



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



## **Université Amar Thelidji- Laghouat**

**FACULTE : De Science**

**DEPARTEMENT : D'Agronomie**

### **MEMOIRE DE MASTER**

**Présenté par : BENSAADA Khadidja**

**FALTANE Hassina**

**DOMAINE : Science de la nature et de la vie.**

**FILIERE : Agronomie**

**OPTION : Protection des végétaux et d'environnement**

### **Thème**

**Etude de l'effet de l'extrait d'algue rouge marine *Asparagopsis armata* sur le *Fusarium graminearum***

#### **Jury de soutenance :**

| <b>Nom et Prénom</b>    | <b>Grade</b>                   | <b>qualité</b> |
|-------------------------|--------------------------------|----------------|
| Ouarda AMRANI           | Maitre Assistant Classe A      | Présidente     |
| Mohamed MOKHTAR RAHMANI | Maitre Assistant Classe A      | Examineur      |
| Hicham GOUZI            | Maitre de Conférences Classe A | Rapporteur     |
| Ahmed BENCHETTOUH       | Maitre Assistant Classe A      | Co-rapporteur  |

**Promotion : Juin - 2015**



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



## **Université Amar Thelidji- Laghouat**

**FACULTE : De Science**

**DEPARTEMENT : D'Agronomie**

---

### **RESUME DE MEMOIRE DE MASTER**

**Domaine : Science de la nature et de la vie.**

**Filière : Agronomie**

**Option : Protection des végétaux et d'environnement**

**Thème : Etude de l'effet de l'extrait d'algue rouge marine *Asparagopsis armata* sur le *Fusarium graminearum***

**Présenté par : BENSAADA Khadidja**

**FELTANE Hassina**

**Encadré par: Hicham GOUZI**

**Résumé :** Ce travail a pour objectif d'étudier l'effet du solvant d'extraction sur l'activité antifongique de l'extrait d'algue marine rouge *Asparagopsis armata* récolté de la cote de Mostaganem (Salamandre).

Le méthanol, l'hexane, le dichlorométhane et l'acétone ont été utilisés comme solvant d'extraction. L'extraction par macération à froid montre que le méthanol donne le meilleur rendement.

L'effet des extraits organiques d'algue rouge ont été testés sur *Fusarium graminearum* responsable de la fusariose d'épi des céréales et de la production des mycotoxines à l'aide de la méthode de diffusion sur milieu gélosé.

L'extrait méthanolique a l'activité antifongique la plus élevée suivie de celle de l'extrait acétonique. Cet extrait inhibe la croissance de *Fusarium graminearum* à 50% à une concentration de 50 mg/mL tandis qu'un taux d'inhibition d'environ 16.50% a été observé pour l'extrait acétonique à 100 mg/mL. L'extrait hexanique n'a pas d'effet antifongique.

L'algue *Asparagopsis armata* est une source d'agent antifongique qui peut être utilisée pour le traitement de la fusariose des céréales causée par le *Fusarium graminearum*.

**Mots clés :** *Asparagopsis armata*, extraction, solvants, *Fusarium graminearum*, antifongique.

# Dédicace

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien morale  
et source de joie et de bonheur celui qui s'est toujours sacrifié  
pour me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis, à  
toi mon père « **Youcef** ».*

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de  
mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman « **Houria** » qui  
j'adore.*

*A mon oncle « **Brahim** » et yama « **zohra** »*

*A tous mes oncles et mes tantes*

*Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à  
tous mes frères mes cousin et mes nièces, à tous les membres de  
ma famille.*

*Aux très chère personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé,*

*Je dédie ce travail dont le grand plaisir à m'ont collègues à nos copines  
chacun par son nom, qui avec elles nous avons partagé les moments les plus  
difficiles dans la réalisation de cette étude.*

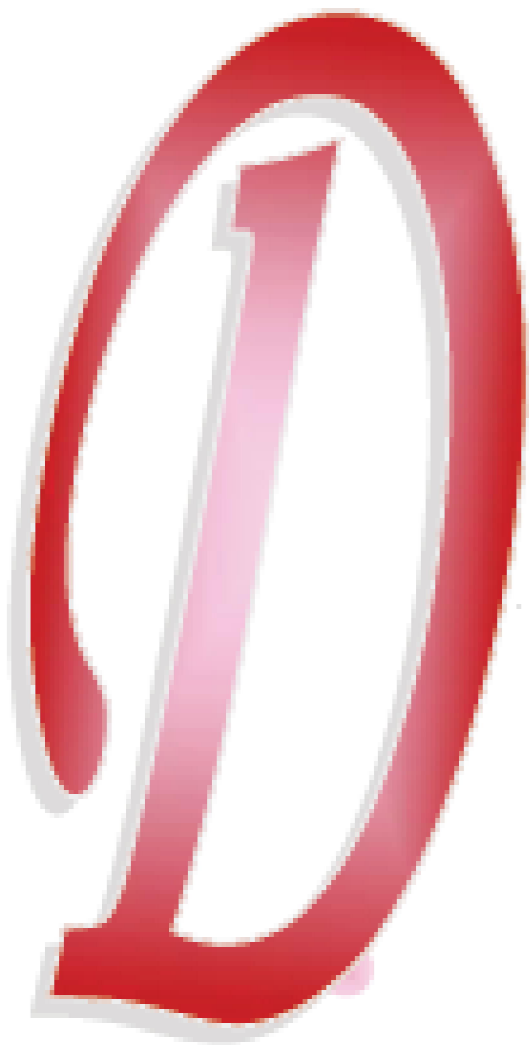
*Je tiens également à associer à cette œuvre tous mes collègues de protection des végétaux  
et d'environnement promotion 2014 et 2015 que j'ai eu le plaisir de côtoyer pendant  
cette période de formation.*

*Et j'ai jamais oublié mes amies intime de Jijel*

*A toute personne qui a participé de près ou loin*

*A tous mes enseignants de département d'agronomie et biologie de l'université de  
Laghouat*

**B. Khadidja**



# Édificaces

*Avec un énorme plaisir et une immense joie, je dédie  
mon travail*

*A mes parent «père & mère»*

*A toute ma famille ; mes frères, mes sœurs et mes  
nièces*

*A mes proche amies,*

*A mes amies intime de Jijel,*

*A mes collègue de la promotion Master Protection  
des végétaux et d'environnement*

*2014 et 2015*

*À ma chère copine Khadidja, avec qui j'ai partagé des  
moments inoubliables dans la réalisation de ce  
travail.*

*Ainsi à toutes personnes qui m'ont encouragé ou aidé  
et soutenu même par la bonne parole*

*F. Hassina*

## Remerciement

**« Louange à *الله* le tout puissant et miséricordieux, qui nous donné la force et patience d'accomplir ce modeste travail »**

*Nous exprimons nos remerciements et nos sincères gratitudees à notre promoteur **Dr. Gouzi Hicham** ; Maître de Conférences Classe A, à l'université Amar Thelidji, pour la liberté qu'ils nous ont accordée dans la prise d'initiatives, pour la confiance qu'ils ont témoignée et pour sa disponibilité, ses efforts et ses encouragements qui nos permis de mener à bien cette étude.*

*Nous aimerions remercier aussi nos co-promoteur **Mr Benchettouh Ahmed** ; Maître Assistant Classe A et Chef du Département d'agronomie de l'Université Amar Thelidji, Laghouat.*

*Nous tenons à exprimer notre gratitude, notre profond respect et nos remerciements aux membres de jury: **Mme Amerani** ; Maître Assistant Classe A à l'université Amar Thelidji, qui nous a fait honneur par sa présence en qualité de président de jury, **Mr Mokhtar Rahmani**. Maître Assistant Classe A à l'université Amar Thelidji, qui nous accepté de faire partie de ce jury et d'examiner ce travail et consacré de leur temps pour son évaluation.*

*Mes chaleureux remerciements vont également à **Mr Khedimallah Bilal** la personne qui a toujours aidons et encourageons, qui étaient toujours à notre cotés.*

*Nous soulignons nos reconnaissances aux enseignants **Mme Ameer.**, et **Mme Touati** pour leur aide, leurs précieux conseils, leur gentillesse et leur disponibilité.*

*L'ensemble des enseignants ayant contribué de près ou de loin à notre formation qu'ils trouvent à travers ces lignes l'expression de notre plus grande considération.*

*Nous tenons à remercier nos collègues d'étude pour leur inestimable aide et leur esprit d'équipe.*

*Nos vifs remerciements s'adressent aux techniciens et aux ingénieurs des laboratoires de l'université Amar thelidji pour leurs très grandes aides.*

*Un grand merci à nos très chers parents et à tout la famille **Bensaada** , **Feltane** et **Talbi**, qui ont vraiment aidé, soutenu depuis toujours.*

*Un grand merci à tous !*

***Khadija et Hassin a***

# Sommaire

---

|   | Page |
|---|------|
| Dédicace.....   | I    |
| Remerciements.....  | II   |
| Sommaire.....   | III  |
| Liste des tableaux.....   | IV   |
| Liste des figures.....  | V    |
| Liste des Abréviations.....   | VI   |
| Introduction.....   | 1    |
| <i>Synthèse bibliographique</i>                                       |      |
| 1. Généralités sur les céréales.....                                  | 03   |
| 1.1 Céréalicultures.....  | 03   |
| 1.1.1 Le blé.....   | 03   |
| 1.1.2 Le riz.....   | 03   |
| 1.1.3 Le maïs.....  | 04   |
| 1.1.4 L'orge.....   | 04   |
| 1.2 Maladies et les ravageurs des céréales.....                       | 04   |
| 2. Généralités sur les mycètes.....                                   | 05   |
| 2.1 La fusariose.....   | 05   |
| 2.1.1 Généralité.....   | 05   |
| 2.1.2 Symptômes.....  | 06   |
| 2.2 Le champignon du genre <i>Fusarium</i> .....                      | 06   |
| 2.2.1 Morphologie microscopique.....                                  | 07   |
| 2.2.2 <i>Fusarium graminearum</i> (F.P: <i>Gibberella zeae</i> )..... | 08   |
| 2.2.3 Biologie des champignons du genre <i>Fusarium</i> .....         | 08   |
| 2.3 Infection et développement des champignons.....                   | 10   |
| 2.3.1 Importance.....   | 10   |
| 2.3.2 Mycotoxines.....  | 10   |
| 2.3.3 Méthode de lutte.....   | 13   |
| 2. Généralités sur les algues.....                                    | 15   |
| 2.1 Définition.....   | 15   |
| 2.2 Structure des algues.....   | 15   |
| 2.2.1 Les macroalgues.....  | 15   |
| 2.2.2 Les microalgues.....  | 16   |

# Sommaire

---

|  |    |
|--|----|
| 2.3 Composition des algues.....                                  | 16 |
| 2.4 Condition de vie.....  | 17 |
| 2.5 Reproduction des algues.....                                 | 17 |
| 2.6 Grandes groupes des algues.....                              | 18 |
| 2.7 Algue marine bio-indicateur écologique.....                  | 19 |
| 2.8 Rôle économique des algues.....                              | 20 |
| 2.9 Principales utilisations.....                                | 20 |
| 2.10 Le genre <i>Asparagopsis</i> .....                          | 22 |
| 2.10.1 Description.....  | 22 |
| 2.10.2 Caractéristiques d'identification.....                    | 23 |
| 2.10.3 Habitat et éléments d'identification sur le terrain ..... | 23 |
| 2.10.4 Utilisation.....  | 23 |
| 2.10.5 Taxonomie .....   | 23 |
| 2.10.6 Reproduction.....   | 24 |
| 2.10.7 Cytologie.....  | 24 |

## *Matériels et méthodes*

|  |    |
|--|----|
| 1. Matériels .....   | 27 |
| 1.1 Présentation du site de prélèvement et méthode d'échantillonnage ..... | 27 |
| 1.2 Souche fongique testée.....  | 28 |
| 2. Méthodes.....   | 29 |
| 2.1 Préparation des extraits d'algue.....                                  | 29 |
| 2.2 Détermination de l'activité antifongique.....                          | 29 |

## *Résultats et discussion*

|   |    |
|---|----|
| 1. Effet du solvant d'extraction .....  | 31 |
| 2. Effet du solvant d'extraction sur l'activité antifongique de l'extrait d' <i>Asparagopsis armata</i> ..... | 31 |
| Conclusion.....   | 35 |
| Références bibliographiques.....  | 36 |
| Annexe.....   | 43 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau 01.</b> Représente le rendement des extraits exprimés en pourcentage %.....   | 31 |
| <b>Tableau 02 :</b> Effet du solvant d'extraction sur le pouvoir antifongique de l'extrait d'Algue marine rouge <i>Asparagopsis armata</i> sur <i>Fusarium graminearum</i> ..... | 34 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 01.</b> Symptômes de la fusariose sur céréales : épis de blé avec des grains fusariés (A), grains de blés ridés et rosâtres (B), grains de maïs fusariés (C), épi de maïs fusariés (D).....       | 06 |
| <b>Figure 02.</b> Spores de <i>F.avenaceum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. graminearum</i> et <i>F. poae</i> .....   | 07 |
| <b>Figure 03.</b> Macroscopic and microscopic pictures of <i>F. graminearum</i> , the causal agent of <i>Fusarium</i> head blight.....  | 08 |
| <b>Figure 04.</b> Cycle biologique de <i>Fusarium</i> (F.P. : <i>Gibberella</i> ) sur céréales.....   | 09 |
| <b>Figure 05.</b> Structure générale des trichothécènes.....  | 11 |
| <b>Figure 06.</b> Structure chimique des principales mycotoxines de <i>Fusarium graminearum</i> ...   | 12 |
| <b>Figure 07.</b> Représentation schématique d'une macro-algue brune de type fucale.....  | 16 |
| <b>Figure 08.</b> Micro-algues.....   | 16 |
| <b>Figure 09.</b> Distribution des algues selon l'intensité lumineuse.....  | 19 |
| <b>Figure 10.</b> <i>Asparagopsis armata</i> .....  | 22 |
| <b>Figure 11.</b> Cycle de reproduction <i>Asparagopsis armata</i> .....  | 24 |
| <b>Figure 12.</b> Ramification du thalle chez <i>Asparagopsis armata</i> .....  | 25 |
| <b>Figure 13.</b> Station de la récolte de l'algue rouge marine <i>Asparagopsis armata</i> (Wilaya de Mostaganem ; Salamandre).....   | 27 |
| <b>Figure 14.</b> Représente l'algue rouge <i>Asparagopsis armata</i> .....   | 28 |
| <b>Figure 15.</b> La souche de <i>Fusarium graminearum</i> .....  | 28 |
| <b>Figure 16.</b> Représente les extraits préparés.....   | 29 |
| <b>Figure 17.</b> Technique utilisé pour la mesure de l'activité antifongique de l'extrait d'algue rouge marine <i>Asparagopsis armata</i> .....  | 30 |
| <b>Figure 18.</b> Résultats de l'effet de l'extrait d'algue marine rouge <i>Asparagopsis armata</i> obtenu avec les différents solvants sur la croissance de <i>Fusarium graminearum</i> en milieu PDA..... | 32 |
| <b>Figure 19.</b> Le taux d'inhibition de la croissance du <i>Fusarium graminearum</i> par les différents solvants à la concentration 50mg/ml.....  | 33 |
| <b>Figure 20.</b> Le taux d'inhibition de la croissance du <i>Fusarium graminearum</i> par l'extrait méthanolique aux concentrations testées.....   | 33 |

**aw:** Activity water

**Cm:** Centimetre

**°C:** Degree Celsius

**Dalton :** Unité moléculaire

**DON :** DeOxyNivalenol

**FAO :** *Food and Agriculture Organization* : organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

**g:** gramme

**h :** Heure

**HR:** Humidité relative

**kg:** Kilogramme

**m:** Mètre

**mg:** Milligramme

**ml:** Millilitre

**PCB :** Polychlorobiphényles

**PDA:** *potato dextrose agar*

**NIV :** NIValenol

**ZEN :** Zéaralénone

**µm:** Micrometre

**µl:** Microlitre

**%:** Pourcentage

# *Introduction*

## Introduction

---

Les maladies fongiques sont l'une des contraintes les plus importantes que peu rencontré les agriculteurs. Parmi ces maladies on peu cité la fusariose qui entraîne des pertes dramatiques des productions céréalières ainsi qu'une détérioration de la qualité de leur grains. L'agent causal de cette maladie fongique est le plus souvent le champignon du genre *Fusarium* spp. (Pagnussatt. F. A et al., 2013).

La fusariose du blé est causée principalement par *Fusarium graminearum*. Ce dernier est responsable de pertes quantitatives importantes dans les cultures céréalière et peu poser une menace et la sécurité alimentaire en particulier en raison de leur capacité à produire mycotoxines des implications toxicologiques pour les humains et les animaux. (Pagnussatt. F. A et al., 2013).

De nombreuses méthodes chimiques de lutte contre cette maladie cryptogamique ont été essayées. L'utilisation répétée des produits de synthèse comme le benomyl, le captafol, le méthylthiophanate, le méthoxybifurcarénone, le thiabendazole, le pesticide AJ1629-34EC et autres, ont donné des résultats limités à moyen et à long terme. Ils entraînent souvent la pollution de l'environnement, le ralentissement de la progression de pathogène et non leur disparition totale, l'apparition de souches résistantes et l'augmentation de la quantité des résidus sur les fruits (Chaib N 1997., Hilali et al., 2002., Didier et al., 2004., Ozbay et Newman, 2004., Yates et al., 2004, Daami-Remadi et El Mahjoub 2006., Hibar et al., 2006. 2007., Ainane.2011). Devant cette situation, l'intégration d'autres stratégies efficaces et respectueuses à l'environnement semble être nécessaire.

Les algues sont considéré comme étant une source riche en composés bioactifs. Les chercheurs ont indiqué que les composés extraits d'algues marines montrent diverses activités biologiques à savoir des activités antioxydantes, cytostatiques, antivirale, antihelminthique, antifongique, antibactérienne et anti-inflammatoire (Balboa et al., 2013 ; Bansemir et al., 2006 ; Hornsey and Hide, 1974; Reichelt and Borowitzka, 1984 ; Bansemir et al., 2006).

Les espèces d'*Asparagopsis* sont reporté d'avoir des propriétés antifongiques, antibactériennes et antiparasitaires (Bansemir et al., 2006; Burreson et al., 1975; Genovese et al., 2009; Jiao et al., 2011; McConnell et Fenical, 1977; Salvador et al., 2007).

Malgré la richesse de la côte algérienne par une diversité d'algues marines, peu de travaux ont été réalisés sur le pouvoir antifongique des extraits des algues marines. Par conséquent, l'objectif principal de notre étude est d'évaluer l'activité antifongique de l'extrait d'algue marine rouge *Asparagopsis armata* sur le champignon phytopathogène *Fusarium graminearum*. Pour cela, nous avons étudiée l'effet de la nature du solvant d'extraction sur le pouvoir antifongique de l'extrait de cette algue marine.

---

## Introduction

---

Ce mémoire a été organisé en différentes parties décrivant les étapes successives de cette étude.

La première partie concerne un rappel bibliographique aussi précis que possible sur les céréales, leurs maladies fongiques ainsi que sur les algues marines et leurs applications. Dans la deuxième partie, nous décrivons les procédures expérimentales mises en jeu dans cette étude. La troisième partie est consacrée à une discussion des résultats expérimentaux obtenus. Une récapitulation succincte des résultats ainsi que les perspectives ouvrant la voie à des études ultérieures sur l'algue *Asparagopsis armata*, sont regroupées dans la dernière partie.

# *Synthèse bibliographique*

## **1. Généralités sur les céréales**

### **1.1 Céréalicultures**

Les céréales sont les plantes les plus cultivées au monde par la superficie et par le volume récolté, elles représentent un point de vue économique très important car elles sont considérées une matière première pour l'alimentation.

Les trois principales céréales cultivées et consommées dans le monde sont le blé, le maïs et le riz. Puis l'orge, le seigle, l'avoine, le sorgho et le millet...etc. Au sein des céréales, on distingue généralement trois groupes : le blé, le riz et l'ensemble des autres céréales regroupées sous l'appellation céréales secondaires. (Belyagoubi larbi, 2006).

#### **1.1.1 Le blé**

Le blé constitue une céréale d'importance primordiale à travers le monde, d'un point de vue économique et en tant que denrées alimentaires. Il fait partie des trois grandes "céréales" avec le maïs et le riz. C'est, avec environ 600 millions de tonnes annuelles, la troisième par l'importance de la récolte mondiale, et, avec le riz, la plus consommée par l'homme. (Boutigny anne laure, 2007).

Le blé est une espèce annuelle qui fait partie de la classe botanique des Monocotylédones et de la famille des Graminées. C'est une espèce autogame de jours longs. C'est la première céréale cultivée et largement consommée en Algérie et dans le monde. (Hamadache, 2001).

En Algérie, deux espèces sont essentiellement cultivées :

- Le blé dur *Triticum turgidum* var. *durum* possédant  $2n=28$  chromosomes, dont l'aire d'extension est surtout constituée de zones arides et semi-arides.
- Le blé tendre *Triticum aestivum* var. *aestivum* possédant  $2n = 42$  chromosomes dont l'adaptation agrotechnique est très large (Bonjean et Picard, 1990)

#### **1.1.2 Le riz**

Le riz est la deuxième céréale du monde après le blé, il constitue la base alimentaire vaste régions développées ou en voie de développement. Il est surtout utilisé pour l'alimentation humaine. Contrairement au blé, il est le plus souvent consommé sous forme de grains. (Belyagoubi larbi, 2006).

### **1.1.3 Le maïs**

Le maïs constitue, l'aliment de base des habitants de nombreux pays (notamment d'amérique latine) , il joue aussi un rôle important dans le régime (alimentation, nourriture) des millions d'africains due à ses rendent élevés par hectare, sa facilité de culture et d'adaptabilité de différents zones agro-écologiques, utilisations alimentaires souples et aux caractéristiques de stockage. Dans les pays développés, l'alimentation animale utilise une part croissante de la production de blé et surtout de maïs. (Belyagoubi larbi, 2006)

### **1.1.4 L'orge**

Les orges forment un groupe botanique complexe de grandes graminées, dont l'orge cultivées : *Hordeum sativum*. L'orge est cultivée pour son grain utilisé dans l'alimentation animale (orge fourragère) et pour la fabrication de la bière (orge de brasserie) après l'avoir transformée en malt. (Belyagoubi larbi, 2006)

## **1.2 Maladies et les ravageurs des céréales**

Dans la nature, les plantes sont exposées à de nombreuses agression qui provoquent à leur niveau des perturbations métaboliques graves et très souvent une installation de la maladie. Ces agressions sont soit, d'origine nutritionnelle (carence ou excès d'éléments nutritifs), climatique (températures élevées ou basses) ou encore d'origine anthropique (pesticides et métaux lourds), on les qualifie de stress abiotique. A l'opposé, le stress biotique fait intervenir un second être vivant qualifié d'agent pathogène (champignon, bactérie, virus et viroïde) ou autres (Acariens, insectes, mollusques, nématodes et herbivores). (Mahdi Nourdine, 2011)

## **2. Généralités sur les mycètes**

Les champignons, ou 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 pluricellulaires, incluant des espèces macroscopiques (macromycètes) et d'autres microscopiques (micromycètes) d'aspect filamenteux ou lévuriforme. Ces champignons sont appelés couramment « moisissures », véritables agglomérats de filaments mycéliens et d'organes fructifères capables de coloniser des substrats très divers (végétaux, papier, cuir, murs...). Il s'agit d'organismes hétérotrophes (nécessitant une source de carbone et d'azote pour leur développement) et ubiquistes. (Cristina tabuc, 2007).

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).

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).

### **2.1 La fusariose**

#### **2.1.1 Généralité**

De nombreuses maladies fongiques peuvent attaquer les différents organes du blé, à différents stades de son développement. Ces maladies ont une influence sur le rendement puisqu'elles contaminent pour certaines une partie de la feuille voire la totalité (ex : la septoriose) ce qui inhibe le rendement photosynthétique. Certaines maladies affectent les épis et les grains (ex : la carie, le charbon, la fusariose). De plus, certaines espèces fongiques synthétisent des mycotoxines qui s'accumulent dans les grains, c'est le cas pour la plupart des espèces responsables de la fusariose. (Marie-eve berube, 2010).

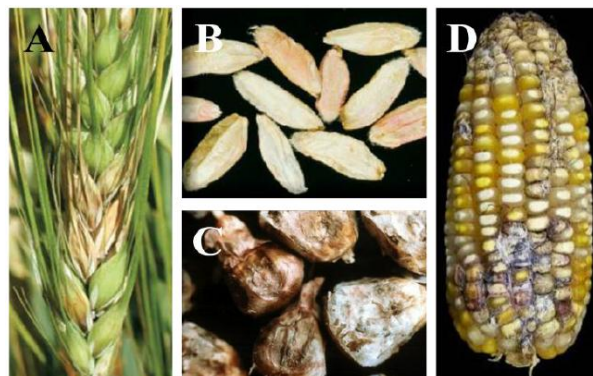
La fusariose de l'épi est une maladie fongique qui peut survenir chez toutes les céréales cultivées (maïs, seigle, triticale, blé, orge, avoine) (Bailey et coll., 2004). Il s'agit, sans conteste, de la maladie la plus grave affectant les cultures de blé et d'orge (Marie-eve berube, 2010). La fusariose de l'épi peut être causée par une vingtaine d'espèces du genre *Fusarium*. Parmi ces espèces, cinq sont principalement responsables de la fusariose, il s'agit de *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. poae*, *F. tricinctum*, *F. graminearum* est l'espèce prédominante responsable de l'épidémie (Boutigny anne laure, 2007).

### 2.1.2 Symptômes

Lorsque les conditions climatiques sont favorables, la fusariose peut attaquer à tous les stades de développement et tous les organes de la plante, depuis les racines jusqu'aux épis. Le terme "fusariose" des céréales regroupe trois types de symptômes (Parry *et al.*, 1995) :

- "Seedling Blight" : fusariose des semences, provoquent des manques à la levée et des fontes des semis.
- "Foot Rot" : fusariose du collet et racine, entraînant la nécrose de ces tissus.
- "Head Blight": fusariose de l'épi.

La fusariose des épis de blé est caractérisée par le flétrissement des épis et une sénescence prématurée, les épis apparaissent alors blanchâtres. Les grains de blé fusariés sont petits, légers, ridés et parfois couverts d'un duvet blanc ou rose. Si l'infection est plus tardive, les grains peuvent être de taille normale mais ils se décolorent en rose. Les symptômes observés sur orge sont semblables à ceux observés sur blé décrits plus haut (McMullen *et al.*, 2008).



**Figure 01** : Symptômes de la fusariose sur céréales : épis de blé avec des grains fusariés (A), grains de blés ridés et rosâtres (B), grains de maïs fusariés (C), épi de maïs fusariés (D) (McMullen *et al.*, 2008).

## 2.2 Le champignon du genre *Fusarium*

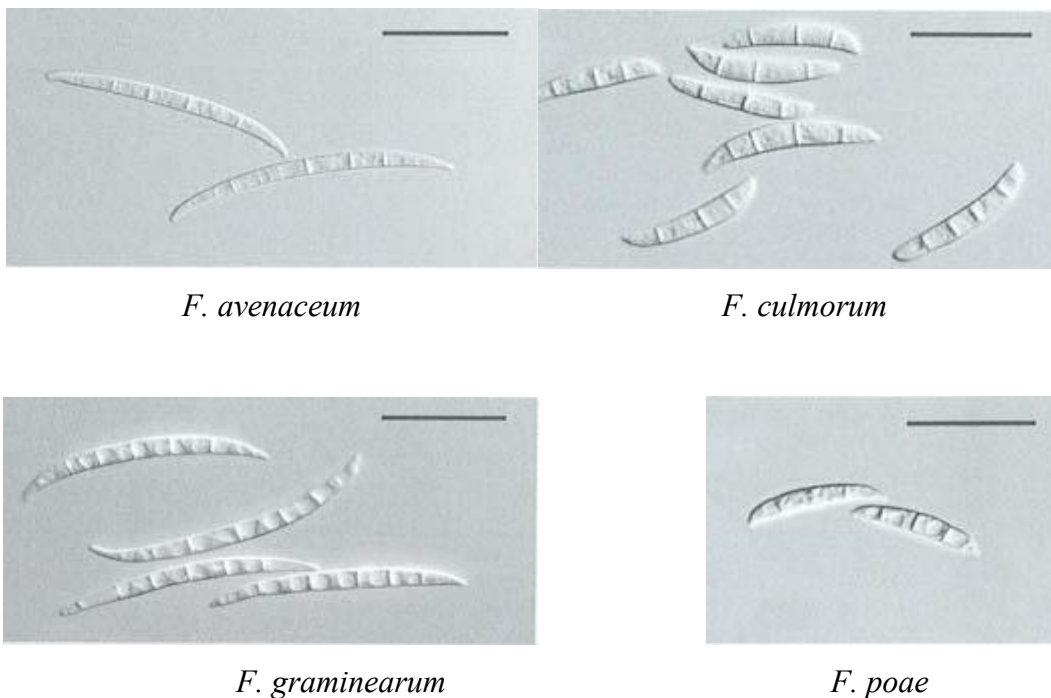
La première et véritable description du genre *Fusarium* a été réalisée par Link en 1809. Il doit son nom du latin *fusus* (fuseau) en rapport à la forme de ses macroconidies

fusiformes et cloisonnées. Il appartient à la division des Ascomycètes et à la famille des Nectriacées. A l'heure actuelle nous utilisons principalement un classement dérivé de celui de Nelson *et al.* (1983) lesquels regroupent les *Fusarium* dans 15 sections. Ce classement a été amendé par Burgess *et al.* (1994), puis par d'autres chercheurs grâce à l'utilisation des techniques de biologie moléculaire (Leslie et Summerell, 2006).

### 2.2.1 Morphologie microscopique

Le principal caractère morphologique des *Fusarium* est la présence de macroconidies fusiformes et cloisonnées.

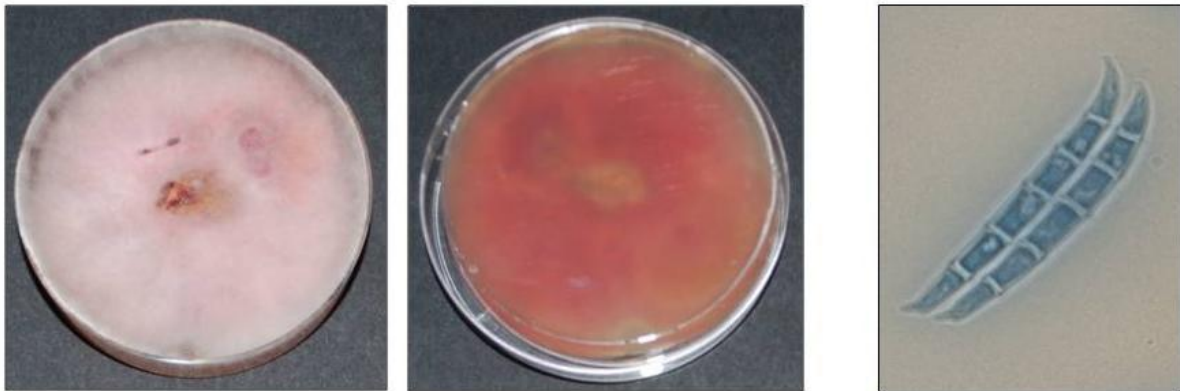
- Les conidiophores, parfois très ramifiés, forment sur le thalle des coussinets (sporodochies) et portent des masses de spores.
- Les phialides, plus ou moins allongées, produisent deux types de conidies :
  - Les microconidies – uni- ou bicellulaires, piriformes, fusiformes, cylindriques ou ovoïdes, isolées, solitaires ou groupées, disposées en verticille ou plus rarement en chaînettes (*F. verticilloides*) ;
  - Les macroconidies – conidies pluricellulaires à cloisons seulement transversales, souvent groupées en paquets. Les macroconidies sont fusiformes, souvent courbées, avec une cellule basale pédicellée, formant un sort de talon plus ou moins visible.
  - Les chlamydospores, sont parfois présentes, en position terminale ou intercalaire (Roquebert, 1998).



**Figure 02** : Spores de *F.avenaceum*, *F. culmorum*, *F. graminearum* et *F. poae* (Leslie et Summerell, 2006).

### 2.2.2 *Fusarium graminearum* (F.P.: *Gibberella zeae*)

*Fusarium graminearum* (téléomorphe *Gibberella zeae*) est un *ascomycète* de l'ordre des *Hypocréales*. Ce champignon filamenteux est réputé pour provoquer de nombreuses pathologies notamment dans les grandes cultures céréalières (blé, orge). En plus des pertes occasionnées par une diminution de rendement, la production de mycotoxines rend certaines récoltes impropres à la consommation humaine ou animale. Deux types de toxines majeures sont produits : le DeOxyNivalenol (DON ou Vomitoxine) et les Trichothecenes. (Didier hatsch, 2004).



**Figure 03:** Macroscopic and microscopic pictures of *F. graminearum*, the causal agent of Fusarium head blight. (Leplat. J, 2012)

### 2.2.3 Biologie des champignons du genre *Fusarium*

#### 2.2.3.1 Cycle biologique

L'infection d'une plante par *Fusarium* peut avoir plusieurs origines :

- (i) une origine biotique dans le cas d'un oiseau ou d'un insecte *Sitodiplosis mosellana* notamment, qui transporterait des spores et les dissémineraient dans la nature.
- (ii) une origine abiotique lorsque c'est le vent ou la pluie qui permet la dissémination des spores dans la nature.

La fusariose est considérée comme une maladie polycyclique, mais l'inoculum primaire est la source principale d'inoculum pour l'apparition de la maladie (Trail, 2009). Cet inoculum primaire se trouve sur les résidus de culture antérieure infectés qui permettent, après la récolte, le développement de périthèces et donc d'ascospores. Les périthèces permettent au champignon de passer l'hiver sous cette forme de conservation. Lorsque des conditions favorables à l'ouverture du périthèce sont réunies, c'est-à-dire obscurité et humidité suffisante, les ascospores se diffusent dans l'air ce qui permet la colonisation des fleurs, de la tige voire des grains par ces ascospores (figure 04).

Le champignon est alors sous sa forme sexuée, *Gibberella*. Par la suite, les ascospores vont germer si l'humidité relative (HR) est supérieure à 85% et la température avoisine les 25-30°C. L'infection peut intervenir à différents stades de développement de la plante-hôte puisque la pénétration du champignon se fait par les zones dites sensibles, c'est-à-dire des ouvertures de tissus dues à la sénescence, par les anthères après la floraison, ou encore par le péricarpe, le champignon progressant entre lemme et palea. (Nicolas Ballois, 2012).

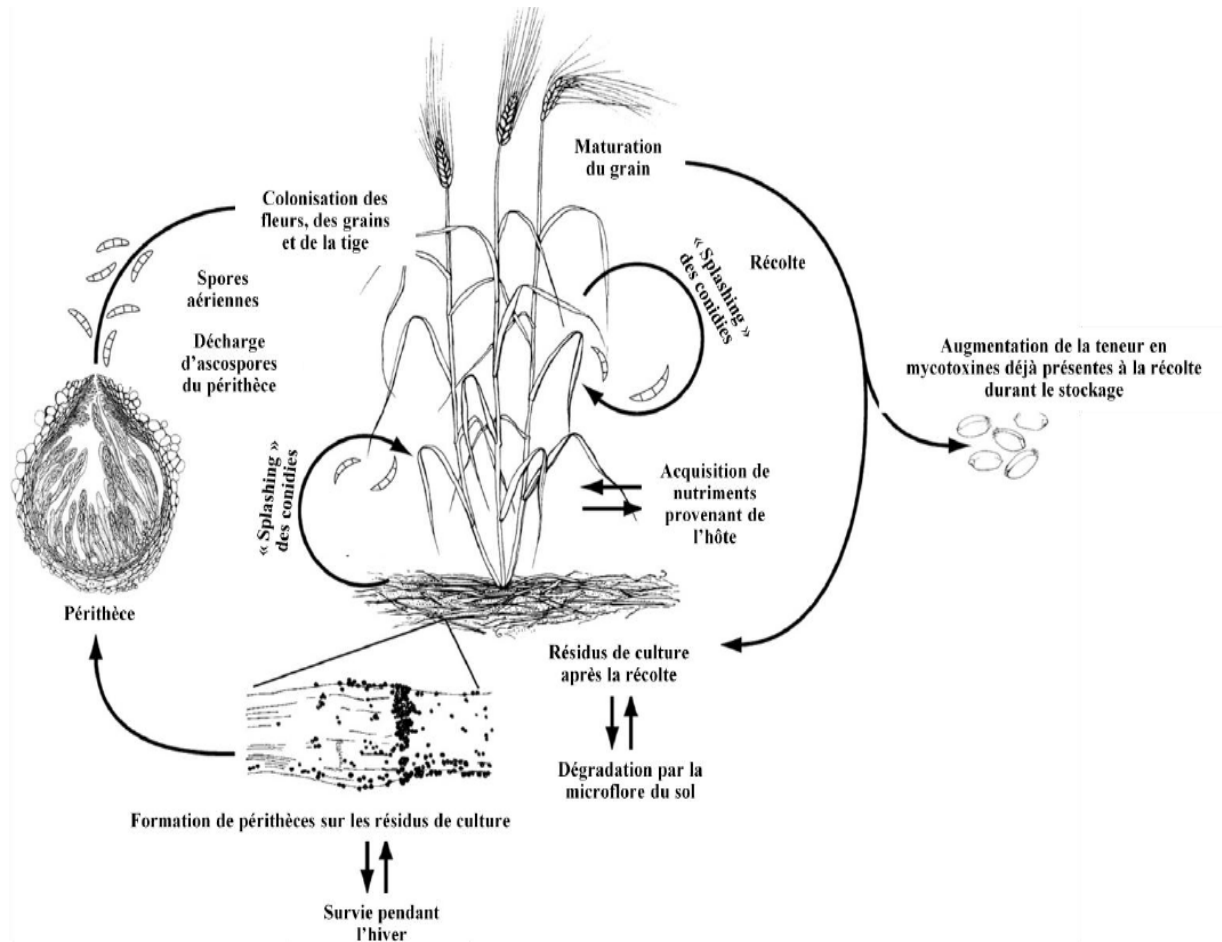


Figure 04 : Cycle biologique de *Fusarium* (F.P. : *Gibberella*) sur céréales (Nicolas Ballois, 2012).

Le champignon colonise ainsi la plante-hôte de l'épi à la tige. Certains grains infectés tombent au sol pendant la récolte formant une nouvelle source d'inoculum. Le champignon est alors sous la forme asexuée, *Fusarium*. Des conidies se trouvent ainsi au niveau du sol et en cas de chute de gouttes d'eau, ces conidies sont disséminées par phénomène de « *splashing* » (figure 04). D'autre part, quand le champignon se trouve au sol, il produit des chlamydospores, une forme asexuée de spores à paroi épaisse lui permettant de passer l'hiver. (Nicolas Ballois, 2012)

### 2.2.3.2 La dissémination

Les spores sont principalement dispersées par temps de pluie par les éclaboussures qui projettent les conidies ou les ascospores sur les plants de céréales et leurs épis. Lorsque les

ascospores sont entraînées par le vent, elles peuvent être dispersées sur de plus longues distances. Un élément contaminant peut être détecté à plusieurs kilomètres de distance de sa source de production (Bergstrom et Shields, 2002 ; Fracl *et al.*, 1999).

Les insectes et larves d'insectes peuvent également être une source de dissémination, ils endommagent l'enveloppe des grains, ce qui favorise la pénétration de l'inoculum à l'intérieur de la graine. (Widstrom, 1992).

### **2.3 Infection et développement des champignons**

La fusariose de l'épi de blé est donc initiée par le dépôt de spores matures sur des épis de blé en fleur. Ces spores germent, colonisent les anthères extrudées, généralement dans la partie médiane de l'épi, où commence la floraison et où l'humidité est supérieure à celle des autres épillets (Walter *et al.*, 2010 ; Leonard et Bushnell, 2003). Ils entrent dans la fleur et se développent afin de rejoindre la graine en formation, les bractées florales et le rachis.

Dans un premier temps, les tubes germinatifs se développent en surface et forment un réseau dense de mycélium à l'intérieur de l'épillet et autour de l'ovaire 24 à 26 heures après l'inoculation (Brown *et al.*, 2010). Ensuite, sur le front de l'infection, le champignon se développe de façon intercellulaire et se nourrit des exsudats extracellulaires mais n'induit pas encore de symptômes visibles (Guenther et Trail, 2005).

#### **2.3.1 Importance**

En 2012, la revue scientifique *Molecular Plant Pathology* établit un classement des champignons phytopathogènes d'importance économique. *F. graminearum* est classé quatrième champignon phytopathogène majeur mondial. Ce résultat s'explique par la prédominance et le potentiel mycotoxinogène de *F. graminearum* qui provoque outre des baisses de rendement, des baisses de la qualité du grain et des produits transformés issus de ce grain.

En effet, les grains sont rabougris et contaminés par des mycotoxines. Cette espèce est aujourd'hui majoritaire sur le blé et l'orge dans la plupart des pays européens et en Amérique du Nord. (Nicolas Ballois, 2012)

#### **2.3.2 Mycotoxines**

##### **2.3.2.1 Nature et origine des mycotoxines**

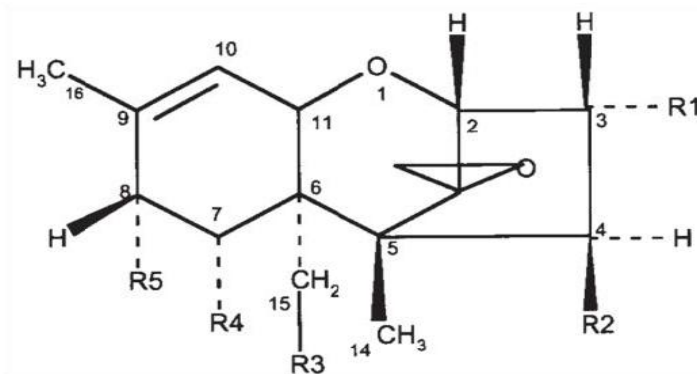
Les mycotoxines sont des métabolites secondaires, toxiques, de faible poids moléculaire (entre 200 et 10.000 daltons), excrétées par certaines moisissures qui se développent sur divers produits agricoles sous des conditions environnementales particulières (Krska, 2009). À ce jour, 300 à 400 mycotoxines 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 diffusent dans le substrat qu'elles contaminent même après la destruction du champignon responsable de leur production. Peu labiles, elles sont souvent actives à très faibles doses, thermostables, stables dans le temps et résistantes aux traitements biologiques et aux processus de transformation. Ainsi, lorsqu'elles sont présentes dans le grain, on les retrouve tout au long de la chaîne alimentaire. (Prandini *et al.*, 2007).

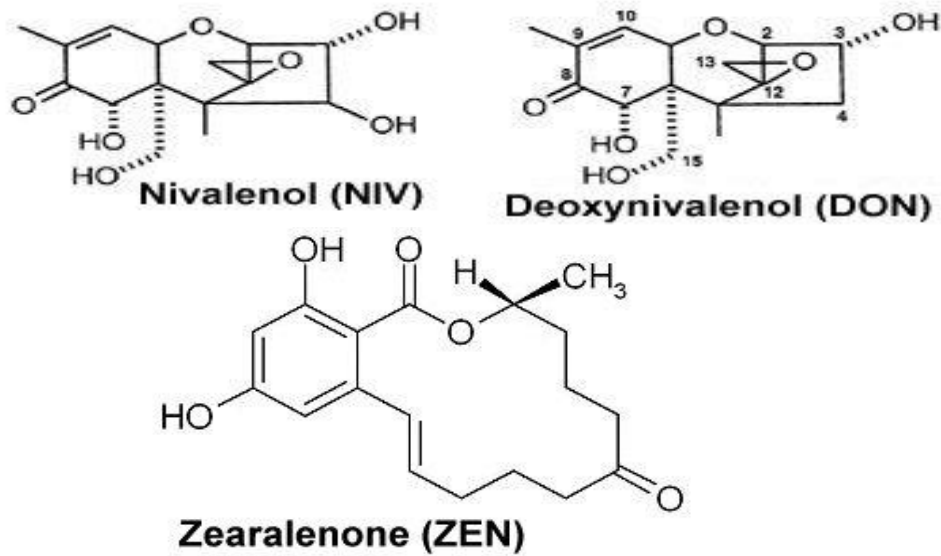
Les fusariotoxines produites par les *Fusarium* sont principalement des Trichothécènes. Ce sont des inhibiteurs de synthèse protéique des cellules eucaryotes (Cumagun *et al.*, 2004) et de l'activation des gènes de défense de la plante (Wagacha et Muthomi, 2007). (fusariose d'épi) elles sont responsables d'effets indésirables sur la santé humaine ou animale en cas de consommation d'aliments contaminés et peuvent ainsi provoquer une grande variabilité de symptômes comme des altérations du foie, des reins, du système nerveux central, des dérèglements hormonaux ou encore une réduction des défenses immunitaires (Prandini *et al.*, 2007).

Les trichothécènes constituent le groupe de mycotoxines produites par *Fusarium* le plus important avec près de 150 trichothécènes isolés chimiquement. Toutefois, seuls les trichothécènes de type A et B semblent avoir une réelle importance sur les cultures de céréales.



**Figure 05** : Structure générale des trichothécènes (Nicolas Ballois, 2012).

Les principales mycotoxines produites par le genre *Fusarium* et en particulier le complexe d'espèces *Fusarium graminearum* sont les trichothécènes B, notamment le déoxynivalénol (DON), le nivalénol (NIV) et leurs dérivés acétylés.



**Figure 06 :** Structure chimique des principales mycotoxines de *Fusarium graminearum*.

Source : Didier hatsch, 2010.

### 2.3.2.2 Effets des mycotoxines

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).

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 cancérogènes, mutagènes, tératogènes et immunosuppresseurs. 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).

### **2.3.3 Méthodes de lutte**

#### **2.3.3.1 Pratiques culturales**

La production de spores infectieuses à partir des déchets végétaux présents dans les champs est la première étape du cycle infectieux de *F. graminearum*. Il convient donc de ne pas réutiliser les déchets végétaux pour fumer les cultures.

Au niveau du semis, il est recommandé de semer les céréales dans un sol bien travaillé. Idéalement le sol doit favoriser une germination et une levée rapide. De cette manière la jeune plante peut être plus robuste pour faire face à une infection. Une pratique d'alternance de culture apporte des effets bénéfiques compte tenu de la préservation nécessaire des ressources du sol. De plus, elle induit une variation naturelle de la flore favorable à la résistance aux pathogènes. De plus la culture de variétés résistantes est à privilégier. (Didier hatsch, 2004).

#### **2.3.3.2 Lutte génétique**

Il existe des variétés tolérantes, possédant des niveaux de résistance partiels permettant de limiter les pertes de rendements et l'accumulation des toxines dans la récolte.

#### **2.3.3.3 Lutte chimique**

Une fois la culture installée, le recours à la lutte chimique est toujours possible mais avec une efficacité limitée. Toutefois, appliqué à la bonne dose et au bon stade, un traitement à l'aide d'un produit spécifique est un levier supplémentaire pour lutter contre la fusariose. La diversité des agents pathogènes ainsi que les différences d'efficacité des matières actives d'une espèce à l'autre complexifient cette lutte.

En effet, les travaux de Simpson *et al.* (2001) soulignent la sensibilité des champignons du genre *Fusarium* aux triazoles et ceux du genre *Microdochium* aux strobilurines. Depuis, des résistances sont apparues limitant l'intérêt des strobilurines dans cette lutte. De nouvelles solutions ont été récemment développées couplant par exemple plusieurs familles chimiques comme les triazolinthione et triazole pouvant réduire jusqu'à 70% de la maladie au champ. (Simpson DR *et al.*, 2001).

#### **2.3.3.4 Lutte biologique**

La lutte biologique est une méthode prometteuse contre la fusariose (Schisler *et al.*, 2002). Par exemple, au cours d'études menées en serre, l'inoculation des épis de blé à

l'anthèse avec le champignon *Phoma betae* réduit de 60% la sévérité des symptômes de fusariose causé par *F. culmorum* (Diamond et Cooke, 2003). Au cours d'essais aux champs, Khan et *al.* (2004) rapportent que les levures *Cryptococcus* sont capables de diminuer la sévérité de la fusariose, l'antagoniste le plus efficace réduisant la sévérité de la fusariose de 50-60 %.

## **2. Généralités sur les algues**

### **2.1 Définition**

Les algues, organismes photosynthétiques, sont conventionnellement définies comme des végétaux peuplant le milieu aquatique, les lieux humides et de nombreux milieux terrestres. Elles sont dépourvues de tige, de racine, de feuille ou de fleur, leurs appareils végétatifs relativement simple est appelé « thalle » (Guillaume, 2010). Elles peuvent être libres ou fixés sur un support, leur taille varie de moins d'un micromètre tel l'algue *Prochlorococcus* (0.5µm) à plusieurs dizaines de mètre pour les *Macrocystis* (60 m) (Leclerc, 2010).

Les Algues sont capables d'occuper tous les types de milieux leur offrant de l'éclairement et une humectation suffisante, temporaire ou permanente. On en trouve ainsi dans les eaux douce et marine, sur les sols humides et même sur la neige. (J. Cabioc'h *et al.*, 2006).

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.

Il est difficile de déterminer le vrai nombre d'espèces vu leur diversité inconnue et leur récément et classification. Dernièrement, le nombre d'espèces recensées est de 136207 (Guiry, 2014).

### **2.2 Structure des algues**

#### **2.2.1 Les macroalgues**

Les macroalgues sont constituées à leur base par des crampons, leurs permettant de se fixer sur un support. Elles absorbent les nutriments par toute la surface du thalle en contact avec l'eau. Les crampons sont surmontés d'un pédoncule de longueur et de diamètre variable, le stipe. L'algue de termine par une fronde qui peut être découpée en filaments, cordons ou lanières (Hortense, 2011).

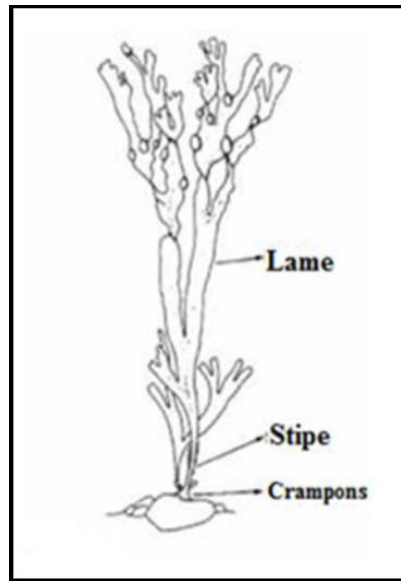


Figure 07 : Représentation schématique d'une macro-algue brune de type fucale (Person, 2011)

### 2.2.2 Les microalgues

La cellule unique des microalgues unicellulaires est capable d'assurer toutes les fonctions. Leur taille est d'une dizaine de microns et la plupart d'entre elles sont adaptées à la flottaison. De nombreuses espèces possèdent un ou plusieurs flagelles mobiles qui leur confèrent une véritable aptitude à la nage (Hortense, 2011).

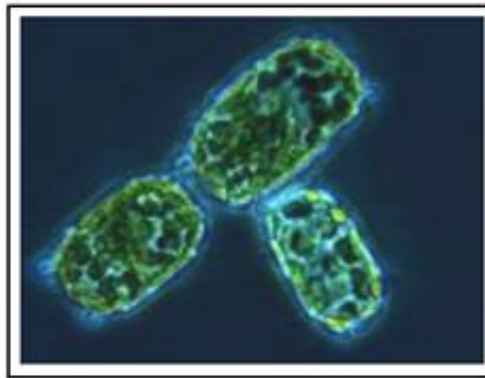


Figure 08 : Micro-algues (Person, 2011)

### 2.3 Composition des algues

Les algues marines ont une grande valeur biologique due à leurs richesses en :

**Fibres** : de 33 à 61 % (Lahaye, 1991).

**Calcium** : Les algues sont une source abondante de ce minéral qui peut être jusqu'à 34% de la matière sèche (Frestedt *et al.*, 2008)

**Vitamines** : surtout la vitamine B12 à des teneurs assez importantes contrairement aux plantes terrestres (Watanabe *et al.*, 1999).

**Iode :** la teneur en iode des algues brunes est exceptionnelle et peut atteindre jusqu'à 14296 mg/kg de matière sèche (Maro *et al.*, 1999 ).

**Protéines :** Les phycobiliprotéines sont les principaux des algues rouges (phycoérythrine) et bleus (phycocyanine), possèdent des propriétés antioxydantes utilisées dans les traitements de cancers et maladies inflammatoires liées au stress oxydatif ( Gonzalez *et al.*, 1999 ; Pàdula et Boiteux, 1999 ; Ramirez *et al.*, 1999).

**Polyphénols :** appelés phlorotanins chez les algues, ils sont présents surtout dans les phéophycées et montrent une activité antioxydante dans les tests *in vitro* (Shibata *et al.*, 2008).

**Caroténoïdes :** des puissants antioxydants, les algues brunes en sont riches en plus des fucoxanthine,  $\beta$ -carotène et violaxanthine. De nombreuses études ont démontré l'activité antioxydante des caroténoïdes et leurs effets préventifs contre les pathogènes liées au stress oxydatifs (Yan *et al.*, 1999).

#### **2.4 Condition de vie**

Il y a des algues pratiquement partout sur notre planète. Très peu exigeantes, il leur suffit d'un brin de lumière et d'un soupçon d'eau pour se développer. La plupart des algues vivent en effet dans les océans, elles y représentent plus de 90% des végétaux.

Les grandes algues vivent plutôt le long des côtes rocheuses, depuis la zone balayée par les marées jusqu'à 150 voire 200 mètre de profondeur (Leclerc, 2010).

#### **2.5 Reproduction des algues**

Dans de très nombreux cas, la reproduction des algues s'effectue par multiplication végétative. Il s'agit d'une multiplication asexuée qui consiste soit en la division d'une cellule isolée (cas des algues bleues), soit en une fragmentation de thalle aboutissant à la formation de plusieurs organismes identiques. Elle est souvent réalisée par la formation de cellules spécialisées : les spores. Les algues eucaryotes réalisent en plus une reproduction sexuée au cours de laquelle l'union de deux cellules reproductrices, ou gamètes, produit un œuf, ou zygote.

La reproduction des algues se déroule ainsi selon une alternance de phases de reproduction asexuée assurée par les thalles (sporophytes), et de phases de reproduction sexuée, assurée par des thalles producteurs de gamètes (gamétophytes). 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. S, 2004).

## **2.6 Grandes groupes des algues**

Selon leur pigmentation, les algues sont divisées en trois groupes ; les chlorophycées, les rhodophycées et les phéophycées (Mohamed *et al.*, 2012).

### **2.6.1 Les algues vertes (Chlorophycées)**

Les Chlorophyta, ainsi que leur nom l'indique, sont en principe algues de couleur verte, celle-ci étant due à la nature de l'équipement des pigmentaires contenus dans leurs chloroplastes. Cette couleur verte est quelque fois masquée par la présence d'inclusions cellulaires supplémentaires chargées de carotènes. C'est ainsi que quelques-uns présentent une couleur rouge. Sous l'effet d'une forte insolation, d'autres peuvent devenir jaunâtres.

Les Algues vertes se définissent par certains caractères fondamentaux liés à la structure des plastes et à leurs particularités biochimiques (présence de chlorophylles a et b, de carotènes et de xanthophylles, élaboration d'un amidon intraplastidial que l'on met aisément en évidence à l'aide d'un colorant à base d'iode, le Lugol). (J. Cabioch *et al.*, 2006).

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).

Elles sont de formes très variées, uni- ou pluricellulaires. Leurs plastes sont colorés en vert par les chlorophylles a et b, auxquelles sont associés des carotènes et des xanthophylles. La photosynthèse permet la formation d'amidon, comme pour les plantes supérieures. La plupart des algues vertes vivent en eau douce ou en milieux marins, mais certaines espèces peuvent également se développer sur terre.

Elles jouent un rôle important dans l'oxygénation des eaux, favorisant ainsi la vie animale.

### **2.6.2 Les algues brunes (Phéophycées)**

La couleur brune de ces algues résulte de la dominance du pigment xanthophylle, la fucoxanthine, qui masque les autres pigments (chlorophylle a et c, ainsi que le bêta-carotène).

Toutes possèdent une structure pluricellulaire, mais leurs dimensions varient depuis les éléments microscopiques jusqu'aux très grands spécimens. La grande majorité des algues brunes sont marines. (Garon-Lardiere. S, 2004).

Les plastes bruns de ces algues, qui comptent quelques 1500 espèces, contiennent trois chlorophylles (a, c<sub>1</sub> et c<sub>2</sub>) 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.

### 2.6.3 Les algues rouges (Rhodophycées)

Les Rhodophytes ou algues rouges forment un groupe très diversifié. Ces algues doivent leur couleur à la présence de plastides roses dans lesquels un pigment rouge, la phycoérythrine, est associé à plusieurs autres pigments dont les chlorophylles.

La plupart de ces algues rouges sont pluricellulaires et marines, mais il existe quelques formes unicellulaires et quelques unes vivent également en eau douce.

Les algues rouges sont divisées en deux groupes : celui des Bangiophycées (qualifiées de primitives) et celui des Floridéophycées (plus complexes). Elles se distinguent généralement par leur cycle de reproduction particulièrement complexe. (Garon-Lardiere. S, 2004).

### 2.6.4 Cyanophycées (algues bleues)

Elles possèdent des pigments surnuméraires bleus (Phycocyanines) et rouges (Phycoérythrine) qui masquent la chlorophylle. En dépit de leur nom ancien d'algues bleues, elles sont rarement bleues mais plus souvent rouges, vertes avec des reflets bleutés, violets, brunes, jaunes ou oranges. La plupart d'entre elles ont une consistance gélatineuse voire gluante en raison des mucilages qu'elles sécrètent (Ainane, 2011).

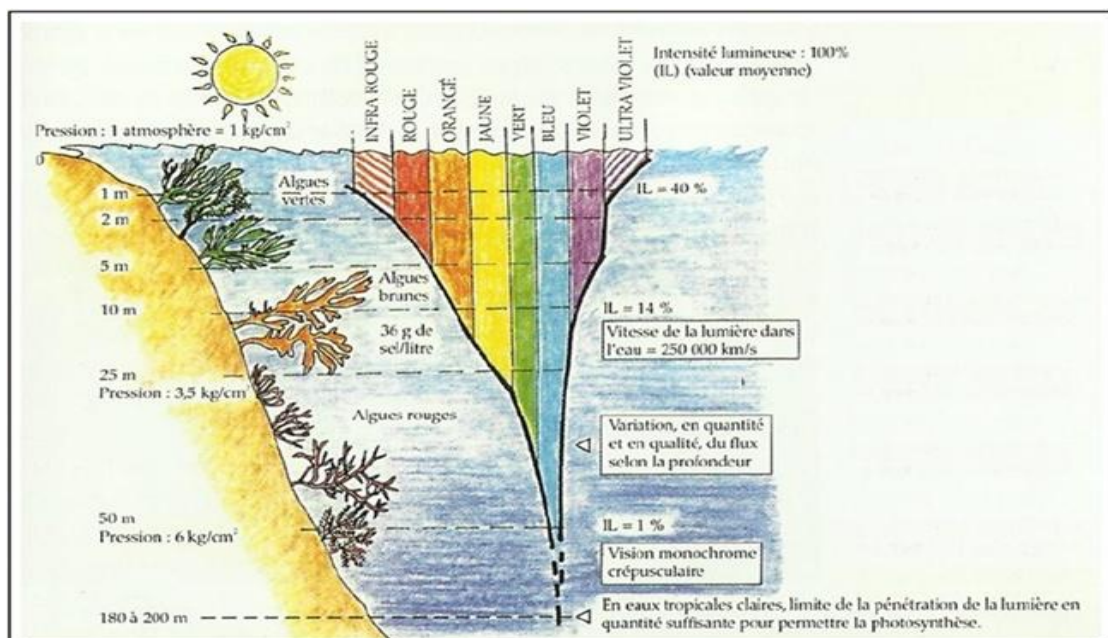


Figure09 : Distribution des algues selon l'intensité lumineuse (Leclec, 2010).

## 2.7 Algue marine bio-indicateur écologique

Comme indicateurs écologiques, les algues présentent plusieurs avantages intrinsèques : elles sont benthiques, et donc peuvent servir à caractériser les conditions, parce

qu'elles agissent comme bioaccumulateurs en concentrant les composées à des teneurs dépassant de plusieurs ordre de grandeur celles de l'eau de mer ambiante, les algues ont été utilisées pour surveiller dans les eaux côtières, la pollution par des métaux lourds, hydrocarbures, pesticides, PCB, enduits préservatifs, éléments radioactifs, nutriments (eutrophisation) et nombreux autres composés (Belmokhtar Mansouria. 2012).

### **2.8 Rôle économique des algues**

On estime que sur notre planète, l'activité photosynthétique est à plus de 90% le fait des algues marines, constituant ainsi notre principale source d'oxygène.

De nombreuses populations des régions côtières utilisent quotidiennement les algues marines pour leur alimentation. La propriété physiologique des algues qui consiste à concentrer dans leurs cellules des oligo-éléments contenus dans l'eau est désormais utilisée à des fins diététiques ou en thalassothérapie.

Mais l'exploitation industrielle des algues est essentiellement liée à l'extraction de leurs phycocolloïdes, polysaccharides constituant la paroi des cellules, aux propriétés texturantes.

On distingue ainsi les agars et les carraghénanes, extraits des algues rouges, des alginates, extraits des algues brunes.

Les principales applications de ces phycocolloïdes sont dans le domaine de l'agro-alimentaire, mais également dans des domaines variés tels que celui de la cosmétologie ou encore de l'industrie des peintures. (Garon-Lardiere. S, 2004).

### **2.9 Principales utilisations**

Les algues sont exploitées industriellement tant dans l'alimentation que dans l'agriculture, la médecine et toutes les formes d'industrie (Naegelé et Naegelé, 1967). La quantité d'algues produites annuellement par culture ou récoltées dans le monde est de l'ordre de neuf millions de tonnes d'algues fraîches. (Marfaing et Lerat, 2007; Dhargalkat et Verlecar, 2009).

#### **2.9.1 Utilisation alimentaire**

Les algues sont consommées en Asie depuis l'aube de l'humanité (Burtin, 2003; Marfaing et Lerat, 2007). En Occident, cette consommation directe d'algues est plus récente. Des études épidémiologiques menées en Asie mettent en évidence une incidence plus faible des cancers du sein, du côlon et de la prostate liée à la consommation régulière d'algues. Ces résultats seraient en faveur du rôle possible de facteurs nutritionnels multiples, en particulier liés à la présence simultanée dans les algues de différents nutriments comme les protéines, polysaccharides plus ou moins sulfatés, minéraux et oligoéléments mais également

métabolites secondaires tels que les polyphénols, caroténoïdes, stérols et bêtaïnes (Marfaing et Lerat, 2007).

### **2.9.2 Utilisation industrielle**

Si les algues sont utilisées à l'état naturel comme produit final pour l'alimentation et l'agriculture, c'est surtout leurs dérivés qui ont pris un immense intérêt industriel: ce sont les alginates, l'agar-agar et les carraghénanes (Naegelé et Naegelé, 1967). La forte affinité de ces polysaccharides à l'eau, les a qualifiés d'hydrocolloïdes (Venugopal, 2009). Ils sont extraits de différentes macroalgues rouges et brunes (Naegelé et Naegelé, 1967; Barsanti et Gualtieri, 2006; Venugopal, 2009). Ces hydrocolloïdes jouent un rôle important comme agents gélifiants, épaississants, texturants, stabilisants et émulsifiants (Venugopal, 2009).

### **2.9.3 Utilisation agricole**

Une autre utilisation intéressante des algues, pratiquée de longue date et fort répandue est celle du goémon, comme engrais formé principalement d'algues brunes: les *Fucus* et les *Laminaires* (Naegelé et Naegelé, 1967). La biodisponibilité de quantités adéquates de potassium, d'azote, d'hormones végétales et de micronutriments, la teneur élevée en matière organique, notamment en fibre, ainsi que la forme soluble dans l'eau des éléments minéraux et oligo-éléments dans les algues font d'elles un excellent engrais (Venugopal, 2009).

La pulvérisation d'engrais liquide sur les plantes, technique récemment adoptée, a augmenté l'efficacité d'absorption des nutriments par les plantes (par les feuilles) dans les 10 à 15 minutes de son application (Dhargalkar et Pereira, 2005). Cette méthode montre des résultats positifs en termes de santé des plantes, l'augmentation des taux de croissance, la résistance aux ravageurs et des rendements plus élevés de 25 à 30% (Dhargalkar et Pereira, 2005; Venugopal, 2009).

### **2.9.4 Utilisations médicale et pharmaceutique**

Les pays maritimes ont eu recours aux algues comme vermifuge, anesthésique et pommade pour le traitement de la toux, des blessures, la goutte et le goitre (Dhargalkar et Pereira, 2005).

Sur le marché pharmaceutique environ 40 médicaments sont déjà fabriqués à partir de matières chimiques d'algues. En ce qui concerne l'agar-agar son usage est répandu dans la préparation de milieux de cultures nécessaires pour la microbiologie. Il est aussi employé avec succès dans le traitement de la constipation.

En pharmacologie, il est employé comme agent émulsionnant dans l'homogénéisation des huiles et comme l'agar, c'est un hémostatique efficace. (Naegelé et Naegelé, 1967).

## 2.10 Le genre *Asparagopsis*

*Asparagopsis* est un genre d'algue rouge (*Rhodophyta*) appartenant à la classe des Florideophyceae et à la famille des Bonnemaisoniaceae. Le genre est connu pour son incertitude taxonomique et sa nomenclature dynamique. En effet, au sein du genre, huit espèces nominales ont été répertoriées parmi lesquelles quatre sont actuellement acceptées : *A. armata* Harvey, *A. taxiformis* (Delile) Trevisan de Saint-Léon, *A. sanfordiana* f. *amplissima* Setchell & Gardner et *A. svedelii* W.R.Taylor. (Guiry *et al.*, 2014).

L'algue sur laquelle nos recherches ont porté, *Asparagopsis armata*, appartient à la classe des algues rouges (*Rhodophyta*). Ont été reconnus depuis la fin des années 1800 pour être une riche source d'halogènes, en particulier le brome et l'iode.

*Asparagopsis armata* a été décrite pour la première fois sur la côte ouest australienne (Harvey, 1854) et est également présente naturellement en Nouvelle-Zélande (Adams 1994). L'espèce est connue pour avoir été introduite dans le nord-est de l'Atlantique et en Méditerranée dans les années 1920, probablement depuis l'Australie (Feldmann & Feldman 1939, Mineur *et al.* 2010). (Laury Dijoux, 2014).

### 2.10.1 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. 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). (J. Cabioc'h *et al.*, 2006).



**Figure 10:** *Asparagopsis armata* (source : [www.nonnativespecies.org](http://www.nonnativespecies.org)).

### **2.10.2 Caractéristiques d'identification**

Algue rouge caractérisée par deux stades morphologiquement différents au cours de son développement, à savoir un stade gamétophyte et un stade tétrasporophyte. Ses principaux stolons nus et cylindriques (mesurant 1 mm de large, 200 mm de long) sont ramifiés de manière irrégulière et présentent des frondes touffues. Ses rameaux inférieurs sont longs et munis de crochets en forme de harpon.

### **2.10.3 Habitat et éléments d'identification sur le terrain**

Au stade gamétophyte, elle est de couleur pâle rouge violacé et elle connaît une dégénération rapide hors de l'eau, devenant nettement orange. Elle se développe en tant qu'algue épiphyte fixée sur d'autres espèces d'algues, surtout la *Corallina sp.* Au stade tétrasporophyte, c'est une algue rouge brunâtre ramifiée et filamenteuse, formant des touffes cotonneuses denses de 15 mm de diamètre.

Généralement, celle algue se développe sur les fonds rocheux au niveau de l'étage infralittoral, de la surface jusqu'à 40 m de profondeur.

### **2.10.4 Utilisation**

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

### **2.10.5 Taxonomie**

Les algues rouges, ou Rhodophycées, sont très diversifiées et regroupent entre 5000 et 6000 espaces réparties dans environ 680 genres. Elles comprennent deux sous-divisions, les bangiophycées, et les floridéophycées dont l'organisation végétative (Van den hoek et al., 1995) est différente, les premières pouvant être qualifiées de « primitives ». *Asparagopsis armata* Harvey (Harvey, 1855), est une algue rouge marine pluricellulaire, dont la taxonomie complète est suivante :

Division : Rhodophyta

Classe : Rhodophyceae

Sous –classe : Florideophyceae

Ordre : Bonnemaisoniales

Famille : Bonnemaisoniaceae

Genre : *Asparagopsis*

Espèce : *Asparagopsis armata*

### 2.10.6 Reproduction

Dans le cas d'*Asparagopsis*, la reproduction se fait suivant un cycle trigénétique (alternance de trois générations) :

La première génération est sexuée, et se présente sous forme de gamétophytes à  $n$  chromosomes (haploïdes). Le gamète femelle demeure hébergé par le gamétophyte et l'œuf issu de la fécondation engendre, sur le gamétophyte porteur, une génération parasite à développement réduit : le carposporophyte (deuxième génération, asexuée) (Cabioc'h *et al.*, 1992). Ce carposporophyte à  $2n$  chromosomes formera des carpospores qui germeront pour donner la troisième génération, ou tétrasporophyte, diploïde, et qui fournit des spores (tétraspores) dont le développement générera à nouveau des gamétophytes.

Dans notre cas le cycle est trigénétique hétéromorphe, le tétrasporophyte étant très différent des gamétophytes. L'algue *Asparagopsis armata* représente la phase gamétophyte d'*Asparagopsis*, alors que *Falkenbergia rufonolosa* est la génération tétrasporophytique de cette algue. Ces deux générations sont dissemblables morphologiquement, ce qui est à l'origine de leur appellation différente, puisque pendant longtemps elles ont été prises pour des espèces distinctes. (Garon-Lardiere. S, 2004).

En fin, il existe un autre type de propagation de l'espèce *Asparagopsis*. Il s'agit de la multiplication végétative qui consiste à générer, à partir d'une partie du thalle qui se détache et se fixe ailleurs, un nouvel individu. (Garon-Lardiere. S, 2004).

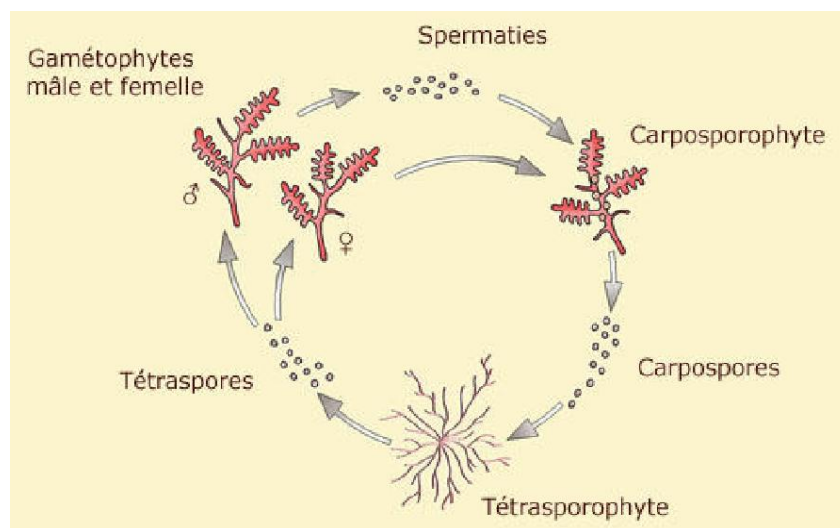


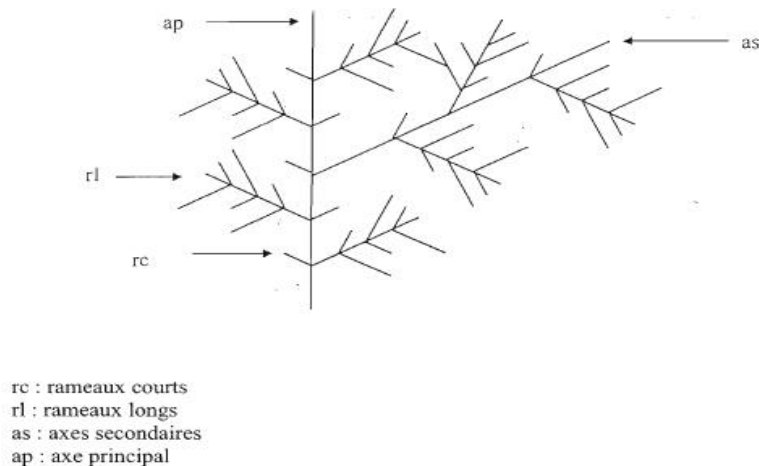
Figure 11: Cycle de reproduction *Asparagopsis armata* (source : site web : [www.mer-littoral.org](http://www.mer-littoral.org)).

### 2.10.7 Cytologie

*Asparagopsis armata*, phase gamétophytique d'*Asparagopsis*, est une espèce annuelle. Cette algue photophile se développe au niveau d'infralittoral supérieur, entre la

surface et dix mètres de profondeur, dans des zone modérément battus (mode abrité) (Cabioc'h *et al.*, 1992). Elle est le plus souvent épiphyte d'autre algue, et colonise facilement les substrats artificiels. (Garon-Lardiere. S, 2004).

Son thalle se présente sous forme de touffes roses au contour pyramidal de 15 à 30 cm de long. Il est ramifié et est constitué par une alternance de rameaux longs à croissance indéfinie, de rameaux courts, encore appelés brachyblastes, et de rameaux épineux, en forme de « harpon », par l'intermédiaire desquels les frondes d'*Asparagopsis armata* s'accrochent aux algues environnantes. Ces deux derniers rameaux ont une croissance limitée (Figure 2).



**Figure 12 :** Ramification du thalle chez *Asparagopsis armata* (Bonin et Hawkes 1987).

Les rameaux longs naissent à partir d'une cellule initiale terminale (apicale) qui génère une file de cellule axiale très allongées constituant le filament axial. La structure du thalle uni axiale est donc formée par un tube creux, constitué par ce filament axial et limité par un cortex cellulaire dans (Feldmann et Feldmann, 1939).

La ramification des rameaux longs est générée par le cloisonnement oblique des cellules axiales, donnant naissance à deux cellules péri axiales opposées. Chacune va alors générer un filament axial latéral qui va se développer soit en rameaux courts pour l'un, soit en un nouveau rameau long à croissance indéterminée ou axe secondaire pour l'autre, ce dernier ressemblant à l'axe principal (Bonin et Hawkes, 1987 ; Feldmann et Feldmann, 1939 ; Womersley, 1996). Les rameaux courts (brachyblastes), quant à eux, ont une structure plus simple (Feldmann et Feldmann, 1942). Ils sont formés d'une seule file de cellules qui se divisent ensuite par des cloisons parallèles à l'axe du rameau pour donner naissance à une cellule centrale étroite (axe du brachyblaste) et à trois cellules plus large

entourant le filament axial et constituant les cellules péricentrales .Ces dernières ne sont pas disposées toutes les trois au même niveau, Mais alternent régulièrement.

Enfin, les rameaux épineux sont généralement disposés par paire à la base des axes secondaires, et sont produits par des cellules axiales successives. Leur structure est identique à celle des rameaux longs, mais ils sont assimilés à des rameaux à croissance définie.

## *Matériels et méthodes*

## 1. Matériels

### 1.1 Présentation du site de prélèvement et méthode d'échantillonnage

Les prélèvements d'algue ont été effectués pendant le mois de Mars 2015 à Salamandre (Mostaganem, 0°55'38'' longitude est et 36°24'29'' l'altitude Nord) situé sur la côte Méditerranéenne Algérienne voir Figure 13. Les prélèvements ont été faits à marée basse (0.5-1 mètre de profondeur).

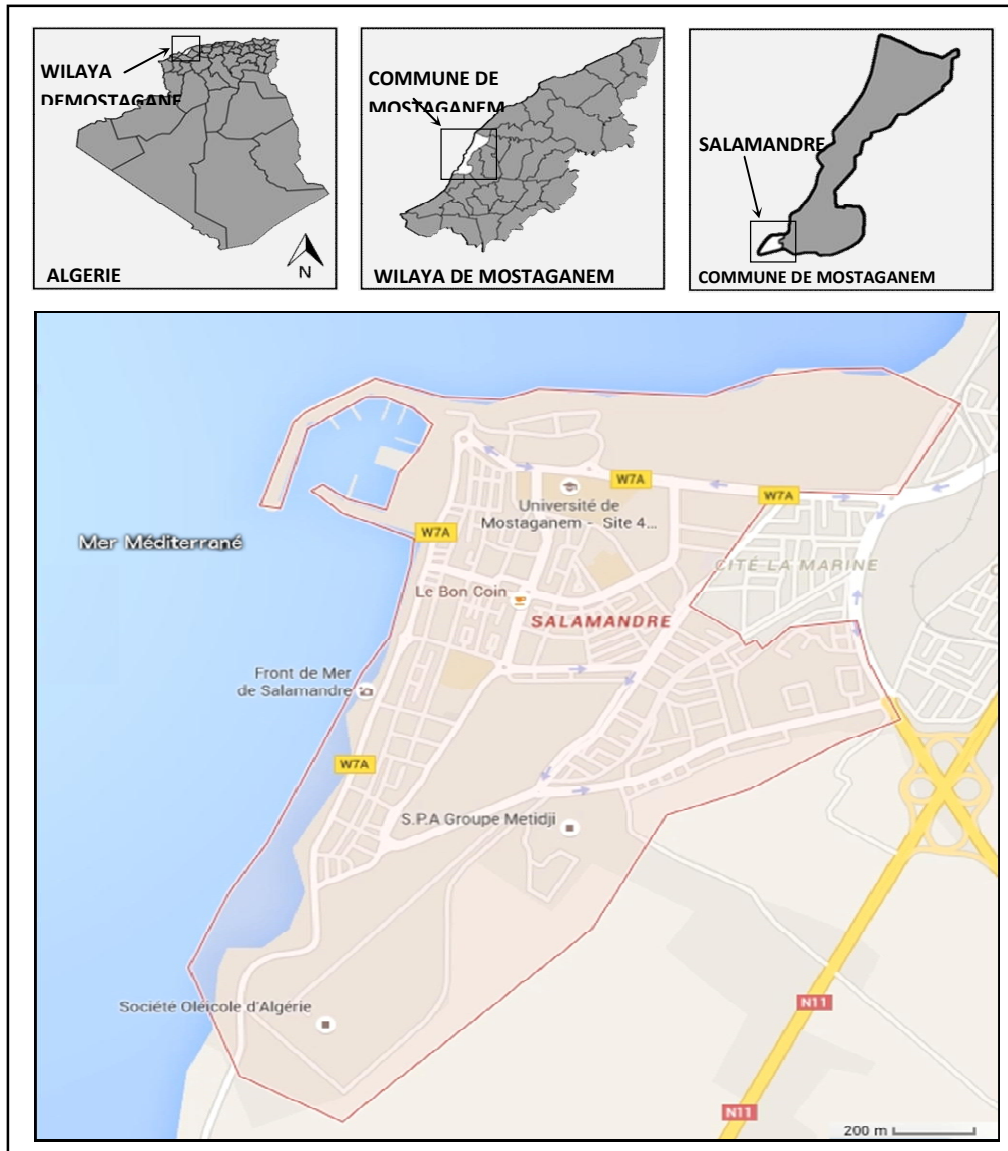


Figure13 : Station de la récolte de l'algue rouge marine *Asparagopsis armata* (Wilaya de Mostaganem ; Salamandre) (Google Maps, 2015) [www.googlemaps.com](http://www.googlemaps.com)

L'algue *Asparagopsis armata* a été récoltée manuellement au moment de la marée basse, le lieu et la période de la récolte influencent sur l'activité anti- microorganismes de l'algue.

Les algues fraîches récoltées ont été rincées avec de l'eau de mer sur place afin d'éliminer tout corps étranger qui pourrait influencer l'évaluation des activités biologiques et transportée au laboratoire dans des sacs en plastique, elles sont par la suite séparées, identifiées puis séchées à température ambiante à l'obscurité pendant plusieurs jours.



-A-



-B-

**Figure 14 :** Représente l'algue rouge *Asparagopsis armata* (Originale 2015)

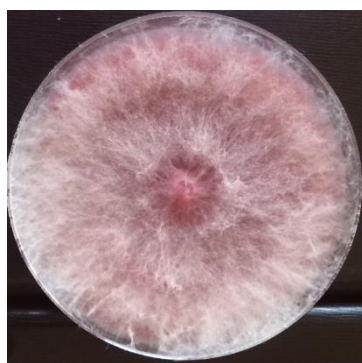
A : à l'état fraîche

B : à l'état broyer

## 1.2 Souche fongique testée

La souche de *Fusarium graminearum* a été fournie par le laboratoire de phytopathologie du département de la biologie à l'université Amar Thelidji Laghouat (Figure 15). Il s'agit d'un champignon pathogène pour les céréales.

La souche est maintenue sur milieu PDA (gélose glucosée à l'extrait de pomme de terre), stérilisé 20 min à 120°C a été utilisé pour préparer l'inoculum fongique et pour le test antifongique.



**Figure 15 :** La souche de *Fusarium graminearum* (original 2015)

## 2. Méthodes

### 2.1 Préparation des extraits d'algue

10 g de cette poudre ont introduits dans des flacons en verre contenant 100 mL de solvants de polarité différentes (méthanol, hexane, dichlorométhane et acétone).

Après 24 heures de macération à température ambiante et sous agitation (250 rpm) le contenu des flacons est filtré à l'aide du papier Wattman N°1. Les filtrats ainsi obtenus sont évaporé à sec sous vide à l'aide d'un évaporateur rotatif réglé à 40°C. Les résidus secs sont récupérés dans du méthanol pour une concentration finale de 100 g/l. Les extraits d'algue sont conservés à 4°C, dans des tubes en verre hermétiquement fermés.

Le rendement d'extraction est calculé selon la formule suivante :

$$R (\%) = \left( \frac{M}{M_0} \right) \times 100$$

Avec :

R : Rendement exprimé en %

M : Masse en gramme du résidu sec résultant

M<sub>0</sub> : Masse en gramme du matériel végétal à traiter (10 g)

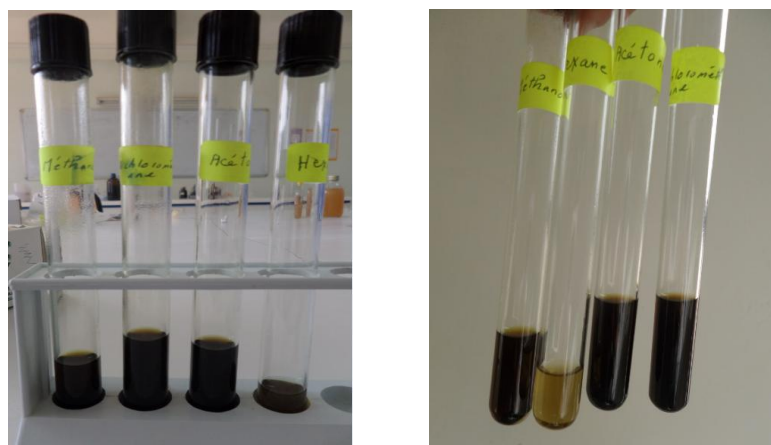


Figure16 : Représente les extraits préparés (original 2015)

### 2.2 Détermination de l'activité antifongique

Une série de dilution des extraits d'algue a été préparé dans du méthanol pour une gamme de concentration comprises entre 6.25 et 100 mg/mL.

Le milieu de culture PDA est coulé dans des boîtes de pétri de 90 mm de diamètre et après solidification de la gélose, 150 µl de chaque dilution d'extrait algal ou de méthanol pur sont déposés au centre de la boîte puis à l'aide d'un étalé soigneusement par écouvillonnage.

Un disque de mycellium de *Fusarium graminearum* prélevé préalablement à partir d'une culture de 7 jours est déposé à la surface de la boîte de pétri. Les boîtes de pétri sont incubées pendant 5 jours à 25°C. L'inhibition de la croissance du champignon se traduit par l'apparition d'une zone visible à l'œil nu et dont on peut déterminer le diamètre à l'aide d'un pied à coulisse. L'effet sur les champignons est évalué par le calcul du taux d'inhibition suivant la formule utilisée par Leroux et Credet (1978) et Benmeddour tarek *et al.* (2015) comme suit

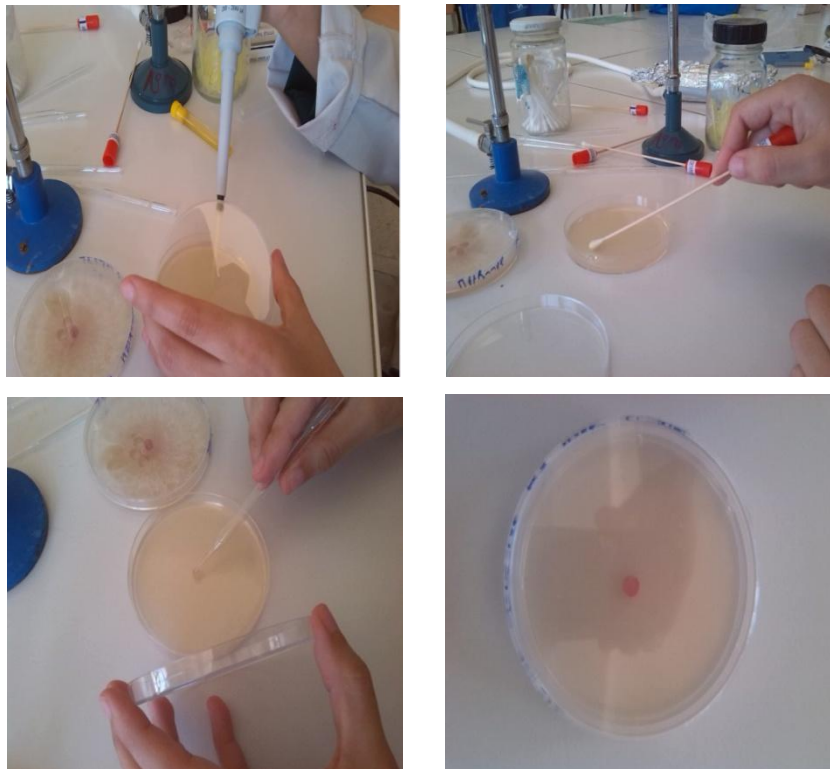
$$T_i = [(N)_T - N_E] / N_T \times 100$$

Avec :

**Ti**: Taux d'inhibition de la croissance (%) ;

**NT**: diamètre (mm) du témoin ;

**NE** : Nombre ou diamètre de colonies fongiques en présence de l'extrait.



**Figure 17** : Technique utilisé pour la mesure de l'activité antifongique de l'extrait d'algue rouge marine *Asparagopsis armata*.

## *Résultats et discussion*

## 1. Effet du solvant d'extraction

L'effet de la polarité du solvant sur le rendement d'extraction a été étudié. D'après le Tableau (01), on remarque que le rendement d'extraction dépend étroitement de la nature du solvant utilisé. Un rendement d'extraction élevé est obtenu avec le méthanol. Ce dernier permet donc d'extraire plus de métabolites par rapport aux autres solvants. Des rendements faibles ont été obtenus avec les solvants apolaires (hexane et dichlorométhane).

**Tableau 01** : Représente le rendement des extraits exprimés en pourcentage (%)

| Solvant d'extraction | Rendement<br>(g/100 g de matière sèche) |
|----------------------|---|
| Hexane               | 0,26                                    |
| Méthanol             | 10,5                                    |
| Acétone              | 4,76                                    |
| Dichlorométhane      | 0,115                                   |

## 2. Effet du solvant d'extraction sur l'activité antifongique de l'extrait d'*Aspragopsis armata*

Nous avons pu déterminer l'effet du solvant d'extraction sur l'activité antifongique de l'extrait d'*Asparagopsis armata* et les résultats ainsi trouvés sont regroupés dans le Tableau (02). Le méthanol n'a pas inhibé la croissance du champignon *Fusarium graminearum*.

L'extrait méthanolique exerce une activité antifongique élevée sur ce champignon. Une activité antifongique modérée a été observée avec l'extrait acétonique. On constate que l'activité antifongique de l'extrait d'algue rouge préparé avec l'hexane n'a pas inhibé la croissance du champignon *Fusarium graminearum* (Figure 18).

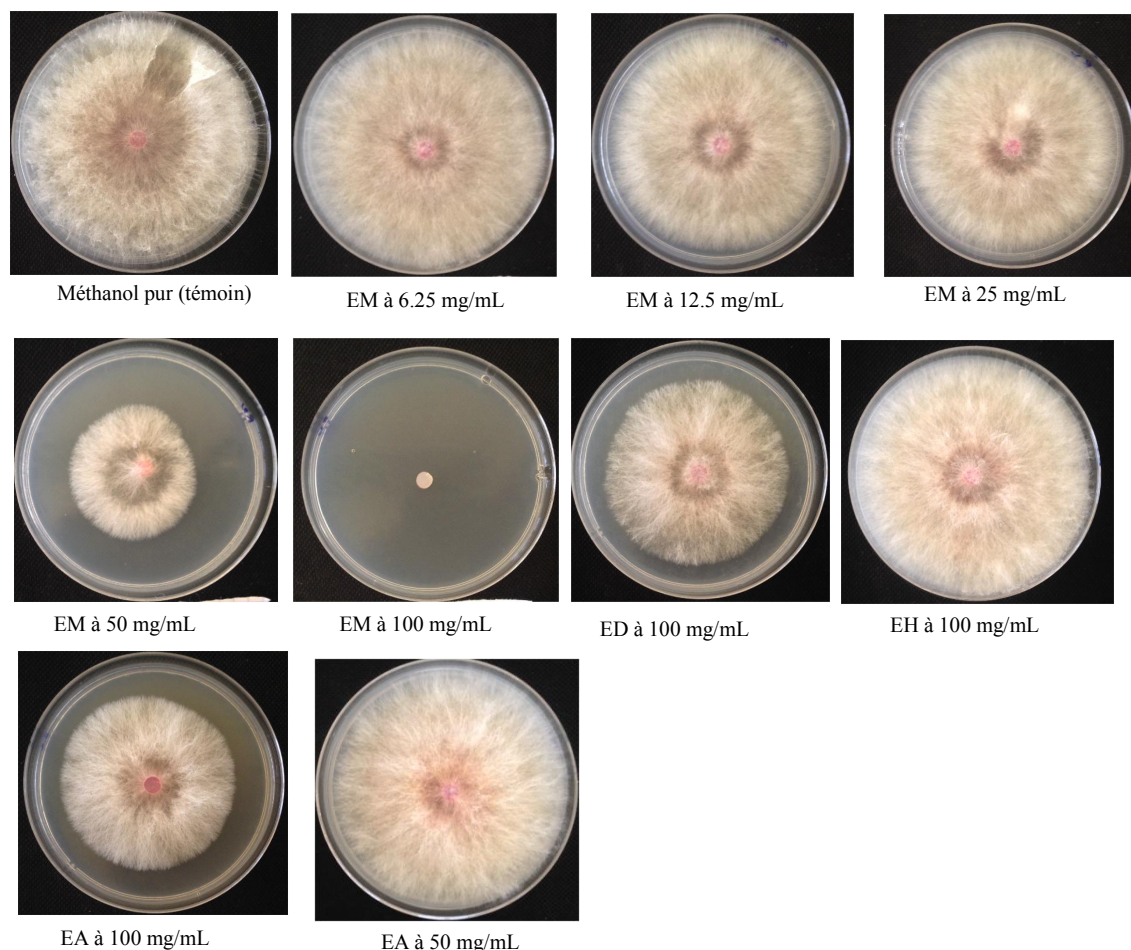
D'après ces résultats, les substances antifongiques présentes dans l'algue rouge sont probablement des composés relativement apolaires.

L'inhibition de la croissance de *Fusarium graminearum* par les extraits d'algue rouge peut être liée à la présence des composés ayant un pouvoir antifongique comme les bromophénols, les terpénoïdes brominés et les composés acétylés, les acides gras halogénés (Craigie et Gruenig, 1967; Fenical, 1975 ; 1982 ; Kladi *et al.*, 2004 ; Dembitsky et Srebnik, 2002).

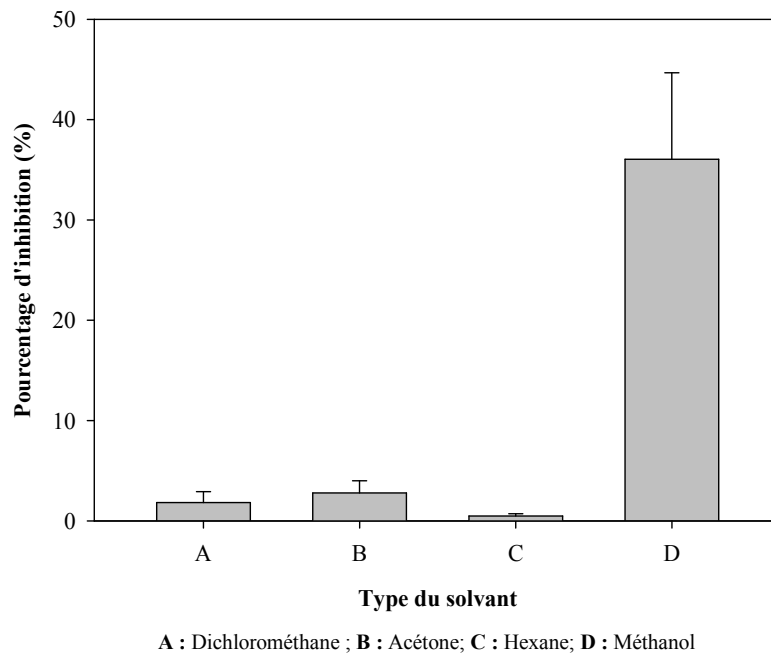
D'après Moudjahid *et al.* (2004), ont trouvé que les algues rouges (Rhodophycées) produisent des substances de natures terpènes, acétogénines et halogénés qui sont des composés produits par la polymérisation des acétates. Ces composés possèdent une activité antimicrobienne par effet cytotoxique.

Ces mêmes auteurs suggèrent que l'effet antifongique des extraits d'algues rouges vient suite à l'interaction des principes actifs avec les lipides au niveau de la paroi mycélienne entraînant après leur peroxydation des altérations morphologiques des thalles du champignon (Moujahid. *et al.*, 2004). Le pouvoir antifongique de l'extrait méthanolique et acétonique augmente avec l'augmentation de la concentration de l'extrait. A 50 mg/mL, l'extrait méthanolique cause une inhibition de la croissance mycélienne d'environ 50%, tandis que l'extrait acétonique provoque un taux d'inhibition de la croissance de 16.5%. (Figure 19)

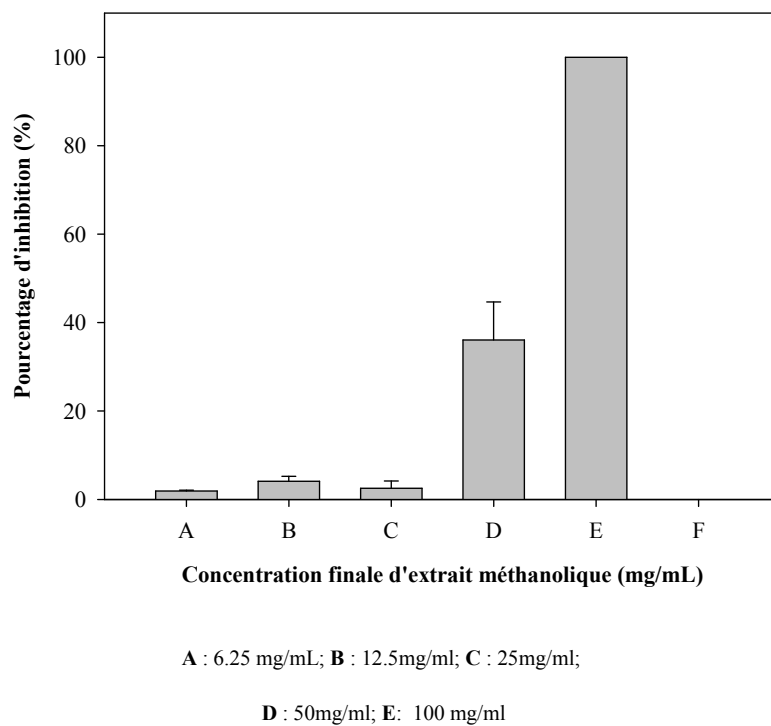
Un taux d'inhibition relativement faible (10%) est signalé pour l'extrait dichlorométhanique à 100 mg/mL. Un effet fongicide a été observé avec l'extrait méthanolique à 100 mg/mL. (figure20) Plusieurs travaux ont montré que les algues marine rouge sont doués d'activité antifongique et antibactérienne (Souhaili *et al.*, 2004 ; Zinedine *et al.*, 2004 ; Badea, 2009 ; Elouatassi *et al.*, 2012 ; Moujahid. A *et al.*, 2004).



**Figure 18 :** Résultats de l'effet de l'extrait d'algue marine rouge *Asparagopsis armata* obtenu avec les différents solvants sur la croissance de *Fusarium graminearum* en milieu PDA (EA : extrait acétonique ; EM : extrait méthanolique ; ED : extrait dichlorométhanique ; EH : extrait hexanique).



**Figure 19 :** Le taux d'inhibition de la croissance du *Fusarium graminearum* par les différents solvants à la concentration 50mg/ml



**Figure 20 :** Le taux d'inhibition de la croissance du *Fusarium graminearum* par l'extrait méthanolique aux concentrations testées

**Tableau 02 :** Effet du solvant d'extraction sur le pouvoir antifongique de l'extrait d'Algue marine rouge *Asparagopsis armata* sur *Fusarium graminearum*.

| Solvant d'extraction | Concentration<br>(mg/ml) | Diamètre de<br>croissance<br>(mm) |
|----------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Hexane               | 0*                       | 80±0.00                           |
|                      | 6.25                     | 78.79±1.00                        |
|                      | 12.5                     | 79.49±0.39                        |
|                      | 25                       | 78.97±0.85                        |
|                      | 50                       | 79.62±0.18                        |
|                      | 100                      | 79.57±0.59                        |
| Méthanol             | 0*                       | 80±0.00                           |
|                      | 6.25                     | 78.46±0.14                        |
|                      | 12.5                     | 76.72±0.90                        |
|                      | 25                       | 77.98±1.32                        |
|                      | 50                       | 51.16±6.89                        |
|                      | 100                      | 0.00±0.00                         |
| Acétone              | 0*                       | 0                                 |
|                      | 6.25                     | 80±0.00                           |
|                      | 12.5                     | 79.68±0.44                        |
|                      | 25                       | 79.03±0.64                        |
|                      | 50                       | 77.77±0.97                        |
|                      | 100                      | 66.80±8.50                        |
| Dichlorométhane      | 0*                       | 80±0.00                           |
|                      | 6.25                     | 80±0.00                           |
|                      | 12.5                     | 79.82±0.05                        |
|                      | 25                       | 77.67±0.67                        |
|                      | 50                       | 78.54±0.87                        |
|                      | 100                      | 72,27±8.77                        |

\* : Méthanol pur (control négatif)

## *Conclusion*

Dans notre étude nous avons évalué l'activité antifongique des extraits de l'algue rouge *Asparagopsis armata* obtenus par différents solvants (acétone, dichlorométhane, méthanol et l'hexane) vis-à-vis du champignon phytopathogène *Fusarium graminearum*.

La polarité du solvant d'extraction influe sur le pouvoir antifongique de l'extrait de l'algue rouge *Asparagopsis armata*. Les solvants plus ou moins polaires (méthanol et acétone) semblent être les meilleurs solvants d'extraction vue leur activité antifongiques les plus élevée par rapport aux autres solvants.

L'extrait méthanolique inhibe efficacement la croissance mycélienne du *Fusarium graminearum* ceci est due à la présence des composés halogénés et/ou des substances à caractère lipophile. Par contre, l'extrait hexanique n'a pas inhibé la croissance de ce champignon.

On peut conclure, que l'algue rouge marine *Asparagopsis armata* est une source de nouveaux agents de lutte contre la fusariose des céréales.

En perspectives, il est envisageable d'une part d'isoler et d'identifier les composés responsables de l'activité antifongique de l'extrait méthanolique et d'autre part d'effectuer des essais de lutte contre la fusariose *in situ* et sur la production de mycotoxines.

## *Références bibliographiques*

## -A-

- Arsan MR, Eraky Amal MI.** 2011. Aggressiveness of certain *Fusarium graminearum* isolates on wheat seedlings and relation with their trichothecene production. *Plant Pathology* 10(1), 36-41.
- Audenaert K, Van Broeck R, Bekaert B, De Witte F, Heremans B, Messens K, Höfte M, Haesaert G.** 2009. *Fusarium* head blight (FHB) in Flanders: population diversity, inter-species associations and DON contamination in commercial winter wheat varieties. *European Journal of Plant Pathology* 125, 445–458.
- Anne-Laure BOUTIGNY.** 2007. Etude de l'effet de composés du grain de blé dur sur la régulation de la voie de biosynthèse des trichothécènes B : purification de composés inhibiteurs, analyse des mécanismes impliqués. *Thèse doctorat*, université bordeaux 1. France.
- 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*, Université Hassan II- Casablanca, Maroc.

## -B-

- Badea, V., Balaban, D.P., Rapeanu, G., Amariei, C., Badea, C.F. (2009).** The antibacterial activity evaluation of *Cystoseira barbata* biomass and some alginates upon bacteria from oropharyngeal cavity. *Romanian Biotechnological Letters Vol. 14, No. 6, pp. 4851-4857*
- Bansemir, A., Blume, M. ; Schroder, S.; Lindequist, U.** 2006. Screening of cultivated seaweeds for antibacterial activity against fish pathogenic bacteria. *Aquaculture* 252 : 79 – 84.
- Burtin P.** 2003. Nutritional value of seaweeds. *Electronic Journal of Environmental Agricultural and Food Chemistry*, 2 (4): 498-503.
- Belyagoubi larbi.** 2006. Effet de quelques essences végétales sur la croissance des moisissures de détérioration des céréales. 2006. *Thèse de magister*, université abou bakr belkaid-Tlemcen. Algérie.
- Brown NA, Urban M, Van De Meene AML, Hammond-Kosack KE.** 2010. The infection biology of *Fusarium graminearum*: Defining the pathways of spikelet to spikelet colonisation in wheat spikes. *Fungal biology* 114, 555-571.
- Bergstrom G.C. et Shields E.J.** 2002. Atmospheric spore dispersal and regional epidemiology of the *Fusarium* head blight fungus. *Phytopathology* pp 92-93.
- Belmokhtar Mansouria.** 2012. *Cystoseira amentacea v. stricta* : indicateur de la qualité des eaux côtières de l'ouest algérien. *Thèse de Magister*. Université d'Oran Es-Senia.
- Benmeddour Tarek., Laouar Hocine., Benabdi Amira Afaf., Brahimi Safa.** evaluation de l'activité antibactérienne et antifongique des extraits de trois espèces du genre *allium* : *a. cepa*, *fistulosum* et *sativum* cultivées dans le périmètre agricole de doussen (wilaya de biskra). *Courrier du Savoir – N°19, Mars 2015, pp.09-14.*
- Burreson, B.J., Moore, R.E., Roller, P.P.** 1976. Volatile halogen compounds in the alga *Asparagopsis taxiformis* (Rhodophyta) . *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 24: 856-861.
- Barsanti L. Gualtieri P.** 2006. *Algae: Anatomy, biochemistry and biotechnology*. Ed. *CRC press Taylor & Francis group*. Boca Raton, London and New York, P: 320.
- Bonjean., Picard.** 1990. *Les céréales à paille : origine, histoire, économie, sélection*. Paris, Softword – Groupe ITM. 208 p.

**Boudouresque, C.F ; Meinesz, A ; Verlaque, M ; Cabioc'h, j ; Floch, J-Y; le Toquin, A.** (Méditerranée / Manche et Atlantique). 2006. Guide des algues des mers d'Europe. 2<sup>ème</sup> Édition. Délachaux et Niestlé. 272 pages.

**Bonin, D.R. & Hawkes, M.W.** 1987. Systematics and life histories of New Zealand Bonnemaisoniaceae (Bonnemaisoniales, Rhodophyta): The genus *Asparagopsis* N.Z. J. Bot. 25: 577-590.

**Boudjouef Mourad.** 2011. Etude de l'activité antioxydante et antimicrobienne d'extraits d'*Artemisi campestris* L. Mémoire de Magister. Université Ferhat Abbas, Sétif, Algérie.

-C-

**Chabasse D., Bouchara J.P., Gentile L., Brun S., Cimon B., Penn P.** 2002. Les moisissures d'intérêt médical. (edn) Bioforma. Paris. 160p.

**Cabioc'h, J., Floch, J.-Y., Le Toquin, A., Boudouresque, C-F., Meinesz, A. & Verlaque, M.** 1992. Guide des algues des mers d'Europe : *Delachaux et Niestlé*. pp.232.

**Champeil, A., Doré, T., Fourbet, J.F.** 2004. *Fusarium* head blight: epidemiological origin of the effects of cultural practices on head blight attacks and the production of mycotoxins by *Fusarium* in wheat grains. *Plant Science* 166, 1389-1415.

**Craigie JS & Gruenig DE** (1967) Bromophenols from red algae. *Science* 157: 1058-1059.

**Cristina tabuc.** 2007. flore fongique de différents substrats et conditions optimales de production des mycotoxines. *Thèse de doctorat*, Institut national polytechnique de Toulouse . Université de Bucarest. Roumaine.

**Cumagun CJR, Bowden RL, Jurgenson JE, Leslie JF, Miedaner T.** 2004. Genetic mapping of pathogenicity and aggressiveness of *Gibberella zeae* (*Fusarium graminearum*) toward wheat. *Phytopathology* 94, 520-526.

-D-

**Dembitsky, V.M. and M. Srebnik,** Natural halogenated fatty acids: their analogues and derivatives, *Prog. Lipid Res.*, 41, 315-367, 2002.

**Didier hatsch.** *Interaction hôte/pathogène : étude du modèle humulus lupulus / fusarium graminearum. Identification, génomique et transcriptomique du pathogène.* 2004. *Thèse de doctorat.* Université de Louis Pasteur Strasbourg. France.

**Diamond H. & Cooke B.M.** 2003. Preliminary studies on biological control of the *Fusarium* ear blight complex of wheat. *Crop Protection*, 22, 99-107.

**Dhargalkar V. K. and Pereira N.** 2005. Seaweed: Promising plant of the millennium. *Science and culture*, 71: 60-66.

**Dhargalkar V.K. and Verlecar X.N.** 2009. Southern ocean seaweeds: A resource for exploration in food and drugs. *Aquaculture*, 287: 229-242.

-E-

**Ellis S. D., Boehm M. J., Mitchell T. K.** 2008. Fungal and Fungal-like Diseases of Plants *The Ohio State University Fact Sheet*.

## -F-

- Frestedt, J., Zenk, J., Kuskowski, M., Ward, L., Bastiana, E.** 2008. A whey-protein supplement increases fat loss and spares lean muscle in obese subjects: a randomized human clinical study. *Nutrition and Metabolism*, 5(8):1-7.
- Fracl L., Shaner G., Bergstrom G., Gilbert J., Pedersen W., Dill-Macky R, Corwin B.** 1999. *Fusarium* head blight and related mycotoxin contamination in wheat. Food and Chemical Fusarium species associated with pokkah boeng on sugarcane". *Master of Science*. Malaysia.
- Feldmann, J. & Feldmann, G.** 1939. Recherches sur la structure de cellules axiales de *l'Asparagopsis armata* Harvey. *C.R.Acad.SC.208.1743-1745*.
- Feldmann, J., Feldmann, G.** 1942. Recherches sur les Bonnemaisoniaceae et leur alternance de génération. *Ann. Sc. Nat.* 11.76-775.
- Fenical W.** (1975). Halogenation in the Rhodophyta. A review. *Journal of Phycology* 11,245-259.

## -G-

- Garon-Lardiere, S.** 2004. Etude structurale des polysaccharides pariétaux de l'algue rouge *Asparagopsis armata* (Bonnemaisoniales). Thèse de Doctorat Spécialité : Chimie. Université de Bretagne Occidentale. 226 pages.
- Genovese, A., Faggio, C., Gugliandolo, C., Torre, A., Spanò, A., Morabito M., Maugeri T.L.** 2012. In vitro evaluation of antibacterial activity of *Asparagopsis taxiformis* from the Straits of Messina against pathogens relevant in aquaculture. *Marine Environmental Research*, 73: 1-6.
- Guenther J, Trail F.** 2005. The development and differentiation of *Gibberella zeae* (anamorph: *Fusarium graminearum*) during colonization of wheat. *Mycologia*, 97(1), 229-237.
- Gonzalez, R., Rodriguez, S., Romay, C., Ancheta, O., Gonzalez, A., Armesto, J., Ramirez, D., Merino, N.** 1999. Anti-inflammatory activity of phycocyanin extract in acetic acid-induced colitis in rats. *Pharmacological Research*, 39 (1) :55-59.
- Guillaume, P.** 2010. Caractérisation biochimique d'exopolymères d'origine algale du bassin de Marennes-Oléron et étude des propriétés physico-chimiques de surface de microorganismes impliquées dans leur adhésion. Thèse de doctorat en biochimie, université de la rochelle, France.
- Guiry, MD., Guiry, G.M.** 2014. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org> ; searched on (12/06/2014).
- Guezzn Abdeldjelil.** 2014. Etude de la variation saisonnière de l'activité antimicrobienne des extraits bruts de l'algue brune *Cystoseira stricta* de la côte ouest algérienne. Evaluation de la capacité antioxydante totale. *Thèse de master*. Université Aboubekr Belkaid, Tlemcen. Algérie.

## -H-

- Harvey, W. H.** 1855. Some account of colony of western Australia. *Transactions of the Royal Irish Academy* 22: 525-566.
- Hornsey, 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.
- Hamadache.A.** 2001. Stades et Variétés de Blé. *ITGC*. Alger.algerie. 7p.
- Hortense, F.** 2011. Les applications et la toxicité des algues marines. These de doctorat en pharmacie. Université de Limoges. France.

## -J-

**J. Cabioc'h., J. -Y. Floc'h., A. Le Toquin., C.F. Boudouresque., A. Meinesz., M. Verlaque.** 2006. Guide des algues des mers d'Europe Manche et Atlantique Méditerranée. Delachaux et Niestlé SA, Paris, France.

## -K-

**Krska R.** 2009. Mycotoxins. *Anal Bioanal Chem.* 395: 1203–1204.

**Khan N.I., Schisler D.A., Boehm M.J., Lipps P.E. & Slininger P.J.** 2004 Field testing of antagonists of *Fusarium* head blight incited by *Gibberella zeae*. *Biological Control*, 29, 245-255.

## -L-

**Lahaye, M.** 1991. Marine algae as source of fibres: determination of soluble and insoluble dietary fibre content in some sea vegetables. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 54:587-594.

**Leclerc F. C., Papon N., Noel T., Villard J.** 2005. Moisissures et risques alimentaires (Mycotoxicooses). *Revue Francophone des Laboratoires*. 373 : 61-66.

**Leclerc, V.** 2010. Les secrets des algues. 1<sup>ère</sup> Edition Quae, p13.

**Leslie.JF., Summerel.A.** 2006. *The Fusarium laboratory manual*. 1<sup>ère</sup> édition Blackwell Publishing. Ioa. 369 p.

**Leonard.KJ., Bushnell.WR.** 2003. *Fusarium* head blight of wheat and barley. St. Paul, U.S.A.: APS Press.

**Leplat.J.** 2012. Développement saprotrophe de *Fusarium graminearum* : rôle respectif de différents habitats naturels du champignon dans le processus d'infection du blé en Bourgogne ; recherche d'indicateurs prédictifs du risque de fusariose. Thèse doctorat. Université Bourgogne

**Laury Dijoux.** 2014. La diversité des algues rouges du genre *Asparagopsis* en Nouvelle -Calédonie: Approches in situ et moléculaires. *Thèse de doctorat*. Université Pierre et Marie Curie. France.

## -M-

**Maro,D., Hebert, D., Gandon, R., Solier, L.** 1999. Dosage par spectromètre gamma de l'iode 129 dans les échantillons biologiques marines et terrestres, Application à des algues prélevées le long des côtes de la Manche: *Focus Serratus* et *Laminaria digitata*- *Radioprotection*, 34 (1): 13-24.

**McConnell, O., Fenical, W.** 1977. Halogen chemistry of the red alga *Asparagopsis*. *Phytochemistry*, 16: 367–374.

**MCMULLEN et al.** 1997. "Environmental conditions associated with *Fusarium* head blight epidemics of wheat and barley in the Northern Great Plains", USA. In: *Proceedings 1997*.

**Mahdi Nourdin.** 2011. *Essai de lutte biologique contre la fusariose vasculaire du palmier dattier(Phoenix dactyliferaL.)*. Thèse de Magister. Université de tizi ouzou.

**Marie-eve berube.** 2010. Effet du glyphosate sur la fusariose de l'épi chez le blé et l'orge selon différents travaux du sol. Université laval Québec. Canada.

**Mohamed, S., Hashim, S.N., Rahman, A.H.** 2012. Seaweeds : Asustainable functional food for complementary and alternative therapy. *Trends in Food Science &Technology*, 23 : 83-96.

**Marfaing H. et Lerat Y. (2007).** Des ressources marines: Les algues ont-elles une place en nutrition ? *Phytothérapie*, 2-5.

**MOUJAHID. A., BENCHARKI. B., HILALI. I., BAGRI. A., NAJIM.L.** Activités antibactérienne et antifongique des extraits d'algues marines d'origine marocaine. *Biologie & Santé* vol. 4, n° 2, 2004

## -N-

- Nabors, M.** 2009. Biologie végétale structure, fonctionnement et biotechnologies. nouveau nabors. 614 pages.
- Naegelé E. et Naegelé A.** 1967. Les algues. Ed. *Presses universitaire de France*. Paris, P127.
- Nelson P.E., Toussoun. T.A. & Marasas W.F.O.** 1983. *Fusarium species: An illustrated* Roquebert.M.F. (1998). *Taxonomie des moisissures : Méthodes de culture et techniques d'observation ; Identification*”, in “*Moisissures des aliments peu hydratés*”. Edition Tec & Doc, p. 39-95.
- Noureddine Elouatassi et bouchra louaste.** (2012). Etude in vitro de l'activité anti-*fusarium oxysporum* f.sp. lycopersici de l'algue marine *cystoseira tamariscifolia*. ScienceLib Editions Mersenne : volume 4, N° 120908 ISSN 2111-4706. P14.
- Nicolas Ballois.** 2012. Caractérisation de la diversité des espèces de *fusarium* et de leur potentiel mycotoxigène sur céréales françaises. *Thèse de Master*. Université de Lorraine. France.

-O-

- Otero, M., Cebrian, E., Francour, P., Galil, Savini.** 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-

- Pagnussatt Fernanda Arnhold, Del Ponte Emerson Medeiros, Garda-Buffon Jaqueline, Badiale Furlong Eliana.** 2013. Inhibition of *Fusarium graminearum* growth and mycotoxin production by phenolic extract from *Spirulina* sp. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 108 (2014) 21–26p6.
- Parry DW, Jenkinson P, McLeod L.** 1995. *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals— a review. *Plant Pathology* 44, 207–238. *Pathology* 108, 691-698.
- Parry D.W., Jenkinson P. & McLeod L.** 1995. *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals—a review. *Plant Pathology*. p. 44, 207-238.
- Pàdula, M., Boiteux, S.** 1999. Photodynamic DNA damage induced by phycocyanin and its repair in *Saccharomyces cerevisiae*. *Brazilian journal of Medical and Biological Research*.32 (9):1063-1071.
- Pamel E. V., Vlaemynek 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.
- Pereyra SA, Dill-Macky R, Sims AL,** 2004. Survival and Inoculum Production of *Gibberella zeae* in Wheat Residue. *Plant Disease* 88, 724-730.
- Person, J.** 2011. algue, filières du futur. Edition Adebitech. Ed 1, p4, 59.
- Prandini. A., Sigolo. S., Filippi. L., Battilani. P, Piva. G.** 2009. Review of predictive models for Proctor RH, Desjardins AE, McCormick SP, Plattner RD, Alexander NJ, Brown DW, 2002.

-R-

- Reboux G.** (2006). Mycotoxines : effets sur la santé et interactions avec d'autres composants
- Remirez, D., González, A., Merino, N., González, R., Ancheta, O., Romay, C., Rodriguaz, S.** 1999. Effet of phycocyanin in zymosan- Induced arthritis in mice phycocyanin as an antiarthritic compound. *Drug development Research*, 48 : 70-75.
- Ruppel 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.



**Yan, X., Chuda, Y., Suzuki, M., Nagat, T.** 1999. Fucoxanthin as the major antioxidant in *Hifikia fusiformis*, a common edible seaweed. *Bioschi Biotechnol Biochem*, 63(3) : 605-607.

-Z-

**Zinedine, A., Elakhdari, S., Faid, M., Benlemlih, M.,** 2004. Antifungal and antiaflatoxinogenic activity of the brown algae *Cystoseira tamariscifolia*. *J. mycol. méd.* 14. 4.201-205.

# *Annexes*

## 1. Composition des Milieux de Culture PDA

PDA : *potato dextrose agar*

| Ingrédients    | quantité |
|----------------|----------|
| Pomme de terre | 200g     |
| Glucose        | 20g      |
| Agar –Agar     | 20g      |
| Eau distillées | 1000ml   |
| pH = 7         |          |

Stérilisation à l'autoclave à température 120C° pendant 20 min.

عنوان المذكرة: دراسة تأثير مستخلص الطحلب البحري الأحمر *Asparagopsis armata* على *Fusarium graminearum*

المؤطر: هشام قوزي

الإسم: خديجة

اللقب: بن سعادة

حسينة

فلتان

**ملخص:** يهدف هذا العمل إلى دراسة تأثير مستخلص المذيب على النشاط المضاد للفطريات من مستخلص الطحلب البحري الأحمر *Asparagopsis armata* المأخوذ من ساحل مستغانم (سلمندر). تم استعمال الميثانول، الهكسان، ثنائي كلور الميثان و الأستون ك مذيب للمستخلص. الاستخلاص بواسطة النقع بالتبريد اظهر أن الميثانول أعطى أحسن مردود. تم اختبار تأثير المستخلصات العضوية للطحالب الحمراء على *Fusarium graminearum* المسبب لمرض *fusariose d'épi* الخاص بالحبوب وإنتاج السموم الفطرية باستخدام طريقة المسح على الوسط أغار. مستخلص الميثانول لديه نشاط عالي ضد الفطريات يليه مستخلص الأستون. هذا المستخلص يثبط نمو *Fusarium graminearum* بنسبة 50% للتركيز 50 ملغ / مل بحيث لوحظ أن معدل التثبيط بالنسبة للأستون حوالي 16.50% للتركيز 100 ملغ / مل . مستخلص الهكسان لم يكن له تأثير ضد الفطريات. الطحلب *Asparagopsis armata* هو مصدر للعامل المضاد للفطريات و الذي يمكن استخدامه لعلاج مرض *fusariose* الخاص بالحبوب و الناجم عن *Fusarium graminearum*.

الكلمات المفتاحية: *Asparagopsis armata*، الاستخلاص، المذيبات، *Fusarium graminearum*، مضاد للفطريات.

**Memory title:** The study of the effect of extract marine red algae *Asparagopsis armata* on *Fusarium graminearum*

**Name:** BENSAADA

**First name:** Khadidja

**Name:** FELTANE

**First name:** Hassina

**Directed by:** GOUZI Hicham

**Abstract :** The aims of this study was to evaluate the antifungal activity of the marine red algae *Asparagopsis armata* collected from Salamander beach (Mostaganem) against toxigenic fungi.

Four organic solvent, methanol, hexane, dichloromethane and acetone were used to prepare the crude extract from the red algae. A high yield extraction using cold maceration was obtained with methanol as solvent.

The effect of organic extracts of red algae were tested, *Fusarium graminearum* responsible for the Head Blight of cereals and production of mycotoxins using the diffusion method on the gelose environment was studied. The methanol extract have a high antifungal activity followed the acetonic extract. This extract inhibited the growth of *Fusarium graminearum* at 50% this is at a concentration of 50 mg/mL, whereas the inhibition rate was approximately 16.50%, observed for the acetonic extract at 100 mg / mL. The hexane extract has no antifungal effect.

The algae, *Asparagopsis armata* can be considered as a promising source of antifungal agent that can be used for treatment of the cereals *Fusarium* caused principally by *Fusarium graminearum*.

**Keywords:** *Asparagopsis armata*, extraction, solvents, *Fusarium graminearum*, antifungal.

**Titre du mémoire :** Etude de l'effet de l'extrait d'algue rouge marine *Asparagopsis armata* sur le *Fusarium graminearum*

**Nom:** BENSAADA

**Prénom:** Khadidja

**Nom:** FELTANE

**Prénom:** Hassina

**Encadreur:** GOUZI Hicham

**Résumé.** Ce travail a pour objectif d'étudier l'effet du solvant d'extraction sur l'activité antifongique de l'extrait d'algue marine rouge *Asparagopsis armata* récolté de la cote de Mostaganem (Salamandre).

Le méthanol, l'hexane, le dichlorométhane et l'acétone ont été utilisé comme solvant d'extraction. L'extraction par macération à froid montre que le méthanol donne le meilleur rendement.

L'effet des extraits organiques d'algue rouge ont été testé *Fusarium graminearum* responsable de la fusariose d'épi des céréales et de la production des mycotoxines à l'aide de la méthode de diffusion sur le milieu PDA.

L'extrait méthanolique a l'activité antifongique la plus élevée suivie de celle de l'extrait acétonique. Cet extrait inhibe la croissance de *Fusarium graminearum* à 50% à une concentration de 50 mg/mL tandis qu'un taux d'inhibition d'environ 16.50% à été observé pour l'extrait acétonique à 100 mg/mL. L'extrait hexanique n'a pas d'effet antifongique.

L'algue *Asparagopsis armata* est une source d'agent antifongique qui peut être utilisé pour le traitement de la fusariose des céréales causée par le *Fusarium graminearum*.

**Mots clés :** *Asparagopsis armata*, extraction, solvents, *Fusarium graminearum*, antifongique.