avec d'autres composants organiques. *Revue Française d'Allergologie et d'Immunologie Clinique.* 46 : 208–212.
- Reichelt JL, Borowitzka M A (1984). Antimicrobial activity from marine algae: Results of a large scale screening programme. *Hydrobiol.*, 22: 337-342.
- Rocher, F. 2004. Lutte chimique contre les champignons pathogènes des plantes : Evaluation de la systémie phloémienne de nouvelles molécules à effet fongicide et d'activateurs de réaction de défense. Thèse de doctorat, Université de Poitiers, France. 153pages.
- Roland, JC; El Maarouf-Bouteau, H; Bouteau, François. (2008). Atlas biologie végétale 1. Organisation des plantes sans fleurs, algues et champignons. 7<sup>ème</sup> édition. Dunod pages 11-30.
- Roquebert M.F.(1997). Les moisissures: nature, biologie et contamination. [En ligne] [www.culture.gouv.fr/culture/conservation/fr/cours/roqueber.htm](http://www.culture.gouv.fr/culture/conservation/fr/cours/roqueber.htm).
- Ruppol P., Delfosse Ph., Hornick J.L. (2004). La contamination de la filière laitière par les mycotoxines : un risque pour la santé publique en Afrique subsaharienne. *Ann. Méd. Vét.*, 148, 141-146
- Saidani K., Bedjou F., Benabdesselam F. and Touati N. Antifungal activity of methanolic extracts of four Algerian marine algae species. *African Journal of Biotechnology* 11: 9496-9500.
- Sameer N. Mahmoud. 2012. Antifungal Activity of *Cinnamomum zeylanicum* and *Eucalyptus microtheca* Crude Extracts Against Food Spoilage Fungi. *Euphrates Journal of Agriculture Science-4* (3): 26-39 , (2012)
- Sathya, R ; Kanaga, N ; Sankar, P; Jeeva, S. (2013).Antioxidant properties of phlorotannins from brown seaweed *Cystoseira trinodis* (Forsskal) C. Agardh. In press.
- Sieburth, J. MeN. (1968). The influence of algal antibiosis on the ecology of marine microorganisms. *Advances in Microbiology of the Sea* 1, 63-94.
- Tabuc C. Flore Fongique De Différents Substrats Et Conditions Optimales De Production Des Mycotoxines. Thèse De Doctorat D'université : Pathologie, Mycologie, Genetique Et Nutrition. Toulouse : L'institut National Poly Technique Et De L'université De Bucarest. France. 2007. 190p.
- Takahashi J.A., Monteiro de Castro M.C., Souza G.G., Lucas E.M.F., Bracarense A.A.P., Abreu L.M., et al. (2008). Isolation and screening of fungal species isolated from Brazilian cerrado soil for antibacterial activity against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium*, *Streptococcus pyogenes* and *Listeria monocytogenes*. *J. med. mycol.* 18: 198-204.
- Tariq, V.-N. 1991. Antifungal activity in crude extracts of marine red algae. *Mycol. Res.* 95 (12): 1433-1440 .
- Tortora J., Funk B.F. and Case Ch.I. (2003). Introduction à la microbiologie. (edn). ISBN. Canada.945p
- Valls, L., Piovetti, A., Praud, A. (1993). The use of diterpenoids as chemotaxonomic markers in the genus *cystoseiraceae*. *Hydrobiology* 260-261: 549-556.
- Vincent C., Panneton B. (2001). Les méthodes de lutte physique comme alternatives aux pesticides. *Vertigo - La revue en sciences de l'environnement sur le WEB*, V2 No 2.
- Wijesinghe, W.A.J.P; Jeon, You-Jin. (2012). Enzyme-assisted extraction (EAE) of bioactive components: A useful approach for recovery of industrially important metabolites from seaweeds: A review. *Fitoterapia* 83: 6–12.
- Zinedine A., Mañes J.(2009). Occurrence and legislation of mycotoxins in food and feed from Morocco. *Food Control* 20: 334–344.

# **Annexe**

**Composition des Milieux de Culture**

**1) Milieu PDA (Potatoes Dextrose agar)**

Pour la préparation, laver et couper en petits morceaux 200 g de pomme de terre. Les mettre dans 700 mL d'eau distillée et porter à ébullition, après filtrer et compléter à 1 litre :

Pomme de terre (macération 700 mL de filtrat).....	200 g
Saccharose.....	10 g
Agar.....	15 g
Eau distillée.....	1000 mL

**2) Eau physiologique**

NaCl.....	9 g
Eau distillée.....	1000 mL

## Résumé

Ce travail a pour objectif le criblage de l'activité antifongique des algues marines de deux lagunes, Sidna Youchaa (Tlemcen) et Salamandre (Mostaganem) d'Algérie.

Pour cela, l'activité antifongique vis-à-vis des champignons phytopathogènes ont été évaluée par la méthode de diffusion sur milieu PDA. Parmi les extraits algaux testés, *Colerpa racemosa*, *Corallina elongata*, *Dictya dictyoma* et *Asparagopsis aramata* ont montré une activité antifongique intéressante, par contre *Ulva lactuca*, *Colérpa prolifera*, et *Entheromorpha intestinalis* n'ont pas inhibé la croissance des champignons testés.

L'algue rouge *Asparagopsis armata* constitue une source prometteuse d'agent antifongique naturel qui peut être utilisé pour lutter contre les mycotoxines.

**Mots clés:** Algues marines, extrait méthanolique, champignons phytopathogènes, mycotoxines.

## Abstract

This work was aims to screening the antifungal activity of the marine algae obtained from two Algerian coasts, Sidna Youchaa (Tlemcen) and Salamandre (Mostaganem).

For this, the antifungal activities against a phytopathogenic fungus were evaluated by diffusion method on PDA medium. From all algal extracts, *Colérpa rasmosa*, *Corallina elongata*, *Dictya dictyoma* and *Asparagopsis aramata* shows an interesting antifungal activity while *Ulva lactuca*, *Colérpa prolifera*, et *Entheromorpha intestinalis* can't inhibit the growth of the tested fungus.

The red algae *Asparagopsis armata* constitute a promising source of natural antifungal agent that can be used against mycotoxin production.

**Keywords:** Marines algae, methanolic extract, phytopathogenic fungi, mycotoxins.

## المخلص

يهدف هذا العمل الى معاينة نشاط مستخلص الطحالب البحرية مستخرجة من منطقتين, سيدنا يوشع (تلمسان) و سلمندر ( )

و لهذا, النشاط ضد الاعفان ضد الفطريات المضررة للنباتات تطبق بالمسح على وسط PDA. من بين هذه المستخلصات

*Asparagopsis aramata* *Dictya dictyoma* *Corallina elongate* *Colérpa racemosa* تبين نشاط ضد الاعفان المعني, من جهة اخرى *Ulva lactuca* *Colerpa prolifera* *Entheromorpha intestinalis* لا تثبط نمو الفطريات المجرية.

*Asparagopsis armata* يكون مصدر واعد كعامل ضد الاعفان طبيعي ربما قد يستعمل لمعالجة ضد

**الكلمات المفتاحية:** الطحالب البحرية, المستخلصات المثانولية, الاعفان المضررة للنباتات, سموم الاعفان.