

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل  
Université Med –Seddik Benyahia-Jijel

Faculté des sciences de la nature et de vie

Département des sciences de l'environnement  
et des sciences agronomiques



كلية علوم الطبيعة والحياة

قسم علوم المحيط والعلوم الفلاحية

## Mémoire de fin d'études

En vue d'obtention de diplôme : **Master Académique**

**Filière** : Sciences Biologiques

**Option** : Toxicologie Fondamentale et Appliquée

Thème :

Etude de l'activité antioxydante *in vitro* des extraits bruts de  
l'algue brune : *Padina pavonica*

**Présenté par :**

- TIOUANE Roukia
- BOUZIDI Saida

**Jury de soutenance :**

**Président** : Mme AMIRA W.  
**Examineur** : Mlle BENTERROUCHE I.  
**Encadreur** : Mme MEKIRCHA F.

Session : Juillet 2018

Numéro d'ordre (réservé à la bibliothèque).....

# Remerciements

*Avant tout, nous remercions «ALLAH» le tout puissant de nous avoir donné la santé, la force, le courage, la patience, la persistance et nous a permis d'exploiter les moyens disponibles à fin d'accomplir ce modeste travail.*

*Nous désirons exprimer notre profonde et vive reconnaissance à notre encadreuse Mme **MEKIRCHA Fatiha**.*

*Nous remercions les membres du jury : Mme **AMIRA Widad** et Mlle **BENTEROUCHE Imane** d'avoir accepté de juger notre modeste travail.*

*Nous remercions également tous les ingénieurs de laboratoire qui nous ont beaucoup aidés à réaliser ce travail.*

*Nous exprimons nos profonds remerciements au monsieur **Dr ZOUAOUI** enseignant au niveau de département sciences technologiques université de Sétif et monsieur **Dr BOUDJERDA** le chef de département de la chimie université de Jijel.*

*Nous portons avec gratitude de reconnaissance pour l'ensemble des professeurs du Département de **Biologie** qui ont contribué à notre formation.*

*Nos derniers remerciements et ce ne sont pas les moindres, vont À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'aboutissement de ce travail.*



## *Dédicace*

*A ma chère mère et mon cher père*

*A ma chère grande mère et mon cher grand père MOHAMMED*

*En témoignage de ma profonde gratitude et de mon incontestable reconnaissance*

*C'est grâce à vos prières et votre encouragement que je suis arrivée jusqu'ici*

*Que Dieu vous protège et vous prête bonne santé et longue vie totalité.*

*A mes très chères sœurs : Aziza, Mounira et Yousra*

*A mes chers frères : Fateh, Hichem et Anis et Le meilleur oncle du monde Younes*

*A tous chers membres famille*

*Mounia, Mouna, Mouna, Hayet, Bouba, Imad, Aboura et Marwa*

*Et les petits*

*Ishaq, Rihab, Housseem, Bidou, Wassim, Yahia, Chaima, yaakoub, Miha, sami et  
Rahma*

*En témoignage de mon amour et de ma profonde admiration.*

*A mon très cher fiancé Fateh*

*En témoignage de mon amour infini*

*Merci pour ton aide et ton soutien morale durant le pire, pour tous les moments de joie  
et de tristesse que nous avons partagé.*

*A mes belles amies*

*Saida, Nassima, Nawel, Fatima, Ilham, Rahma, Soumia, Aida,*

*En témoignage de mon profond amour et ma sincère gratitude.*

*Je ne saurais remercier ici les personnes dont la collaboration a été essentielle pour la  
réalisation du présent mémoire de proche ou de loin sans citer les noms.*

*Roukia*

## *Dédicace*

*À la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore.*

*Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour*

*À l'homme de ma vie, que dieu te garde dans son vaste paradis,*

*Mon père.*

*À mes frères Abdesslam et Djamel*

*À mes Sœurs, Nawel, Saliha, Massika, Besma, Halima, et Moufida*

*À mon bon frère Boudjema*

*À mes chères amies Roukia, Nassima, Asma, Amina*

*À mes enseignants surtout Mme Rouibeh H, Kebssa W,*

*Et Dr Benguedouer L*

*À tous mes amis et À tous ceux qui nous ont témoigné leur affectation et leurs soutiens durant ces longues années*

*À toutes mes collègues de la promotion toxicologie 2018*

*Enfin, nos remerciements vont à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de*

*Loin à la réalisation de ce modeste travail.*

*Saida*

## Sommaire

### Remerciements

### Dédicaces

<b>Liste des Abréviations</b> .....	<b>I</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>II</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>IV</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>01</b>

### Première partie : Synthèse bibliographique

#### Chapitre I : Généralités sur les algues

I.1. Définition .....	<b>03</b>
I.2. Morphologie .....	<b>03</b>
I.3. Ecologie des Algues .....	<b>04</b>
I.3.1. les Facteurs de leur répartition des algues fixées .....	<b>04</b>
I.4. Reproduction des algues .....	<b>05</b>
I.4.1. Reproduction asexuée .....	<b>05</b>
I.4.2. Reproduction sexuée .....	<b>05</b>
I.5. Composition biochimique des algues .....	<b>05</b>
I.6. Utilisation des algues .....	<b>06</b>
I.6.1. Alimentation humaine .....	<b>06</b>
I.6.2. Utilisation cosmétique .....	<b>07</b>
I.6.3. Utilisation industrielle .....	<b>07</b>
I.6.4. Utilisation médicale et pharmaceutique .....	<b>07</b>
I.6.5. Utilisation comme traitement des eaux usées .....	<b>08</b>
I.6.6. Utilisation en Agriculture .....	<b>08</b>
I.6.7. Utilisation dans le domaine de la bioénergie .....	<b>08</b>
I.7. Classification .....	<b>08</b>
I.7.1. Algues unicellulaires ou coloniales .....	<b>08</b>
I.7.1.1. Caractéristiques des algues unicellulaires ou coloniales .....	<b>09</b>
I.7.2. Algues pluricellulaire .....	<b>10</b>
I.7.2.1. Algues vertes .....	<b>10</b>
I.7.2.2. Algues rouges .....	<b>10</b>
I.7.2.3. Algues brunes .....	<b>10</b>

I.8. L'algue brune : <i>Padina pavonica</i> .....	11
I.8.1. Description.....	11
I.8.2. Classification .....	12
I.8.3. Reproduction et multiplication.....	12
I.8.4. Caractéristiques .....	12
I.9. Les métabolites secondaires des algues.....	13
I.9.1. Généralité sur les métabolites secondaires.....	13
I.9.2. Les familles principales des métabolites secondaires des algues.....	13
I.9.2.1. Les isoprénoides (Terpenoïdes).....	13
I.9.2.2. Les alcaloïdes.....	14
I.9.2.3. Les composés phénoliques.....	14

## **Chapitre II : Activité antioxydante**

II.1. Les radicaux libres .....	18
II.1.2. Sources des radicaux libres.....	18
II.1.3.Types des radicaux libres.....	18
II.2. Les systèmes antioxydants.....	19
II.2.1. Les Antioxydants enzymatique endogènes.....	19
II.2.2. Les antioxydants non-enzymatiques endogènes.....	20
II.2.3. Les Antioxydants exogènes.....	20
II.2.3.1.Vitamine E (tocophérol).....	20
II.2.3.2.Vitamine C (acide ascorbique).....	21
II.2.3.3.Caroténoïdes.....	21
II.2.3.4. Composés phénoliques.....	21

## **Deuxième partie : Partie expérimentale**

### **Chapitre III : Matériel et méthodes**

III.1.Matériel biologique.....	22
III.1.1. Choix du matériel végétal.....	22
III.1.2. Présentation de la région de récolte des échantillons d'algue .....	22
III.2.Méthodes.....	25
III.2.1.Préparation des extraits bruts.....	25
III.2.2. Dosage des composés phénoliques.....	26
III.2.2.1.Dosage des composés phénoliques totaux .....	26
III.2.2.2.Dosages des flavonoïdes.....	27

---

III.3.Evaluation de l'activité antioxydante.....	27
III.3.1.Capacité antioxydante totale (CAT).....	27
III.3.2.Effet scavanger du radical DPPH (2.2-Diphényl-1-picrylhydrazyl).....	28
III.3.3.Le pouvoir réducteur .....	29
III.4. Analyse statistique des données .....	30
<b>Chapitre IV: Résultats et discussion</b>	
IV.1. Résultats .....	31
IV.1.1.Détermination de rendement d'extraction.....	31
IV.1.2. Dosage des composés phénoliques.....	32
IV.1.2.1. Dosage des composés phénoliques totaux .....	32
IV.1.2.2.Dosages des flavonoïdes.....	33
IV.1.3.Evaluation de l'activité antioxydante .....	35
IV.1.3.1.Capacité antioxydante totale (CAT).....	35
IV.1.3.2. Piégeage du radical libre DPPH (2.2-Diphényl-1-picrylhydrazyl).....	37
IV.1.3.3. Le pouvoir réducteur des composés phénoliques (Reducing Power Assay).....	39
IV.2. Discussion.....	41
<b>Conclusion</b> .....	45
Références bibliographiques.....	46
Annexes	

---

## Liste des abréviations

<b>AA</b>	: Acide Ascorbique
<b>CHCl<sub>3</sub></b>	: Chloroforme
<b>DO</b>	: Densité Optique
<b>DPPH</b>	: 2,2-Diphényle-1-Picrylhydrazyl
<b>EAA</b>	: Equivalent Acide Ascorbique
<b>EAG</b>	: Equivalent D'acide Gallique
<b>EQ</b>	: Equivalent De Quercétine
<b>FCR</b>	: Folin-Ciocalteu
<b>Fe<sup>3+</sup></b>	: Ion Ferrique Fe <sup>2+</sup> : Ion Ferreux
<b>FeCl<sub>3</sub></b>	: Chlorure De Fer
<b>FRAP</b>	: Pouvoir Antioxydant Réducteur Du Fer
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	: Acide Sulfurique
<b>HCl</b>	: Acide Chlorhydrique
<b>I %</b>	: Pourcentage D'inhibition
<b>Rdt</b>	: Rendement
<b>IC<sub>50</sub></b>	: Concentration Inhibitrice De 50% (Inhibitory Concentration Of 50%).
<b>K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub></b>	: Potassium Phosphate Dibasique
<b>K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub></b>	: Ferricyanure De Potassium
<b>KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub></b>	: Phosphate De Potassium Monobasique
<b>O<sub>2</sub><sup>•-</sup></b>	: L'anion Superoxyde
<b>RL</b>	: Radicaux Libres
<b>ROS</b>	: Reactive Oxygen Spices (Espèces Réactive De L'oxygène)
<b>SOD</b>	: Superoxyde Dismutase
<b>T°</b>	: Température
<b>TCA</b>	: Acide Trichloroacétique

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Morphologie comparée entre une algue et une plante.....	<b>03</b>
<b>Figure 2</b> : Distribution des algues selon l'intensité lumineuse .....	<b>04</b>
<b>Figure 3</b> : Photo de l'algue brune <i>Padina Pavonica</i> .....	<b>11</b>
<b>Figure 4</b> : Structure de base des flavonoïdes .....	<b>15</b>
<b>Figure 5</b> : Situation géographique de la Wilaya de Jijel.....	<b>22</b>
<b>Figure 6</b> : Variation mensuelle de la température T(C°) et des précipitations P (Mm) entre 1997 et 2017 (Jijel).....	<b>23</b>
<b>Figure 7</b> : Localisation de site d'échantillonnage.....	<b>24</b>
<b>Figure 8</b> : Photo de la plage de Oueled Bounar.....	<b>24</b>
<b>Figure 9</b> : Image de <i>padina pavonica</i> .....	<b>24</b>
<b>Figure 10</b> : Photo de <i>padina pavonica</i> sur site.....	<b>24</b>
<b>Figure 11</b> : Protocole de dosage des polyphénols.....	<b>25</b>
<b>Figure 12</b> : Protocole de dosage des flavonoïdes.....	<b>27</b>
<b>Figure 13</b> : Protocole d'étude de la capacité antioxydante totale.....	<b>28</b>
<b>Figure 14</b> : Protocole d'évaluation de l'activité antioxydant par la méthode de piégeage du radical libre DPPH.....	<b>29</b>
<b>Figure 15</b> : Protocole d'étude de pouvoir réducteur.....	<b>30</b>
<b>Figure 16</b> : Histogramme Rendement De L'extraction.....	<b>31</b>
<b>Figure 17</b> : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des polyphénols.....	<b>32</b>
<b>Figure 18</b> : Teneurs en polyphénols totaux dans les différents extraits équivalent d'acide gallique.....	<b>33</b>
<b>Figure 19</b> : Gamme d'étalonnage de la quercétine pour le dosage des flavonoïdes.....	<b>34</b>
<b>Figure 20</b> : Quantité des flavonoïdes dans les différents extraits .....	<b>35</b>
<b>Figure 21</b> : Gamme d'étalonnage de l'acide ascorbique pour la capacité antioxydante totale.....	<b>35</b>
<b>Figure 22</b> : Comparaison de la capacité antioxydante totale des différents extraits.....	<b>36</b>

<b>Figure 23:</b> Pourcentages d'inhibition du radicale DPPH• d'acide ascorbique et des extraits Testés .....	<b>38</b>
<b>Figure 24 :</b> Evaluation de l'activité antioxydante des extraits par la méthode de pouvoir réducteur de Fer.....	<b>40</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Caractéristiques des algues unicellulaires ou coloniales.....	<b>09</b>
<b>Tableau 2:</b> Classification de l'algue <i>Padina Pavonica</i> .....	<b>12</b>
<b>Tableau 3:</b> Quelques exemples des différents types des terpenoïdes .....	<b>14</b>
<b>Tableau 4:</b> Principales classes des flavonoïdes.....	<b>16</b>
<b>Tableau 5 :</b> Nature et sources cellulaires des espèces réactives de l'oxygène .....	<b>19</b>
<b>Tableau 6:</b> Les Antioxydants enzymatiques endogènes.....	<b>20</b>
<b>Tableau 7:</b> Répartition de la moyenne mensuelle de la température T(C°) et des précipitations p (mm) entre 1997 et 2017 (2018).....	<b>23</b>
<b>Tableau 8 :</b> Tableau récapitulatif regroupant les rendements des différents extraits.....	<b>33</b>
<b>Tableau 9:</b> Quantité des phénols totaux dans les différents extraits .....	<b>34</b>
<b>Tableau 10 :</b> Quantité des flavonoïdes dans les différents extraits.....	<b>34</b>
<b>Tableau 11:</b> Capacité antioxydante totale des différents extraits .....	<b>26</b>
<b>Tableau 12:</b> Pourcentages d'inhibition du radicale DPPH• d'acide ascorbique et des extraits testés .....	<b>37</b>
<b>Tableau 13 :</b> Valeur d'IC50 exprimé en mg/ml.....	<b>38</b>
<b>Tableau 14 :</b> Pouvoir réducteur des différents extraits.....	<b>39</b>

# Introduction

## Introduction

Le stress oxydatif et leurs actions délétères surtout sur les êtres humains en provoquant des pathologies à différents degrés de dangerosité, ainsi que la détermination de leurs cibles (ADN, membrane, et autre molécules) devient l'objet de la majorité des recherches scientifiques actuelles afin de trouver les manières efficaces de lutter contre ces problèmes et d'élaborer des nouveaux composés qui ne sont pas basées sur les agents antioxydantes synthétiques existants (**Ruberto et al., 2001**).

En raison de la demande croissante des nouveaux produits pharmaceutiques d'origine naturels, les scientifiques font un grand intérêt pour les organismes marins, spécialement les algues, à cause de leurs richesses en métabolites bioactifs (**Saidani et Bedjou, 2011**).

L'étude des produits d'origine marine a débuté à la fin des années 1970, elle conduit à l'isolement d'environ 21855 substances, beaucoup d'entre elles expriment des activités pharmacologiques potentielles, dont la majorité de ces métabolites est plus importante que celle des produits naturels provenant des plantes ou d'organismes terrestres (**Eom et al., 2012**).

Les algues marines qui sont les organismes marins les plus efficaces, sont classées en algues rouges (rhodophytes), algues vertes (chlorophytes) et algues brunes (phaeophytes). Elles sont très riches en composés nutritifs (lipides, protéine, et carbohydrates...) et en métabolites secondaires, composées phénoliques, flavonoïdes, tanins, caroténoïdes (*B* carotène) et vitamines (vit C par exemple) (**Ismail, 2016**). Des travaux antérieurs montrent que les algues sont potentiellement antioxydants antibactériens, antifongiques, (**Al-Enazi et al., 2017**) anti cancéreux (**çelenk et al., 2016**), et antihypertensive ( **Ben Abdallah et al., 2017**). La potentialité de ces activités se diffère tous dépend des critères, en citant les différences entre classes ainsi qu'entre espèces de la même classe (**Ismail, 2016**), les conditions climatiques et saisonnières (**Mannino et al., 2014**).

Dans ce domaine, les chercheurs confirment que la classe la plus rentable et efficace des algues marines est celle des algues brunes (phaeophytes) (**Kelman et al., 2012**).

Pour ces raisons, l'objectif de notre travail est l'étude et la valorisation de l'activité antioxydante d'une algue brune *padina pavonica* de la cote Est Algérienne, prélevée le mois de mai 2018 de la région ouled bounnar - Jijel.

Notre travail a été divisé en deux parties dans lesquelles la première s'intéresse à la synthèse bibliographique qui est constituée de deux chapitres, l'un concerne des généralités sur les algues et une présentation particulière de l'algue retenue pour l'étude *Padina Pavonica*. Le deuxième chapitre concerne l'activité antioxydante et les stress oxydant.

La deuxième partie englobe les protocoles expérimentaux à savoir les dosages des polyphénols et flavonoïdes ainsi que l'évaluation de l'activité antioxydante *in vitro* des différents extraits par trois tests, la capacité antioxydante totale, le piégeage de radical libre DPPH et le pouvoir réducteur de fer. Enfin l'interprétation des résultats obtenus suivie par leurs discussions et on termine notre étude par une conclusion.

Première partie :  
synthèse  
bibliographique

# Chapitre I :

# Généralités sur les

# algues

## I.1. Définition

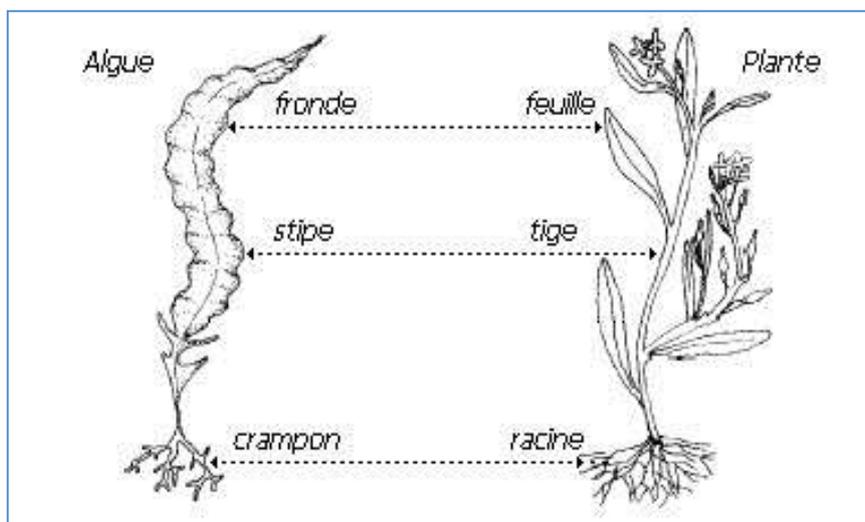
Les Algues ou phycophytes sont des Thallophytes chlorophylliens, c'est-à-dire des organismes capables de photosynthèse. Elles sont donc autotrophes. (Roland et al., 2008) Cependant, certaines algues ne sont pas photosynthétiques, elles auraient perdu secondairement leur capacité à faire la photosynthèse. D'autres algues passent par un stade non photosynthétique au cours de leur cycle de vie (Amirouche et al., 2009).

Les Algues sont, typiquement, des organismes aquatiques. Du point de vue écologique, elles constituent le premier maillon des chaînes alimentaires : ce sont des producteurs quasi exclusifs des mers et des océans. Elles sont fréquentes aussi en eau douce (lac, mares, ruisseaux). Elles sont plus rares en milieu aérien (Roland et al., 2008).

## I.2. Morphologie des algues

Les algues vont de quelques millimètres, à plus de cinquante mètres (*Macrocystis du pacifique*). Les formes sont très variées, filamenteuses, vésiculeuses, ramifiées ou non, arbustives, foliacées, rubanées ou en cordon. La consistance est généralement souple, mais peut être dure comme de la pierre (algues calcaires) ou simplement ferme. Le toucher souvent gélatineux, est parfois rêche ou rugueux (Leclerc et Floch, 2010).

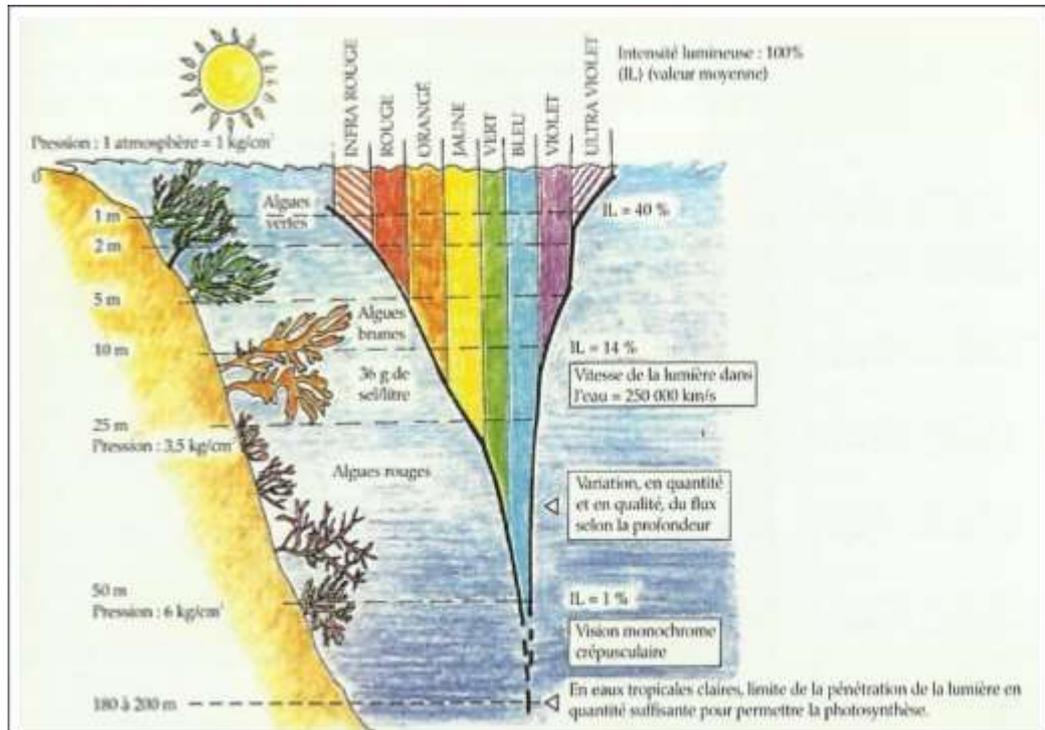
Les algues sont fixées par un crampon. Ces crampons ont un rôle purement mécanique et non alimentaire (il ne s'agit pas de racines). On peut y distinguer une stipe. La fronde ce qui peut ressembler à des feuilles (figure1) (Leclerc et Floch, 2010).



**Figure 1 :** Morphologie comparée entre une algue et une plante (Leclerc et Floch, 2010)

### I.3. Ecologie des algues

Les algues colonisent des milieux très divers, elles peuvent être marines (fixées ou libres) ou d'eaux douces (étangs, rivières et lacs), elles peuvent être aussi aériennes (sur le sol, rochers, tronc d'arbres) (**Ozenda, 2006**).



**Figure 2** : Distribution des algues selon l'intensité lumineuse (**Leclerc et Floc'h, 2010**)

#### I.3.1. Les Facteurs de répartition des algues marines fixées

- **La lumière** : Les algues étant photosynthétiques, elles sont dépendantes de la présence de la lumière. (**Ozenda, 2006 ; Leclerc et Floc'h, 2010**).
- **Les mouvements de L'eau** : agitation de l'eau et émergence (**Ozenda, 2006**).
- **La température** : c'est un facteur très important, elle module l'activité enzymatique du métabolisme cellulaire, elle varie d'une espèce à une autre (**Ozenda, 2006**).
- **La richesse de milieu en éléments nutritifs** : le dioxyde de carbone, l'azote, le phosphate et le fer (**Leclerc et Floc'h, 2010**).
- **Le substrat** : la nature physique, la texture, le degré de cohésion et la nature chimique du substrat ont une importance sur la répartition spatiale des espèces (**Leclerc et Floc'h, 2010 ; Ozenda, 2006**).

## I.4. Reproduction des algues

### I.4.1. Reproduction asexuée : Elle peut être de 3 types : (Amirouche et al., 2009)

- Fragmentation du thalle.
- Formation de propagules, de stolon.
- Formation des spores directes.

**I.4.2. Reproduction sexuée :** Elle implique la méiose et la fécondation. Elle fait intervenir la formation de gamètes et de spores méiotiques. Les types de fécondation sont très divers :

- ✚ **isogamie** : gamètes mobiles et identiques.
- ✚ **anisogamie** : gamètes mobiles et différents.
- ✚ **oogamie** : gamète femelle de grande taille immobile (oosphère), gamète mal nombreux petits et mobiles (anthérozoïdes).
- ✚ **trichogamie** : gamète femelle (oosphère), gamète mal immobile (spermaties).
- ✚ **cystogamie** : ou conjugaison, pas de vrais gamètes, fusion entre deux cytoplasmes (Amirouche et al., 2009).

## I.5. Composition chimique des algues

Les algues constituent une source extraordinaire de substances qui, dans tous les domaines, ont intérêt nutritif d'exception et contribuent au maintien d'une bonne santé.

**I.5.1. L'eau :** représente 90% de poids, elle est contenue dans la vacuole des cellules, dans le cytoplasme et dans la paroi cellulaire ou sa rôle est très important (Leclerc et Floc'h, 2010).

**I.5.2. Les protéines :** Les protéines algales sont d'une grande qualité nutritionnelle. Elles contiennent tous les acides aminés importants « essentiels » (Leclerc et Floc'h, 2010; Moritsen, 2015).

**I.5.3. Les éléments minéraux :** Les éléments minéraux dominants chez les algues sont l'iode, le calcium, le phosphore, le magnésium, le fer, le sodium, le potassium et le chlore. Il existe aussi des quantités significatives d'oligo-éléments tels que le zinc, le cuivre, le manganèse, le sélénium, le molybdène et le chrome. La composition minérale varie d'une espèce à une autre, les algues marines représentent une meilleure source de fer que les épinards ou que le jaune d'œuf (Moritsen, 2015).

**I.5.4. Les vitamines :** sont présentes en abondance dans toutes les algues : vitamine A, B (B1, B2, B3, B6, B12 et folates), C et E mais non la vitamine D. Les quantités varient selon les espèces mais aussi selon les saisons de l'année (**Moritsen, 2015**).

**I.5.5. Les lipides :** Les algues contiennent peu de lipides. Les diverse espèces synthétisent également des pigments qui, associés à la chlorophylle, contribuent à produire leur coloration distinctive, comme, par exemple, un caroténoïde brun jaune spécifique la fucoxanthine, isolée des algues brunes (**Moritsen, 2015**).

**I.5.6. Les glucides :** On trouve trois groupes de glucides dans les algues : les sucres, les fibres solubles et les fibres insolubles, ils diffèrent entre les diverses espèces d'algues rouges, vertes ou brunes.

Les fibres insolubles dérivées des parois cellulaires rigides, sont présentes en moindres quantités. La cellulose est retrouvée dans les trois types d'algues ; le xylane, aux nombreuses propriétés biotechnologiques, l'est dans les algues rouges et vertes.

Les fibres solubles qui sont situées entre les parois cellulaires des algues composées de trois groupes distincts de glucides (polysaccharides) : l'agar, les carraghénanes et les alginates, elles absorbent de l'eau dans le tractus digestif pour former une masse gélatineuse favorisant le transit intestinal et ont des applications industrielles et médicales (**Moritsen, 2015**).

## **I.6. Utilisation des algues**

### **I.6.1. Alimentation humaine**

Les algues sont très riche en fibres, en vitamines et en sel minéraux, Elles présentent aussi une source de protéines et d'acides aminés essentiels ce qui assure une bonne santé (**Moritsen, 2015**).

Des Phéophycées et des Rhodophycées fournissent des farines et surtout des gelées de faible valeur nutritive mais utilisé dans de nombreux produits. Les algues rouges sont la source principale d'agar (gélose) employé dans les entremets (**Ozenda, 2006**).

### I.6.2. Utilisation cosmétique

Les extraits des algues présentent des propriétés anti-UV et anti oxydantes qui sont utilisé dans les crèmes solaires et anti vieillissement, les savons, les champoings...etc.

Les algues sont utilisé dans les produits hydratants (lotion, crème, ...), ils ont la capacité d'améliorer et maintenir la fonction de barrière de la peau et gardant son aspect sain. Ils sont utilisés aussi dans les produits de blanchiment de la peau et de soins des cheveux (shampooing, rinçage, restaurateur de cheveux, solution pour l'onde permanente, agent colorant de cheveux...) **(Wang et al., 2014; Ariede et al., 2017).**

### I.6.3. Utilisation industrielle

Dans l'industrie textile, les alginates jouent un rôle essentiel pour fixer les couleurs dans les tissus.

Les extraits des algues sont utilisés dans l'industrie agro-alimentaire (alginates E401 à E405, agar E406 et carraghénanes E407) comme agents stabilisants, épaississants gélifiants et émulsionnant des produits alimentaires **(Leclerc et Floch, 2010).**

### I.6.4. Utilisation médicale et pharmaceutique

Utilisation traditionnelle dans l'herboristerie chinoise et japonaise pour traiter la tuberculose, les rhumatismes, les refroidissements, la grippe, les blessures, les parasitoses intestinales et le cancer.

L'alginate de calcium est utilisé pour la fabrication des emplâtres et des pansements permettant de protéger les plaies **(Moritsen, 2015).**

L'extrait de l'algue rouge *Digenea simplex* utilisé en japon comme antihelminthique. Il a donne naissance à un vermifuge déclaré efficace contre les ascaris et les oxyures.

Gaviscon, a base d'alginates (extrait d'algues brunes), préconisé pour traiter les reflux gastrique et autre douleur œsophagiennes.

Les fibres d'alginates de calcium ont des effets sur l'homéostasie et la réparation tissulaire (Coalgan).

Les alginates sont utilisés en association avec l'Agar-agar (extrait d'algues rouges) dans les empreintes dentaires **(Leclerc et Floch, 2010).**

En dermatologie, les composés bioactifs et les dérivés métabolites des algues marines sont utilisés pour le traitement de l'acné, le mélanome et la réduction de la pigmentation de la peau (Wang *et al.*, 2017).

#### **I.6.5. Utilisation comme traitement des eaux usées**

Les algues brunes sont capables de fixer les métaux lourds (plomb, mercure) et l'iode dans l'eau (Moritsen, 2015).

#### **I.6.6. Utilisation en Agriculture**

Les algues issues de la « laisse de mer » sont utilisées directement en épandage dans les champs pour apporter leur richesse en sels minéraux. Les algues calcaires de type « *maërl* » servent à amender les sols acides en remplacement de la chaux (Ozenda, 2006).

Des recherches sont en cours afin d'utiliser des extraits d'algues comme « bioengrais » permettant d'améliorer la croissance des plantes cultivées mais également de renforcer les défenses naturelles des plantes contre des agresseurs externes (parasites, champignons, bactéries etc.).

#### **I.6.7. Utilisation dans le domaine de la bioénergie**

Les algues sont utilisées comme matière première pour la production des biocarburants tels que le biodiesel, le bioéthanol et le biogaz moins cher, rentables et écologiques (Chia *et al.*, 2017).

### **I.7. Classification des algues**

#### **I.7.1. Algues unicellulaires et coloniales**

La plupart des algues unicellulaires ou formant de petites colonies appartiennent à l'un des sept embranchements suivants : Euglénophytes, Dinophytes, Bacillariophytes, Xantophytes, Chrysophytes, Cryptophytes et Prymnésiophytes. Alors que certaines algues vivent en milieu aquatique, les autres sont pour la plupart les constituants du phytoplancton, ensemble d'organismes photosynthétiques microscopique flottant librement près de la surface des océans et des lacs (Nabors, 2008).

### I.7.1.1. Caractéristiques des Algues unicellulaires et coloniales

**Tableau 1:** Caractéristiques des algues unicellulaires ou coloniales (Nabors, 2008).

Embranchement	Nbre	Pigments photosynthétiques	Caractéristiques
<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Euglénophytes (euglénoïdes)</li> </ul>	800	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Chlorophylles <i>a, b</i></li> <li>✚ Caroténoïdes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Eau douce (essentiellement)</li> <li>✚ Quelques espèces non photosynthétiques</li> <li>✚ Cellules flagellées</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Dinophytes (dinoflagellés)</li> </ul>	3000	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Chlorophylles <i>a, c</i></li> <li>✚ Caroténoïdes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Phytoplancton marin et d'eau douce des eaux chaudes</li> <li>✚ Des espèces non photosynthétiques</li> <li>✚ Production de neurotoxines</li> <li>✚ Cellules flagellées</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Bacillariophytes (diatomées)</li> </ul>	5600	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Chlorophylles <i>a, c</i></li> <li>✚ Caroténoïdes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Phytoplancton marin et d'eau douce des eaux froides</li> <li>✚ Des espèces terrestres</li> <li>✚ Paroi faites de silice</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Xantophytes (algue vert-jaune)</li> </ul>	600	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Chlorophylles <i>a, c</i></li> <li>✚ Caroténoïdes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Phytoplancton (surtout eau douce)</li> <li>✚ Cellules flagellées</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Chrysophytes (algue brun-doré)</li> </ul>	1000	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Chlorophylles <i>a, c</i></li> <li>✚ Caroténoïdes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Phytoplancton marin et d'eau douce</li> <li>✚ Cellules flagellées</li> <li>✚ Quelques espèces non photosynthétiques</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Cryptophytes (cryptomonades)</li> </ul>	200	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Chlorophylles <i>a, c</i></li> <li>✚ Phycobiliprotéine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Phytoplancton marin et d'eau douce des eaux froides</li> <li>✚ Cellules flagellées</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Prymnésiophytes (haptophytes)</li> </ul>	300	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Chlorophylles <i>a, c</i></li> <li>✚ Caroténoïdes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Phytoplancton (essentiellement marin) des eaux chaudes</li> <li>✚ Cellules flagellées</li> </ul>

## **I.7.2. Algues pluricellulaires**

Trois embranchements : chlorophytes, Rhodophytes et phaeophytes, renferment des algues pluricellulaires présentant un degré de différenciation cellulaire et une organisation des types cellulaires complexes. Toutes ces formes pluricellulaires constituent l'essentiel des algues marine. La reproduction sexuée est la règle dans ces trois embranchements (**Nabors, 2008**).

### **I.7.2.1. Les algues vertes ou chlorophytes**

Comprennent au moins 17.000 espèces, ont une structure et un cycle de développement très diversifiés. Bien que la plupart soient aquatiques (**Raven et al., 2007**). Quelques autres sont terrestres, se développant dans les endroits humides ou voisinage des mousses et des fougères, voire dans la neige. Certaines algues vertes peuvent également former des associations symbiotiques avec d'autres organismes. Quelques lichens, par exemple, sont le résultat d'association entre des champignons et des algues vertes (**Nabors, 2008**). La plupart des algues vertes se rencontrent dans l'eau douce, mais un certain nombre de groupes sont marines. Elles possèdent les chlorophylles a et b et leur matière de réserve, composées d'amidon, sont située à l'intérieur de plastes (**Raven et al., 2007**).

### **I.7.2.2. Les algues rouges ou Rhodophytes**

Sont particulièrement abondant dans les eaux tropicales et chaudes, mais en trouve aussi beaucoup dans les régions plus froids du globe. On connaît de 4000 à 6000 espèces réparties dans 680 genres ; quelques genres seulement sont unicellulaires. La majorité des algues rouges sont des algues marines. Les algues rouges sont généralement fixées aux rochers ou à d'autres algues. Les chloroplastes des algues rouges contiennent des phycobilines qui masquent la couleur de la chlorophylle a et donnent à ces algues leur coloration caractéristique (**Raven et al., 2007**).

### **I.7.2.3. Les algues brunes ou phaeophytes**

Les algues brunes, groupe presque entièrement marin, comprend les algues les plus visibles des mers tempérées boréales et polaires. Bien qu'il n'en existe qu'environ 1500 espèces, les algues brunes sont pré pondérales sur les cotes rocheuses de toutes les régions fraîches du globe. Dans l'eau claire, les algues brunes pressèrent depuis le niveau des basses eaux jusqu'à une profondeur de 20 à 30 mètres, sur les cotes en pente douce, elles peuvent s'étendre sur 5 à 10 kilomètres à partir de littoral (**Raven et al., 2007**).

Les algues brunes étaient une source précieuse de polysaccharides tels que les acides alginiques, les fucoïdiens et les laminarans, Ces composés présentent une large activité biologique (Men Shova et al., 2012).

## I.8. Exemple d'un type d'algue brune : *Padina pavonica* (PADINE QUEUE DE PAON)

### I.8.1. Description

Algue brune dont le thalle est haut de 5 à 10 cm est une lame en éventail zoné, à marge ciliée, blanche et brune, incrustée de calcaire, munie d'un court pédoncule. La lame est souvent enroulée en cornet avec des stries concentriques. La surface du thalle est ornée de fines rangées concentriques de poils. Le thalle est fixé par une touffe de rhizoïdes avec une base courte plus ou moins cylindrique formant un pédicelle conique (Riviere et al., 2017).

Cette algue est photophile colonise les substrats durs bien éclairés de l'étage infralittoral, en eau calme ou peu agitée. Elle est Autotrophe par photosynthèse chlorophyllienne avec absorption des sels minéraux contenus dans l'eau. Elle est abondante au printemps, cette algue s'accommode d'un réchauffement et d'un éclairage intense. Elle est sensible aux variations de niveau d'eau et ne peut supporter que de très brèves expositions à l'air libre (Riviere et al., 2017).

Noms communs internationaux : Peacocks tail, funnel weed (GB), Coda di pavone (I), Padina, cola de pavo (E), Pfauenalge, Trichteralgae (D), Pauwwier (NL), A'ashab El Tawouss (arabe)



**Figure 3:** Photo de l'algue brune *Padina pavonica* (Riviere et al, 2017)

### I.8.2. Classification

La classification de l'algue *Padina pavonica* est présentée dans le **Tableau 2**.

**Tableau 2:** Classification de l'algue *Padina pavonica* (Guiry, 2018).

<b>Embranchement</b>	<b>Ochrophyta</b>
<b>Sous-embranchement</b>	Heterokontae
<b>Super classe</b>	Phaeophyta
<b>Classe</b>	Phaeophyceae
<b>Ordre</b>	Dictyotales
<b>Famille</b>	Dictyotaceae
<b>Genre</b>	<i>Padina</i>
<b>Espèce</b>	<i>Pavonica</i>

### I.8.3. Reproduction et multiplication

Alternance d'un cycle sexué et d'un cycle asexué avec production de spores. Pour cette espèce, il n'existe qu'un seul type de thalle sexué qui est donc bisexué ou monoïque. La reproduction est le plus souvent asexuée, elle se fait par l'intermédiaire de spores. Les individus ont une existence brève mais sont remplacés fréquemment tout au long de l'année. Deux générations semblables morphologiquement se relaient dans l'année: la première débute en hiver ou au printemps, présente un maximum de développement en été et disparaît en septembre et la seconde débute en été : le cycle de développement est digénétique isomorphe. Entre les lignes concentriques de poils se trouvent des rangées d'organes reproducteurs où naissent des cellules corticales externes. Parfois les spores des sporophytes ne subissent pas la méiose et redonnent directement des sporophytes (Riviere et al., 2017).

### I.8.4. Caractéristiques

*Padina pavonica* a une activité antibactérienne (contre *Pseudomonas*, *aeruginosa* et *Esherichia coli*), (Chbani et al., 2011) anti fongique et anti oxydant très marqué (Al-Enazi et al., 2017).

*Padina pavonica* a des propriétés rappelant celles de la peau humaine jeune. Elle est utilisée en pharmacie et en cosmétique, elle favoriserait le renouvellement de ces glycosaminoglycanes et renforcerait leurs actions protectrices (anti-radicalaires et anti-irritantes) et leurs actions sur le maintien de la vitalité cellulaire (fermeté et souplesse de la peau) (**Riviere et al., 2017**).

Elle trouverait également son emploi dans des traitements contre des affections osseuses telles l'ostéoporose, l'arthrite et par conséquent, serait utilisée dans des substituts alimentaires à base de calcium (**Riviere et al., 2017**).

Elle présente une possibilité alimentaire (pratique asiatique) (**Riviere et al., 2017**).

## **I.9. Les métabolites secondaires des algues**

### **I.9.1. Généralité sur les métabolites secondaires**

Tous les végétaux ayant la capacité à produire des substances naturelles très diversifiées, sont les métabolites primaires classiques (glucides, protides, lipides, acides nucléiques) et les métabolites secondaires dont la fonction physiologique n'est pas toujours évidente (**Macheix et al., 2005**).

Des études ont permis d'isoler et d'identifier un très grand nombre de molécules, dont beaucoup d'entre elles ont une activité biologique intéressante. Sur le plan pharmacologique, la présence de différentes activités a été mise en évidence depuis longtemps chez plusieurs espèces d'algues marine (**Farid et al., 2009**).

Ils représentent une large gamme de composés chimiques dans les plantes qui ne sont pas concernés par les processus biochimique de la croissance et de la reproduction des plantes (**Amlan et Jyotiska, 2010**). Mais Ils ont un rôle important dans les interactions de la plante avec son environnement tel que la protection contre les pathogènes, herbivores, la concurrence entre les plantes et le stress abiotique comme dessiccation et radiation UV (**Greathead, 2003**).

Certain types des métabolites secondaire ont été mis en évidence dans plusieurs espèces d'algues; qui sont divisés principalement en trois grandes familles: Les polyphénols, les terpènes et les alcaloïdes (**Marouf et Reynaid, 2007**).

### **I.9.2. Les familles principales des métabolites secondaires des algues**

#### **I.9.2.1. Les isoprénoides (Terpenoïdes)**

Sont tous les composés possédant une structure moléculaire construite d'un monomère à 5 carbones appelé isoprène, Synthétisés par les plantes, organismes marins, les champignons et même les animaux (**Benaissa, 2011**). Ils sont classés en plusieurs catégories selon le nombre de répétitions de l'unité de base isoprène en donnant le tableau suivant :

**Tableau 3:** Quelques exemples des différents types des terpenoïdes (**Belbache, 2003**).

N	Squelette carboné	Type de terpenoïdes	Exemple de molécule
1	C5	Hemiterpene	Isoprène
2	C10	Monoterpène	Nérol, citronnelle, huiles essentielles
3	C15	Sesquiterpène	$\beta$ -Cadinène
4	C20	Diterpène	Sclaréol, phytol
6	C30	Triterpène	Lanostérol
8	C40	Tetraterpène	Caroténoïdes
> 8	>40	Polyterpène	Caoutchouc

### I.9.2.2. Les alcaloïdes

Sont des composés azotés dérivés d'acide aminés, les alcaloïdes isolés des algues marines pour la plupart appartiennent à des groupes de la phényléthylamine. Ils sont divisés en: alcaloïdes vrais, pseudo-alcaloïdes proto-alcaloïdes (**Badiaga, 2011**).

### II.9.2.3. Les composés phénoliques

Les composés phénoliques sont des métabolites secondaires des végétaux. Caractérisés par la présence d'un ou de plusieurs cycles benzéniques portant une ou plusieurs fonctions hydroxyles.

D'un point de vue thérapeutique, ces molécules constituent la base des principes actifs trouvés dans les plantes médicinales (**Macheix et al., 2005**).

De point de vue chimique les composés phénoliques peuvent être regroupés en plusieurs classes qui se différencient selon la complexité du squelette et leur degré de modification (d'oxydation, d'hydroxylation et de méthylation), et les liaisons avec d'autres molécules (glucides, lipides, protéines, ...etc.) (**Macheix et al., 2005**).

#### a. Les acides phénoliques simples

Sont les principaux polyphénols alimentaires, existent sous deux formes: dérivés de l'acide benzoïque et dérivés de l'acide cinnamique (**Watson et al., 2013**), Ils possèdent des propriétés antioxydantes, antivirales et antibactériennes. Dont L'activité anti-oxydante phénolique est liée à des groupes hydroxyles trouvés dans leurs molécules (**Hennebelle et al., 2004**).

Ils sont divisés en deux sous classes :

- **Les acides hydroxybenzoïques** : sont des dérivés de l'acide benzoïque, d'une structure de base de type (C6-C1) et existent souvent sous forme d'esters ou de glycosides comme : acide benzoïque, acide gallique, acide vanillique (**Watson et al., 2013**).

- **Acides hydroxycinnamiques** : Ils dérivent de l'acide cinnamique, ils ont une structure générale de base de type (C6- C3) et existent souvent sous forme combinée avec des molécules organiques comme l'Acide caféique, l'acide coumarique et l'acide cinnamique

(Watson *et al.*, 2013).

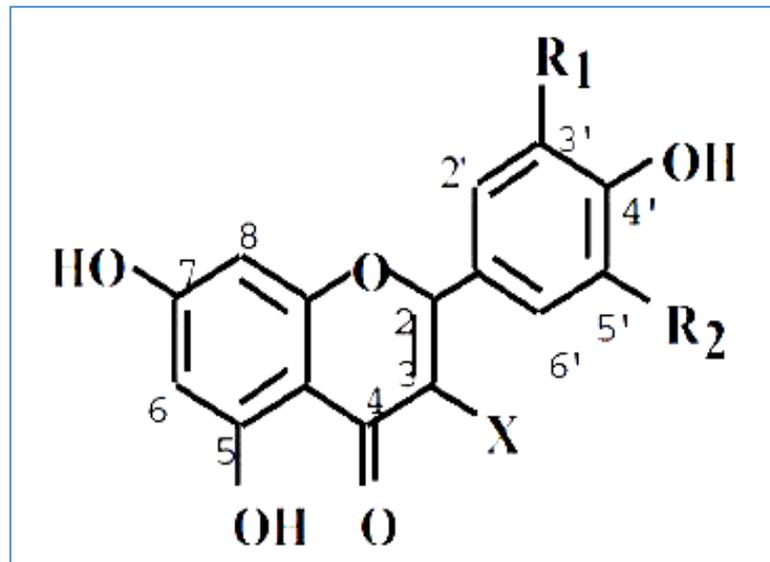
### b. Les Flavonoïdes

Le terme flavonoïde a été prêté du flavus (flavus=jaune). Généralement d'une structure en C6-C3-C6) ils sont considérés comme des pigments quasiment universels des végétaux

(Hennebelle *et al.*, 2004).

D'après Les travaux relatifs aux flavonoïdes Près de 4000 flavonoïdes ont été décrits. Ils sont omniprésents dans la nature.(flavone, flavanone, isoflavones, anthocyanidiques,et chalcone)

(Males *et Medic-saric.*, 2000).



**Figure 4:** Structure de base des flavonoïdes (Lugasi *et al.*, 2003).

Le tableau suivant montre les différentes structures chimiques des flavonoïdes.

**Tableau 4:** Principales classes des flavonoïdes (Narayana *et al.*, 2000).

Classes	Structures chimiques	R 3'	R4'	R5'	Exemples
<b>Flavones</b>		H	OH	H	Apigénine
		OH	OH	H	Lutéoline
		OH	OCH3	H	Diosmétine
<b>Flavonols</b>		H	OH	H	Kaempférol
		OH	OH	H	Quercétine
		OH	OH	OH	Myricétine
<b>Proanthocyanidine (tannins condensés)</b>		OH	OH	H	Cathéchine
<b>Flavanones</b>		H	OH	H	Naringénine
		OH	OH	H	Eriodyctyol
<b>Anthocyanidine</b>		H	OH	H	Pelargonidine
		OH	OH	H	Cyanidine
		OH	OH	OH	Délphénidine
<b>Isoflavones</b>		R5	R7	R4'	
		OH	OH	OH	Genesteine
		H	O-Glu	OH	Daidezine

### c. Les tanins

Les tanins sont des substances polyphénoliques de structure variée, Ils représentent un groupe hétérogène trop difficile à définir car il n'y a pas de structure chimique de base, ils sont de saveur astringente, ayant en commun la propriété de tanner la peau, cette aptitude est liée à leur propriété de se combiner aux protéines. Leur poids moléculaire est compris entre 500 et 3000 Dalton. On distingue habituellement deux groupes de tanins: Les tanins hydrolysables et les tanins condensés (Bruneton, 2009).

#### • Les tanins hydrolysables

Ils sont constitués par une molécule de sucre (le glucose le plus souvent) estérifiée par l'acide gallique ou un de ses dérivés (acide ellagique, chebulique ou valonique). Subissent facilement une hydrolyse acide et basique; ils s'hydrolysent sous l'action enzymatique et d'eau chaude (Bruneton, 2009).

- **Les tanins condensés**

Les tanins condensés, appelés proanthocyanidines ou procyanidines, sont des polyphénols de masse molaire moléculaire élevée. Ils résultent de la polymérisation autooxydative ou enzymatique des unités de flavan-3-ol et/ou de flavan-3,4-diol liées majoritairement par les liaisons C4-C8 (parfois C4-C6), et ne sont hydrolysables que dans des conditions fortement acides (**Bruneton, 2009**).

# Chapitre II :

## Activité antioxydante

## II. Activité antioxydante

Les cellules et tissus peuvent être soumis à une grande variété d'agression physiques (traumatisme, irradiation, hyper ou hypothermique), chimiques (acidose, toxines) et métaboliques (exposition à des xénobiotique, privation d'un facteur hormonal ou facteur de croissance), d'origine d'un déséquilibre entre la génération des espèces réactives de l'oxygène et la capacité du corps à les neutraliser et à réparer les dommages oxydatifs (**Antolovich et al., 2001**).

### II.1. Les radicaux libres

Les radicaux libres sont des espèces chimiquement réactives et instables, qui doivent être contrôlé pour éviter une chaîne de réactions indésirables dans le système vivant. Les plus importants sont les espèces réactives de l'oxygène (ROS). Ils essaient de réagir avec les macromolécules comme les lipides les protéines, l'ADN et certains glucides afin de se stabiliser (**Al-Enazi et al., 2017**).

#### II.1.2. Sources des radicaux libres

Les radicaux libres nocifs sont produits dans l'organisme au cours du métabolisme normal. Cette production augmente en rapport avec l'élévation de la consommation d'oxygène. Plusieurs mécanismes et systèmes responsables de la production de radicaux libres parmi eux:

- des fuites d'électrons au niveau de la chaîne respiratoire de la mitochondrie
- des processus inflammatoires produits par les cellules phagocytaires activées
- du système xanthine déshydrogénase/ oxydase activé lors d'ischémie-reperfusion
- d'exposition à des agressions de l'environnement, comme les agents infectieux, la pollution, les UV, la fumée de cigarette et le rayonnement (**Benhammou, 2012**).

#### II.1.3. Types des radicaux libres

Les espèces réactifs d'oxygène peuvent être caractérisés par un électron non apparié: (l'anion superoxyde  $l'O_2 \bullet-$ , les radicaux hydroxyles  $HO\bullet$ , peroxyde  $ROO\bullet$ , alkoxyde  $RO\bullet$ ). Ou dérivés de l'oxygène non radicalaires comme le peroxyde d'hydrogène  $H_2O_2$ , L'oxygène singlet  $l'O_2$  et le nitroperoxyde  $ONOOH$ , mais qui sont aussi réactives et peuvent être des précurseurs de radicaux libres (**Favier, 2003**).

**Tableau 5** : Nature et sources cellulaires des espèces réactives de l'oxygène (**Dacosta, 2003**) :

ROS	Sources cellulaire	Formule chimique
✚ L'anion superoxyde	✚ Réaction semble surtout catalysée par des NADPH oxydases membranaires	✚ $O_2 + e^- \rightarrow O_2^{\bullet -}$
✚ Le peroxyde d'hydrogène	✚ par le superoxyde dismutase ou produit par réduction bivalente de l'oxygène grâce à un grand nombre de déshydrogénases	✚ $O_2^{\bullet -} + O_2^{\bullet -} + 2H^+ \rightarrow H_2O_2 + O_2$
✚ Le radical hydroxyle HO•	✚ métaux de transition, le cuivre et le fer sous leur forme réduit par une réaction appelée réaction de fenton	✚ $H_2O_2 + Fe^{++} \rightarrow OH^{\bullet} + OH^- + Fe^{+++}$
✚ Radicaux alkyles R• et peroxyde ROO•	✚ l'addition de l'oxygène sur les radicaux centré sur le carbone R•. ✚ l'action des radicaux hydroxyles sur les substrats biologiques	✚ $R^{\bullet} + O_2 \rightarrow RO_2^{\bullet}$ ✚ $OH^{\bullet} + RH \rightarrow R^{\bullet} + H_2O$
✚ Le monoxyde d'azote NO	✚ synthétisé dans la cellule endothéliale à partir de l'arginine et l'O <sub>2</sub> grâce à l'action d'enzymes appelées NO synthase	✚ $O_2 + Arginine + NADPH \rightarrow NO^{\bullet} + Citrulline + H_2O + NADP^+$

## II.2. Les systèmes antioxydants

Les antioxydants sont des composés naturels ou synthétiques, permettent de ralentir le phénomène d'oxydation et protéger le système cellulaire contre les effets délétères potentiels des processus ou réactions qui engendrent une oxydation excessive (**Macheix et al., 2005**).

Les antioxydants arrêtent les réactions dans la plupart du temps, grâce à leurs structures relativement stable. On distingue :

### II.2.1. Les Antioxydants enzymatiques endogènes

L'organisme humain possède un système enzymatique, constitué principalement de trois enzymes: le superoxyde dismutase (SOD), la catalase et la glutathion peroxydase (GPx) (**Favier, 2006**). Ces enzymes ont une action complémentaire sur la cascade radicalaire au niveau du superoxyde et du peroxyde d'hydrogène, conduisant finalement à la formation d'eau et d'oxygène moléculaire selon le tableau suivant (**Dacosta, 2003**).

**Tableau 6:** Les Antioxydants enzymatique endogènes (Haleng et al., 2007)

Enzyme	Localisation	Réaction chimique
 Super oxyde dismutase (Cu, Zn-SOD, Mn-SOD)	 le cytoplasme et la mitochondrie	 $2 O_2^{\bullet -} + 2 H^+ \rightarrow H_2O_2 + O_2$
 Catalase (cat)	 les peroxysomes	 $H_2O_2 + H_2O_2 \rightarrow 2 H_2O + O_2$
 Glutathion peroxydase (GPx)	 le cytosol et la matrice mitochondriale	 $2GSH \text{ (réduit)} + H_2O_2 \rightarrow GSSG \text{ (oxydé)} + 2H_2O$ .  $2GSH \text{ (réduit)} + ROOH \rightarrow GSSG \text{ (oxydé)} + ROH + H_2O$

### II.2.2. Les antioxydants non-enzymatiques endogènes

Ce système inclus de nombreux thiols dont les majoritaires sont :

- **le glutathion** : largement présent sous forme réduite, qui est capable de réagir, *in vitro*, avec les radicaux HO•, RO2•, RO•, 1O2, ONOO-, des radicaux centrés sur le carbone, mais aussi l'acide hypochloreux HOCl. Il est aussi capable de participer à l'activité enzymatique (Masella et al., 2005).
- **l'acide lipoïque** : composé appartenant aux thiols, présentent des propriétés antioxydantes *in vitro* en piégeant les HO•, RO2•, l'HOCl et l'1O2. En se liant à des métaux comme le fer et le cuivre, il permet de les désactiver d'un point de vue catalytique, et a la capacité de régénérer certains antioxydants endogènes et exogènes (Smith et al., 2004).
- **L'acide urique, la bilirubine, les mélanines et la mélatonine** : possède des propriétés antioxydantes *in vitro* contre les HO• et RO2•, la bilirubine, les mélanines et la mélatonine (Haleng et al., 2007).

### II.2.3. Les Antioxydants exogènes

Les plantes constituent des sources très importantes d'antioxydants naturels, dont nombreuses molécules issues de notre alimentation comme la vitamine E, l'acide ascorbique, le  $\beta$ -carotène, les flavonoïdes, les composés phénoliques,...etc. (Haleng et al., 2007).

#### II.2.3.1. Vitamine E (tocophérol)

La vitamine E est un antioxydant majeur liposoluble. C'est un composé amphiphile, capable de s'insérer dans les membranes cellulaires : globules rouges, cellules endothéliales, cellules musculaires, neurones (c'est le seul antioxydant du système nerveux central). La forme alfa tocophérol est la plus active parmi les autres formes de cette vitamine (Leverve et al., 2009).

### II.2.3.2. Vitamine C (acide ascorbique)

C'est une molécule hydrosoluble présente dans la plupart des fruits et légumes. Ses propriétés antioxydantes sont attribuées à sa capacité d'être réduit en radical ascorbyle après la perte d'un électron ou d'un proton. Ce radical peut facilement s'oxyder en captant l'anion superoxyde et certaines espèces radicalaires. (Leverve et al., 2009).

### II.2.3.3. Caroténoïdes

Ils sont regroupés en deux grandes familles : les carotènes et les xanthophylles. L'activité antioxydant de ces molécules repose principalement sur la présence de nombreuses doubles liaisons conjuguées au sein de leur structure, tous les caroténoïdes dérivent d'une structure linéaire (C<sub>40</sub>H<sub>56</sub>) avec de nombreuses doubles liaisons. Le chef de file des caroténoïdes est le β-carotène, également appelé provitamine A il se retrouve avec des quantités importantes dans les algues précisément les algues marines brunes (Haleng et al., 2007).

### II.2.3.4. Composés phénoliques

Ces substances sont très utilisées dans la médecine traditionnelle et moderne pour leurs activités antioxydantes, vue leurs propriétés redox les plus élevées, les polyphénols agissent comme des agents réducteurs. Globalement, ce sont d'excellents piègeurs des ERO. Ils sont présents sous plusieurs formes dans les différentes plantes tel la forme d'epicatechine dans les algues brunes (Leverve et al., 2009).

Deuxième partie :  
Partie expérimentale

# Chapitre III :

## Matériel et méthodes

### III.1. Matériel biologique

#### III.1.1. Choix du matériel végétal

L'algue *Padina pavonica* est une macroalgue appartenant au groupe des algues brunes (phéophycées). Elle a été récoltée au mois de Mai 2018 dans la plage Oulad Bounar à 4 Km de chef lieu de Jijel.

Le choix de cette espèce a pour but de valoriser la biomasse algale de la côte Est algérienne en déterminant leur activité antioxydante *in vitro*.

#### III.1.2. Présentation de la région de récolte des échantillons d'algue

##### III.1.2.1. Cadre géographique

La région de Jijel fait partie du Sahel littoral de l'Algérie ; elle est située au Nord-Est entre les latitudes 36° 10 et 36° 50 Nord et les longitudes 5° 25 et 6° 30 Est. Le territoire de la wilaya dont la superficie s'élève à 2396 km<sup>2</sup> est bordé:

- ✓ Au Nord par la méditerranée.
- ✓ Au Sud par la wilaya de Mila.
- ✓ Au Sud-Est par la wilaya de Constantine.
- ✓ Au Sud-Ouest par la wilaya de Sétif.
- ✓ La wilaya de Skikda délimite la partie Est, tandis que celle de Bejaia borde la partie Ouest.



**Figure 5:** Situation géographique de la wilaya de Jijel.

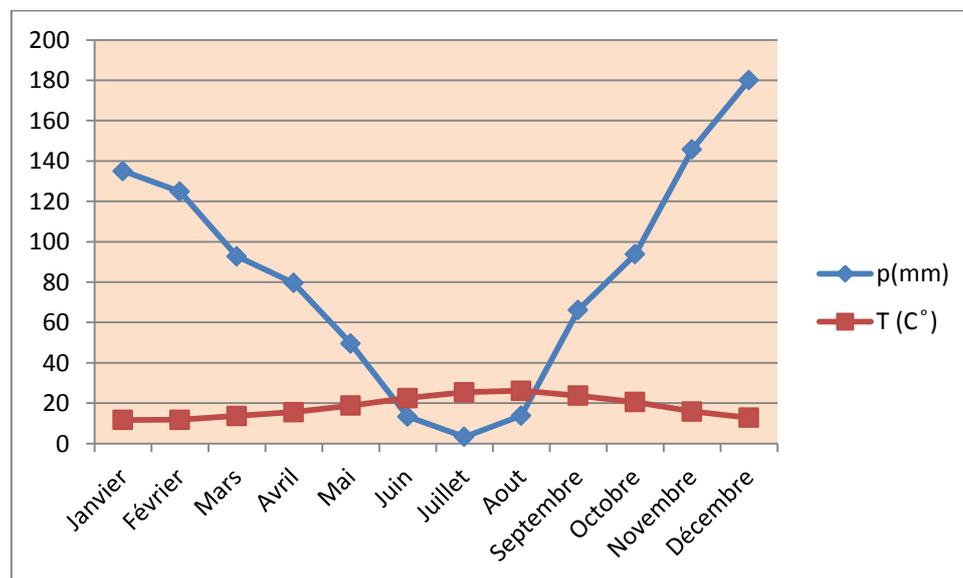
### III.1.2.2. Cadre climatologique

La Wilaya de Jijel bénéficie d'un climat tempéré avec un hiver doux caractéristique des zones méditerranéennes.

L'analyse du climat se fera sur plusieurs paramètres, notamment les précipitations et les températures qui représentent les paramètres les plus importants, de part leur quantité annuelle, et leur répartition dans l'espace et dans le temps (**tableau 7**) (**figure 6**).

**Tableau 7:** Répartition de la moyenne mensuelle de la température  $T(^{\circ}\text{C})$  et des précipitations  $p$  (mm) entre 1997 et 2017 (**source : ONM de Jijel, 2018**).

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
P (mm)	135,0	124,8	92,8	79,6	49,6	13,4	03,3	13,8	66,2	93,8	145,8	180,0
T( $^{\circ}\text{C}$ )	11.7	11.8	13.7	15.6	18.8	22.5	25.4	26.2	23.7	20.6	15.9	12.8



**Figure 6:** Chromatographe de variation mensuelle de la température  $T(^{\circ}\text{C})$  et des précipitations  $p$  (mm) entre 1997 et 2017.

### III.1.2.3. Site d'échantillonnage

Nous avons pris notre échantillon à partir de la plage de Oueled bouнар qui est situé à l'ouest de chef lieu de la wilaya de Jijel à 4 Km (**figure 7 et 8**).



**Figure 7** : Localisation de site d'échantillonnage

**Figure 8**: Photo de la plage de Oueled Bouнар

### III.1.2.4. Récolte et conservation des échantillons

Après la récolte à la main des échantillons d'algues au niveau de la plage d'Ouled Bouнар, ils ont été immédiatement transportés au laboratoire pour être nettoyés manuellement, débarrassés de toutes impuretés et débris et rincés par l'eau distillée, puis séchés à l'air libre ensuite à l'étuve sous une température de 40 °C pendant 24 heures (**Annexe 3**). Lorsque on obtient la déshydratation complète, la matière donc subit un broyage jusqu'à l'obtention d'une poudre moyenne utilisable pour les différents traitements.

L'identification de l'espèce a été faite on se basant sur les données fournies par la base globale sur les espèces de tous les groupes d'algues (algaeBASE) (**Figure 9 et 10**). La classification de l'espèce retenue pour l'étude a été confirmée par **Mr Laib** (Laboratoire de la Biotechnologie, Environnement et Santé de l'université de Jijel).



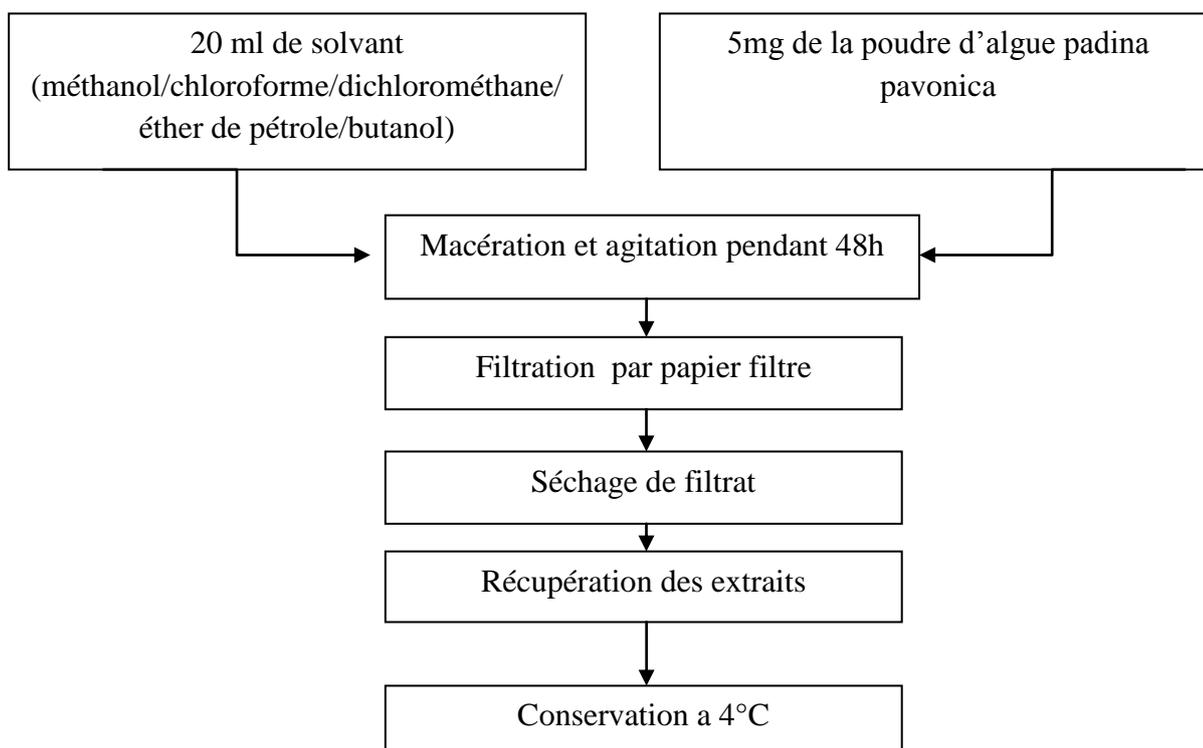
**Figure 9** : Image de *padina pavonica*

**Figure 10** : Photo de *padina pavonica* sur site

## III.2. Méthodes

### III.3.1. La préparation des extraits bruts

La méthode d'extraction que nous avons adoptée est la méthode de macération à froid. Dans des flacons en verre on ajoute 20 ml de chaque solvants (méthanol/ chloroforme/ dichlorométhane / éther de pétrole/ butanol) sur 5mg de la matière sèche broyée de *Padina pavonica*, après agitation par agitateur magnétique multiposte à l'obscurité pendant 48h, on filtre les solutions sur papier filtre. Les extraits secs sont récupérés après séchage des filtrats à l'aire libre dans des boîtes Petri dans un volume adéquat de chaque solvant pour obtenir une concentration de 100 mg/ml. Tous les extraits étaient conservés à 4°C pour une utilisation ultérieure (**Figure 11**) (**Chbani, 2011**).



**Figure 11:** Protocole de préparation des extraits.

#### ✚ Rendement d'extraction

Après l'obtention des différents extraits, on a déterminé alors leurs rendements par rapport à la quantité initiale d'algue sèche selon la formule suivante : (**Ainane, 2011**).

$$\text{Rdt} = (m_{\text{extrait}} / m_{\text{algue}}) 100$$

Sachant que :

$m_{\text{extrait}}$  : La masse de l'extrait (g).

$m_{\text{algue}}$  : La masse de l'algue sèche (g).

## III.2.2. Dosage des composés phénoliques

### III.2.2.1. Dosage des composés phénoliques totaux (CPT)

La teneur totale en composés phénoliques a été mesurée à l'aide de la méthode Folin-Ciocalteu, pour les cinq extraits méthanolique, chloroformique, dichlorométhanique, étherique et butanolique. Cette méthode a été choisie parce qu'elle donne des résultats plus cohérents et qu'elle est moins affectée par les composés non phénoliques interférents que par d'autres méthodes colorimétriques (Mannino *et al.*, 2014).

#### ✚ Principe de la méthode spectrophotométrique de Folin-Ciocalteu

La méthode de Folin Ciocalteu est basée sur le principe des réactions colorimétriques, dont le réactif de couleur jaune est constitué par le mélange d'acide phosphotungstique avec d'acide phosphomolybdique. C'est une réaction d'oxydoréduction, Lorsque l'oxydation des polyphénols s'effectue, le réactif Folin-Ciocalteu se réduit en un complexe donnant une couleur bleue (constitué d'oxyde de tungstène et de molybdène). Sachant que l'intensité de la couleur est proportionnelle aux taux des composés phénoliques oxydés (Boizot et Charpentier, 2006).

#### ✚ Mode opératoire

On introduit par une micropipette un volume de 200µl de chaque extrait obtenu de *Padina pavonica* de concentration 100µg/ml dans des tubes à essai avec 1ml du réactif de Folin-Ciocalteu (dilué à 10%) et 800µl de carbonate de sodium (7.5%). Après agitation par le vortex et incubation durant 30 min à température ambiante et à l'obscurité, l'absorbance est mesurée à 760 nm contre un blanc à l'aide d'un spectrophotomètre. La courbe d'étalonnage est réalisée en utilisant l'acide gallique comme standard par la même méthode et dans les mêmes conditions opératoires (Kahkonen *et al.*, 1999). Pour chaque extrait le test est répété 3 fois (Figure 12). Les résultats sont exprimés en µgEAG/mgMS.

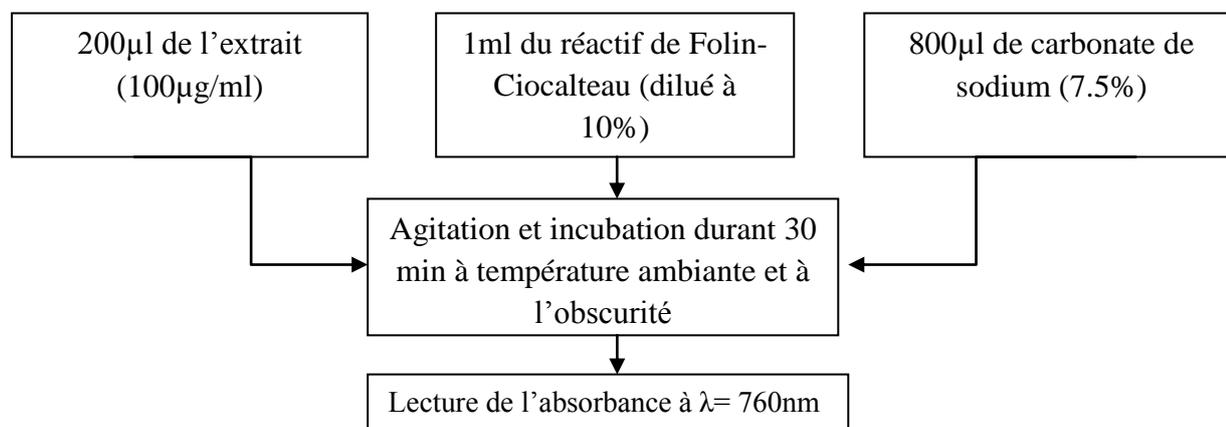


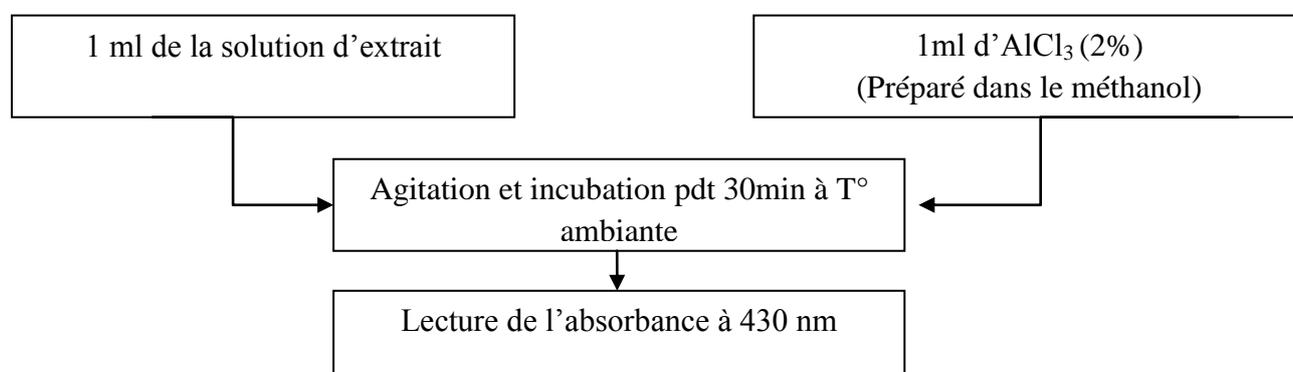
Figure 12 : Protocole de dosage des polyphénols.

### III.2.2.3. Dosage des flavonoïdes

La méthode colorimétrique au chlorure d'aluminium a été utilisée pour la détermination de la teneur en flavonoïdes. Dont la quercétine est considéré comme un étalon.

#### ✚ Mode opératoire

Un volume de 1ml de la solution d'extrait est ajouté à 1ml d' $\text{AlCl}_3$  (2%) préparé dans le méthanol. Le mélange est vigoureusement agité, puis incubé à l'abri de la lumière à température ambiante pendant 30minutes. L'absorbance est mesurée à 430 nm. La teneur en flavonoïdes de l'extrait est obtenue en se référant à une courbe d'étalonnage. Les résultats sont exprimés en milligramme d'équivalent de quercétine par gramme de matière sèche de l'algue (mg EQ/ g MS). Pour chaque extrait l'expérience est répétée trois fois (**Kosalec et al., 2004**). (**Figure 13**).



**Figure 13** : Protocole de dosage des flavonoïdes.

### III.3. Evaluation de l'activité anti oxydant

Il existe plusieurs méthodes pour l'évaluation de l'activité antioxydante. La plupart de ces méthodes sont basées sur la coloration ou décoloration d'un réactif dans le milieu réactionnel. Dans notre étude nous avons utilisé trois différents tests chimiques à savoir : le test de la capacité antioxydant totale (CAT). L'effet scavanger sur le radical 2,2diphényl1-1-picrylhydrazyl (DPPH) et le test de pouvoir réducteur des composés phénoliques (Reducing Power Assay).

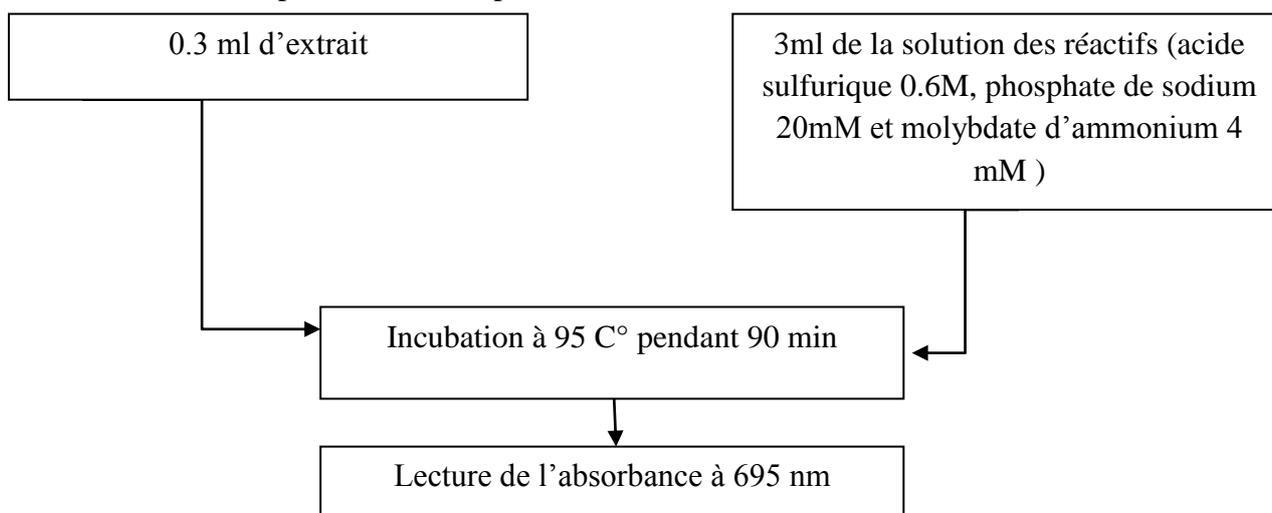
#### III.3.1. La capacité antioxydante totale (CAT)

##### ✚ Principe

La capacité antioxydante totale (CAT) des extraits est évaluée par la méthode de phosphomolybdène (**Prieto et al., 1999**). Cette technique est basée sur la réduction de molybdène Mo (VI) présent sous la forme d'ions molybdate  $\text{MoO}_4^{2-}$  à molybdène Mo (V)  $\text{MoO}^{2+}$  en présence de l'extrait pour former un complexe vert de phosphate/ Mo(V) à pH acide.

### ✚ Mode opératoire

Un volume de 0.3 ml d'extrait est mélangé avec 3ml de la solution des réactifs (acide sulfurique 0.6M, phosphate de sodium 20mM et molybdate d'ammonium 4mM). Les tubes sont visés et incubés à 95°C pendant 90 min (**Figure 14**). Après refroidissement, l'absorbance des solutions est mesurée à 695 nm contre un blanc. Le blanc est préparé en mélangeant 3ml de la solution de réactifs et 0.3ml de méthanol et il est incubé dans les mêmes conditions que l'échantillon. La capacité antioxydante totale est exprimée en milligramme équivalent d'acide ascorbique par gramme de matière algale sèche (mg EAA/g MS). L'acide ascorbique est utilisé comme étalon. Les expériences sont répétées trois fois (**Annexe 3**).



**Figure 14:** Protocol d'étude de La capacité antioxydante totale.

### III.3.2. Effet scavanger du radical DPPH (diphényl picryl-hydrazyl)

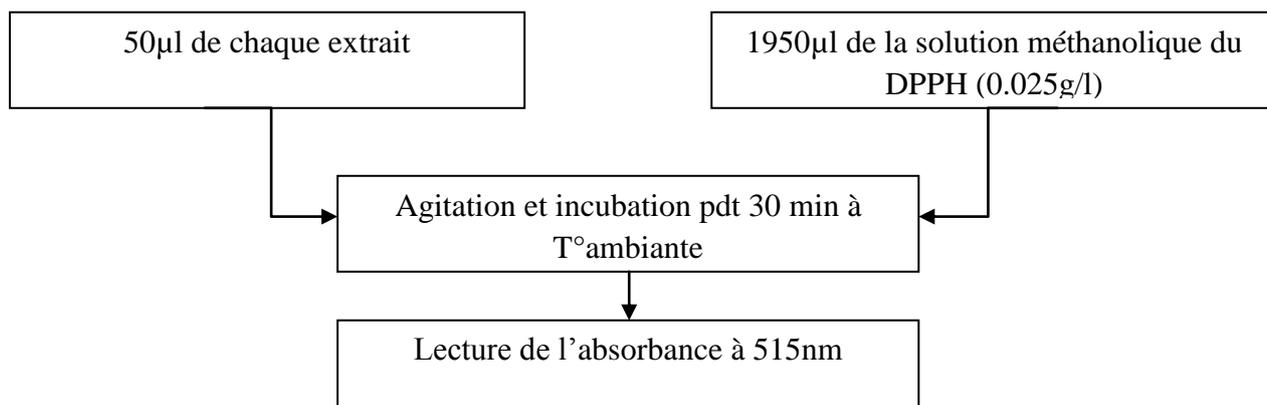
#### ✚ Principe

Le DPPH (2,2- diphényl -1-picryl-hydrazyl) est un radical libre stable .En présence de composés anti radicalaires, le DPPH de couleur violette se réduit en 2,2- diphényl -1-picryl-hydrazyl de couleur jaune (**Maataoui et al., 2006**).

#### ✚ Mode opératoire

Un volume de 50µl de différentes concentrations de chaque extrait est ajouté à 1950µl de la solution méthanolique du DPPH (0.025g/l) fraîchement préparée. En ce qui concerne le contrôle négatif, ce dernier est préparé en parallèle en mélangeant 50µl de méthanol avec 1950µl d'une solution méthanolique de DPPH à la même concentration (**Figure15**).

Après incubation à l'obscurité pendant 30 min et à température ambiante, la lecture des absorbance est effectuée à 515nm à l'aide d'un spectrophotomètre contre un contrôle négative (**Naghraoui, 2012**) (**Annexe 3**).



**Figure 15:** Protocole d'évaluation de l'activité antioxydant par la méthode de piégeage du radical libre DPPH.

### ✚ Expression des résultats

L'activité antiradicalaire est estimée selon l'équation ci-dessous :

$$I\% = [(Ac - At) / Ac] \times 100$$

- ✓ **I%**: pourcentage d'inhibition ou d'activité antiradicalaire.
- ✓ **Ac**: absorbance de contrôle négatif.
- ✓ **At** : absorbance de l'extrait.

(Talbi H *et al.*, 2014).

**NB :**

- ✓ Le contrôle positif est représenté par une solution d'un antioxydant standard ; l'acide ascorbique dont l'absorbance a été mesuré dans les mêmes conditions que les échantillons.
- ✓ Pour chaque concentration, le test est répété 3 fois.
- ✓ Les valeurs de l'IC50 ont été déterminées graphiquement par la régression linéaire.

### III.3.3. Le pouvoir réducteur des composés phénoliques (Reducing Power Assay)

#### ✚ Principe

Le pouvoir réducteur d'un extrait est associé à son pouvoir antioxydant. Cette technique a été développée pour mesurer la capacité des extraits testés à réduire le fer ferrique ( $Fe^{3+}$ ) présent dans le complexe  $K_3Fe(CN)_6$  en fer ferreux ( $Fe^{2+}$ ). En effet, le  $Fe^{3+}$  participe à la formation du radical hydroxyle par la réaction de Fenton.

Une augmentation de l'absorbance correspond à une augmentation du pouvoir réducteur des extraits testés (Beddou, 2015).

### Mode opératoire

Le pouvoir réducteur a été déterminé suivant la méthode préconisée par (Oyaizu, 1986). 0.5ml d'extraits de différentes concentrations suivis de l'addition de 1.25 ml d'une solution  $K_3Fe(CN)_6$  (1%) et 1.25 ml de solution tampon phosphaté (pH=6.6 C=0.2M). Après agitation le mélange est incubé a 50°C pendant 30 min, puis ,un volume de 2.5ml de TCA 10% est additionné au mélange avant d'être centrifugé a 3000 tours/min pendant 10 min, a partir de ces tubes, 1.25 ml sont prélevés puis additionnées de 1.25 ml d'eau distillée et de 0.25ml de  $FeCl_3$  (0.1 %) (Figure 16). L'absorbance de chaque solution est mesurée à 700nm à l'aide d'un spectrophotomètre. L'acide ascorbique est utilisé comme contrôle positif dans cette expérience dans les mêmes conditions opératoires (Annexe 3).

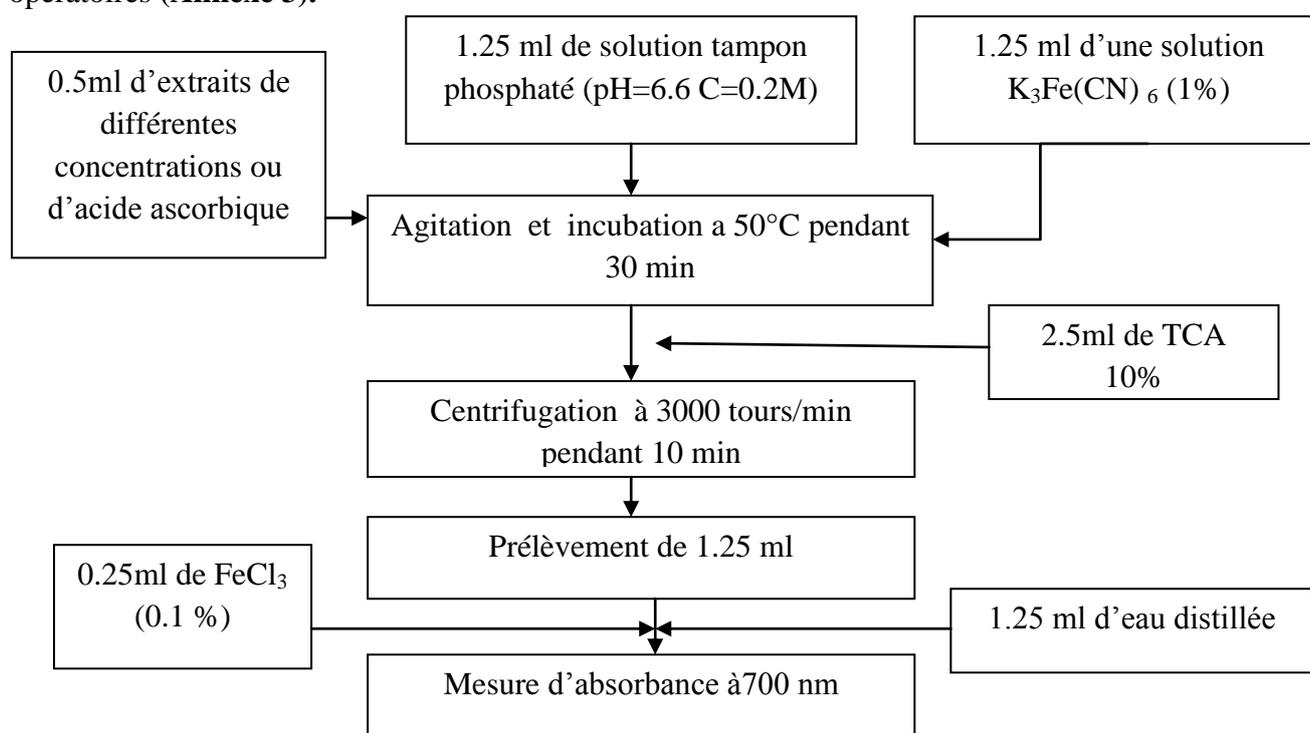


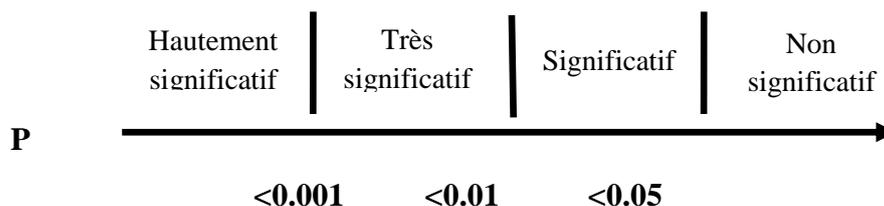
Figure 16: Protocole d'étude de pouvoir réducteur.

### III.4. Analyse statistique des données

La comparaison des valeurs enregistrées entre les cinq extraits pour étudiée la différence à été réalisé par ANOVA à un facteur et le test de STUDENT pour comparé chaque deux extraits.

#### Le seuil de signification

Le seuil de signification est représenté comme suit :



\*\*\* : Hautement significatif    \*\* : Très significatif    \* : Significatif    NS : Non significative

# Chapitre IV:

## Résultats et discussion

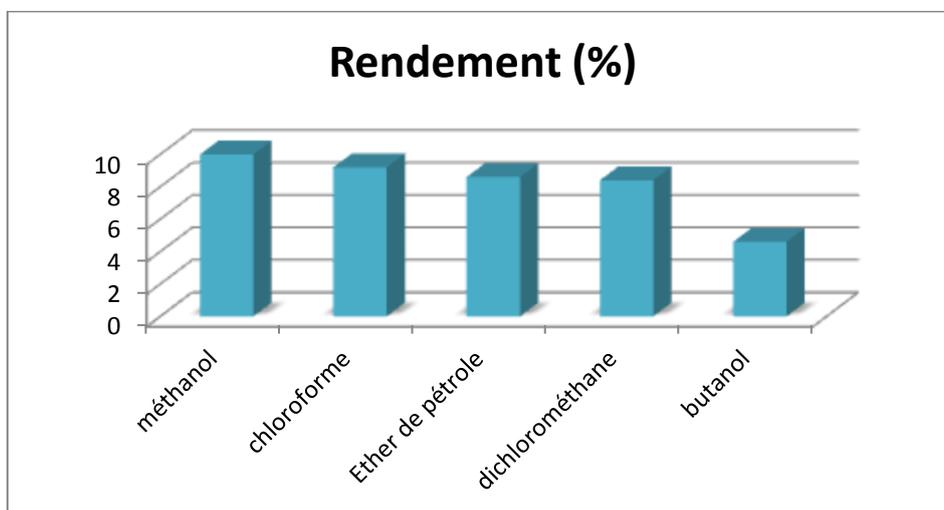
## IV.1. Résultats et interprétation

### IV.1.1. Détermination de rendement d'extraction

Les extractions effectuées par la méthode de macération durant 48h en utilisant les solvants : méthanol, chloroforme, éther de pétrole, dichlorométhane, et butanol nous permet de calculer le rendement de chaque extrait qui est exprimé en pourcentage pour 100 g du matériel végétal sec et broyé. Les résultats obtenus sont illustrés dans le **tableau 8** et la **figure 15**:

**Tableau 8** : Tableau récapitulatif regroupant les rendements des différents extraits bruts.

Extrait	Masse (g)	Couleur	Rendement (%)
Méthanol	0.5	Vert	10
Chloroforme	0.46	Vert	9.2
Éther de pétrole	0.43	Jaune clair	8.6
Dichlorométhane	0.42	Marron	8.4
Butanol	0.23	Vert	4.6



**Figure 15** : Rendements des extraits bruts exprimés en pourcentage.

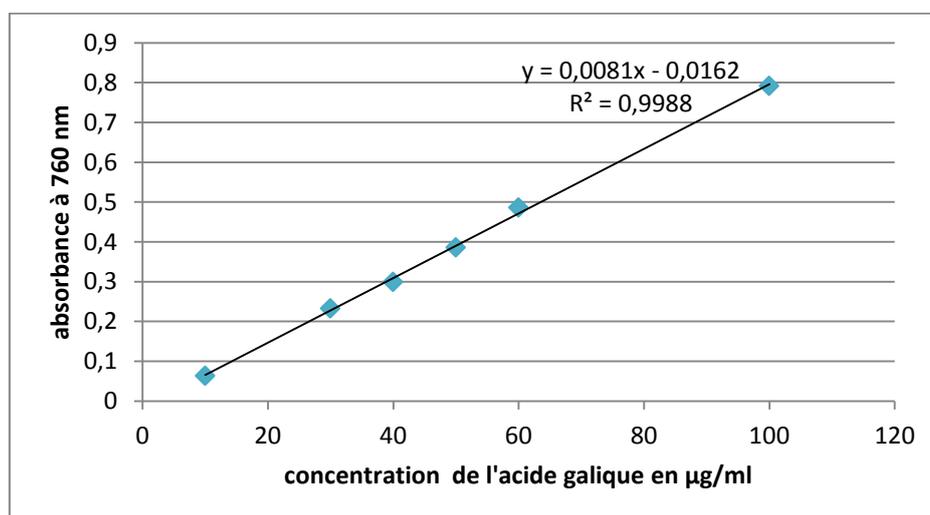
Nous constatons que l'extrait brut méthanolique donne un meilleur rendement de 10 % suivi par l'extrait chloroformique de 9.2 %, et les extraits étherique et dichlorométhanique de 8.6 % et 8.4 % respectivement. C'est pour le butanol qu'on a enregistré le rendement d'extraction le plus faible évalué à 4.6 %.

L'analyse statistique des résultats réalisée par le test ANOVA montre qu'il y'a une différence significative entre les rendements des différents extraits. Le test de student nous a permis de constater une différence hautement significative entre l'extrait méthanolique et l'extrait butanolique ( $p < 0.001$ ) et une différence non significative ( $p > 0.05$ ) entre l'extrait chloroformique et l'extrait méthanolique.

#### IV.1.2. Dosage des composés phénoliques

##### IV.1.2.1. Dosage des composés phénoliques totaux

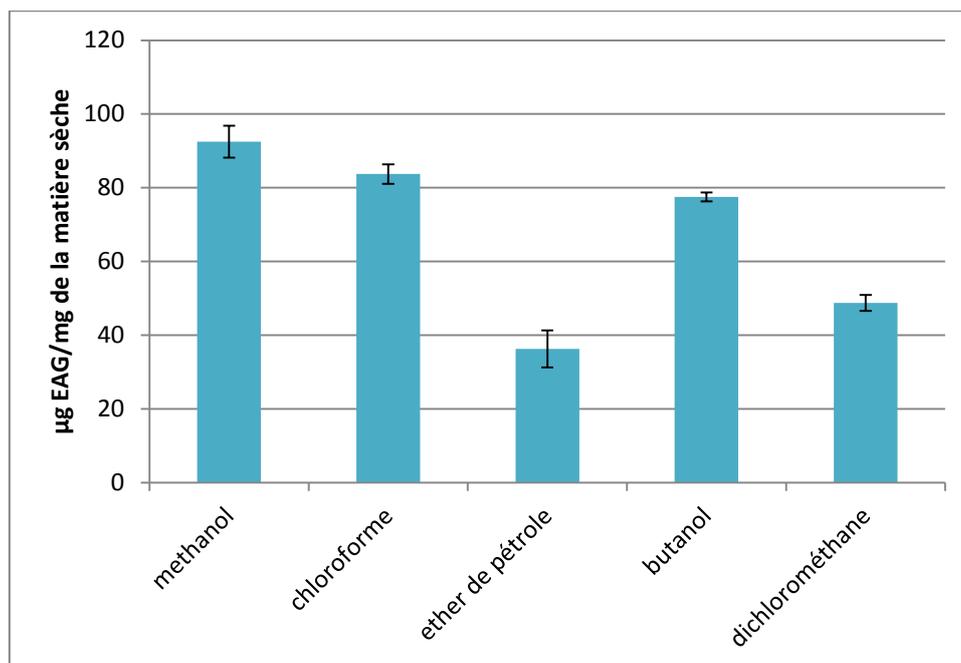
Les résultats obtenus des teneurs en polyphénols des différents extraits de l'espèce *Padina pavonica* sont illustrés dans le **tableau 9** et la **figure 17**. Les concentrations sont exprimées en microgrammes équivalent d'acide gallique par milligramme de la matière sèche en utilisant l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage (**Figure 16**).



**Figure 16:** Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des polyphénols.

**Tableau 9:** Quantité des phénols totaux dans les différents extraits.

Extrait	La quantité moyenne des polyphénols (µg EAG/mg MS) ± SD
Méthanol	92.5 ± 4.33
Chloroforme	83.7 ± 2.60
Ether de pétrole	36.25 ± 5
Butanol	77.5 ± 1.25
Dichlorométhane	48.75 ± 2.16



**Figure 17** : Teneurs en polyphénols totaux dans les différents extraits.

L'étude statistique par ANOVA montre une différence significative entre les teneurs des extraits en polyphénols ( $p < 0.001$ ).

L'analyse des composés phénoliques montre que l'extrait méthanolique obtenu à partir de l'algue brune *Padina pavonica* possède la teneur la plus élevée en phénols totaux de  $92,5 \pm 4,33$  µg EAG/mg MS alors que la plus faible valeur a été enregistrée avec l'extrait étherique de  $36,25 \pm 5$  µg EAG/mg MS. Les teneurs des autres extraits sont de l'ordre de  $83,7 \pm 2,60$ ,  $77,5 \pm 1,25$  et  $48,75 \pm 2,16$  µg EAG/mg MS pour le chloroforme, butanol et dichlorométhane respectivement.

#### IV.1.2.2. Dosage des flavonoïdes

La détermination quantitative des flavonoïdes a été réalisée par la méthode de trichlorure d'aluminium, dont les résultats obtenus sont présentés par une moyenne de trois répétitions  $\pm$  l'écart type est exprimé en milligrammes équivalent de quercétine par gramme de la matière sèche en utilisant l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage (**Figure 18**). Les résultats de dosage sont présentés dans le **tableau 10** et **figure19**.

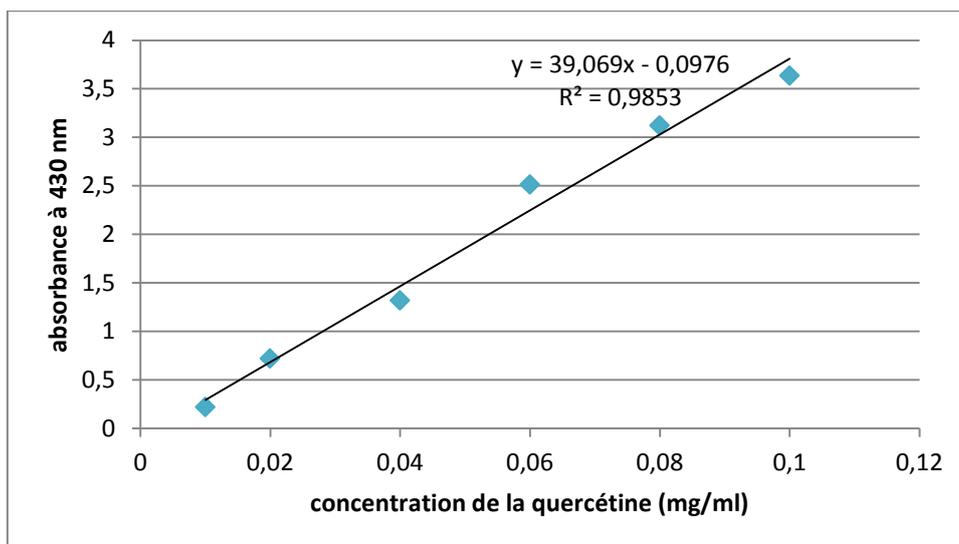


Figure 18 : Gamme d'étalonnage de la quercétine pour le dosage des flavonoïdes.

Tableau 10 : Quantité des flavonoïdes dans les différents extraits (mg EQ/g MS).

Extraits	Quantité moyenne des flavonoïdes en mg EQ/g MS ±SD
Extrait méthanolique	6.37±0.06
Extrait chloroformique	6.14±0.185
Extrait étherique	4.14±0.141
Extrait butanolique	6.5±0.214
Extrait dichlorométhane	5.85±0.602

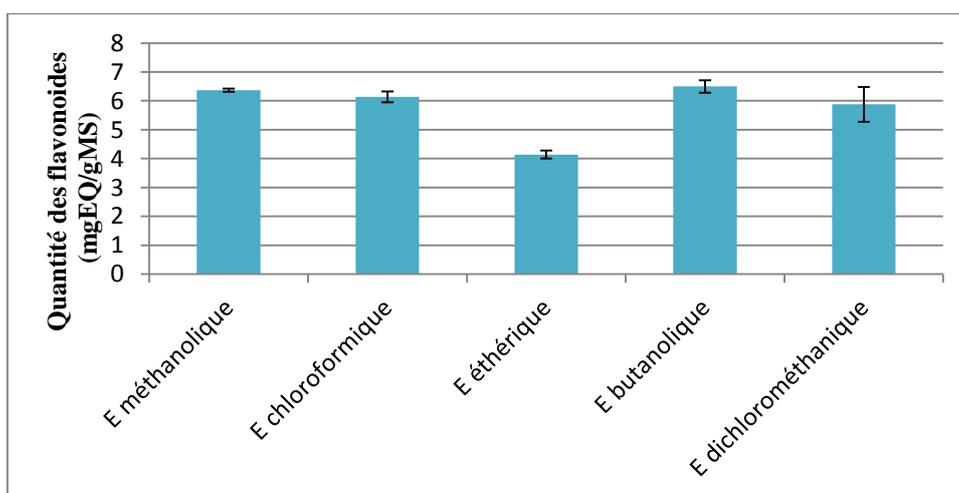


Figure 19 : Quantité des flavonoïdes dans les différents extraits (en mg EQ/g MS)

D'après l'analyse des résultats obtenus par le test statistique ANOVA, on a trouvé une différence significative entre les teneurs des extraits en flavonoïdes ( $p < 0.001$ ). La concentration la plus élevée en flavonoïdes dans cette étude est enregistrée dans l'extrait butanolique avec 6,5 mg EQ/g MS. Le test de student nous a permis de noter des différences de concentrations en flavonoïdes non significatives ( $p > 0.05$ ) au sein des trois extraits (méthanol, chloroforme et butanol), cependant les différences sont significatives entre chacun des trois derniers extraits et les extraits dichlorométhane et éther de pétrole dont on a enregistré les plus faibles concentrations ( $5.85 \pm 0.602$  et  $4.14 \pm 0.141$  mg EQ/g MS respectivement).

#### IV.1.3. Evaluation de l'activité antioxydante

Le pouvoir antioxydant des différents extraits de l'algue brune *Padina pavonica* est évalué par trois tests qui sont la capacité antioxydante totale, Piégeage du radical libre DPPH et le pouvoir réducteur.

##### IV.1.3.1. Capacité antioxydante totale (CAT)

La capacité antioxydante totale des extraits étudiés est exprimée en milligramme équivalents d'acide ascorbique par g de MS (mg EAA/g MS) à partir d'une courbe d'étalonnage ( $y = 0,004x - 0,0847$  ;  $R^2 = 0,994$ ) (figure 20). Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 11 et la figure 21.

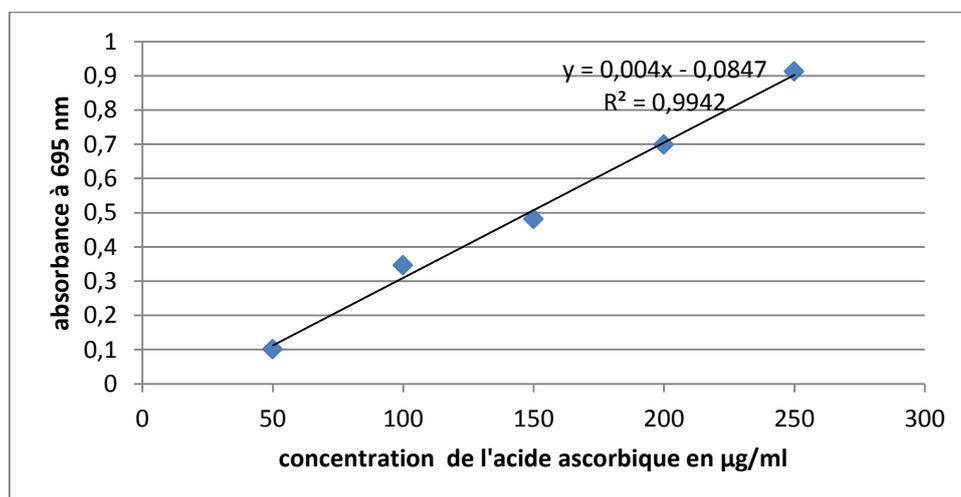
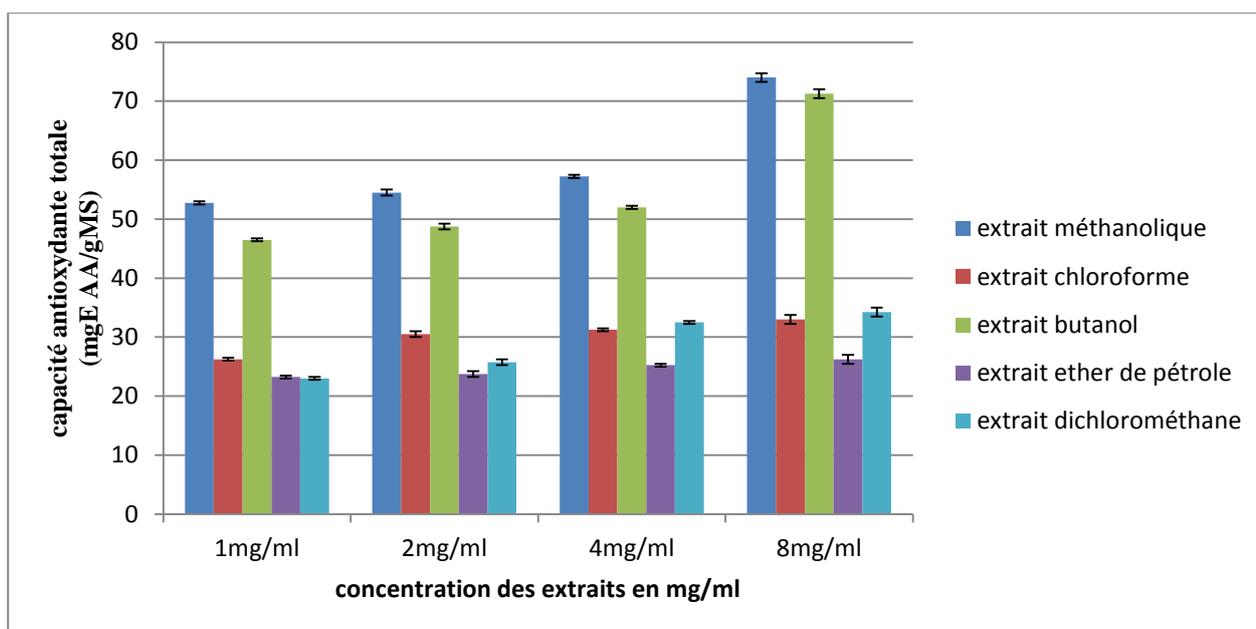


Figure 20 : Gamme d'étalonnage de l'acide ascorbique.

**Tableau 11:** Capacités antioxydantes totales des différents extraits exprimées en mg EAA/g ES.

	1mg/ml	2mg/ml	4mg/ml	8mg/ml
<b>Extrait méthanolique</b>	52.75 ± 0.5	54.5 ± 0.25	57.25 ± 0.25	74 ± 0.75
<b>Extrait chloroformique</b>	26.25 ± 0.75	30.5 ± 0.75	31.25 ± 0.25	33 ± 0.25
<b>Extrait butanol</b>	46.5 ± 0.25	48.75 ± 0.5	52 ± 0.5	71.25 ± 0.75
<b>Extrait étherique</b>	23.25 ± 0.25	23.75 ± 0.25	25.25 ± 0.5	26.25 ± 0.5
<b>Extrait dichlorométhanique</b>	23 ± 0.25	25.75 ± 0.5	32.5 ± 0.25	34.25 ± 0.75

**Figure 21:** Comparaison de la capacité antioxydante totale des différents extraits.

Nous observons d'après les résultats obtenus que l'estimation de la CAT des différents extraits a montré une variabilité hautement significative ( $p < 0.001$ ) en fonction de la nature de solvant (méthanol, chloroforme butanol, dichlorométhane, et l'éther de pétrole), ainsi une augmentation très significative ( $p < 0.01$ ) en fonction de la concentration. Le test de student nous a montré que la capacité antioxydante totale est hautement significative entre l'extrait méthanolique et l'extrait étherique ( $p = 0.00019$ ), très significative entre l'extrait chloroformique et l'extrait

butanolique ( $p=0.0029$ ) et significative entre l'extrait éthérique et dichlorométhanique ( $p=0.08$ ). (**annexe1**)

Nous remarquons qu'aux différentes concentrations (1, 2, 4 et 8 mg/ml), l'extrait méthanolique a un pouvoir antioxydant total le plus élevé ( $52.75 \pm 0.5$ ,  $54.5 \pm 0.25$ ,  $57.25 \pm 0.25$  et  $74 \pm 0.75$  respectivement) par rapport aux extraits butanolique, chloroformique, dichlorométhanique et éthérique.

#### ✚ **Corrélation entre composés phénoliques et capacité antioxydante totale**

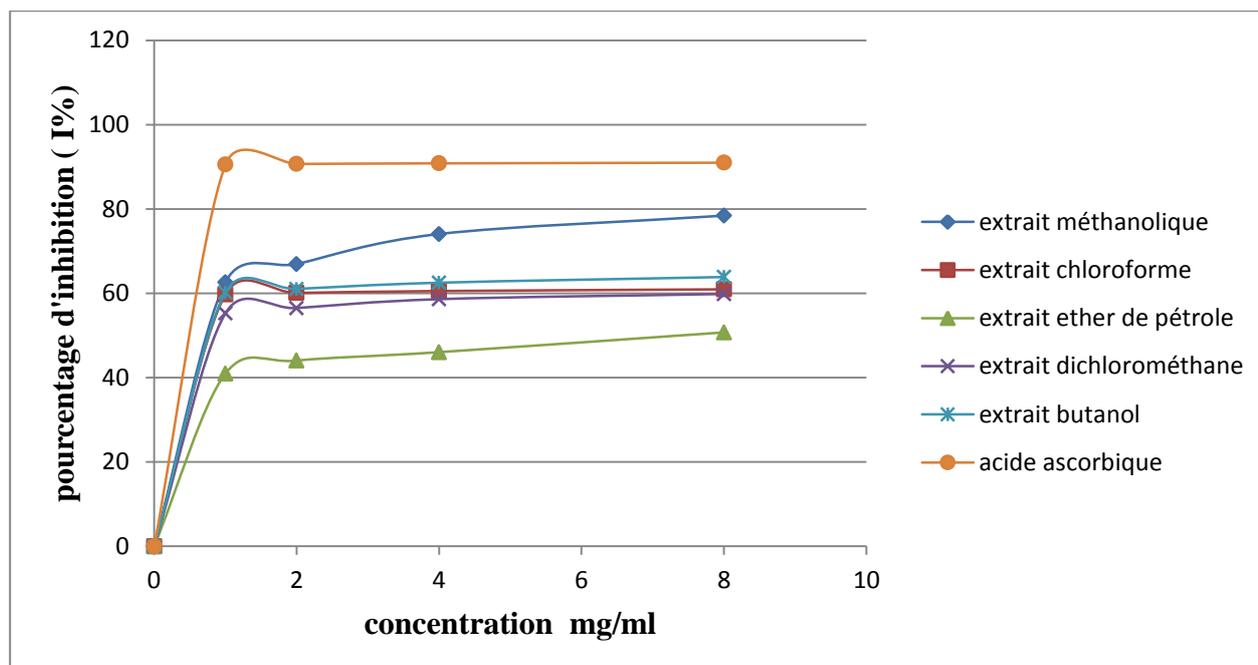
Les résultats montrent l'existence d'une moyenne corrélation ( $R^2=0.510$ ) entre les teneurs en polyphénols et ( $R^2=0.579$ ) pour les flavonoïdes et l'activité antioxydante totale (**annexe 2**)

#### **IV.1.3.2. Piégeage du radical libre DPPH (2,2-Diphényl-1-picrylhydrazyl)**

Les résultats obtenus sont présentés dans le **tableau 12** et la **figure 22** :

**Tableau 12:** Pourcentages d'inhibition du radical DPPH• d'acide ascorbique et des extraits testés (chaque valeur représente la moyenne de trois essais  $\pm$  SD).

	<b>1mg/ml</b>	<b>2mg/ml</b>	<b>4mg/ml</b>	<b>8mg/ml</b>
<b>Extrait méthanolique</b>	62.61 $\pm$ 1.26	66.93 $\pm$ 1.08	74.06 $\pm$ 1.18	78.41 $\pm$ 1.23
<b>Extrait chloroformique</b>	59.75 $\pm$ 1.21	60.07 $\pm$ 1.86	60.53 $\pm$ 1.84	60.93 $\pm$ 1.17
<b>Extrait dichlorométhane</b>	55.25 $\pm$ 1.2	56.49 $\pm$ 1.23	58.60 $\pm$ 1.09	59.83 $\pm$ 1.23
<b>Extrait éther de pétrole</b>	40.93 $\pm$ 1.25	44.03 $\pm$ 1.29	46.03 $\pm$ 1.49	50.72 $\pm$ 1.02
<b>Extrait butanol</b>	60.21 $\pm$ 1.22	61.03 $\pm$ 1.65	62.50 $\pm$ 1.07	63.85 $\pm$ 2.23
<b>Acide ascorbique</b>	89.52 $\pm$ 1.25	90.67 $\pm$ 1.22	90.82 $\pm$ 1.42	90.97 $\pm$ 1.23



**Figure 22:** Pourcentages d'inhibition du radical DPPH• d'acide ascorbique et des extraits testés.

La régression linéaire des courbes des pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH des différents extraits nous a permis de déterminer la concentration inhibitrice 50% de quantité primaire de DPPH (IC<sub>50</sub>). Les résultats obtenus sont exprimés en (mg/ml) et présentés dans le **tableau 13**.

**Tableau 13 :** valeurs d'IC<sub>50</sub> exprimées en mg/ml

Extrait	IC <sub>50</sub> (mg/ml)
Extrait méthanolique	2.01
Extrait chloroformique	3.37
Extrait étherique	6.14
Extrait dichlorométhane	3.83
Extrait butanolique	3.09
Acide ascorbique	0.011

Une différence hautement significative ( $p < 0.001$ ) a été enregistrée entre la capacité inhibitrice des différents extraits. Le test de student montre que la capacité inhibitrice diffère hautement significativement entre l'extrait méthanolique et l'extrait étherique ( $p = 0.0005$ ), très significativement entre l'extrait étherique et l'extrait Dichlorométhane ( $p = 0.0015$ ) et

significativement entre l'extrait chloroformique et l'extrait dichlorométhanique ( $p= 0.036$ ) (**Annexe 1**).

Nous constatons que le pourcentage d'inhibition du radical libre pour les extraits était inférieur à celui de l'acide ascorbique, utilisé comme référence, pour toutes les concentrations. Pour une concentration de 8mg/ml, le pourcentage d'inhibition de DPPH est de  $78.41 \pm 1.23 \%$  pour l'extrait méthanolique tandis que l'extrait *n*-butanolique est de  $63.85 \pm 2.23 \%$ , l'extrait chloroformique est de  $60.93 \pm 1.17\%$ , l'extrait dichlorométhanique est de  $59.83 \pm 1.23 \%$  et l'extrait éthérique avec un pourcentage d'inhibition de  $50.72 \pm 1.02 \%$ . Ces pourcentages correspondent à une inhibition totale du DPPH reflétée par la décoloration complète du DPPH du violet en jaune pâle.

#### ✚ **Corrélation entre composés phénoliques et Piégeage du radical libre DPPH (2,2-Diphényl-1-picrylhydrazyl)**

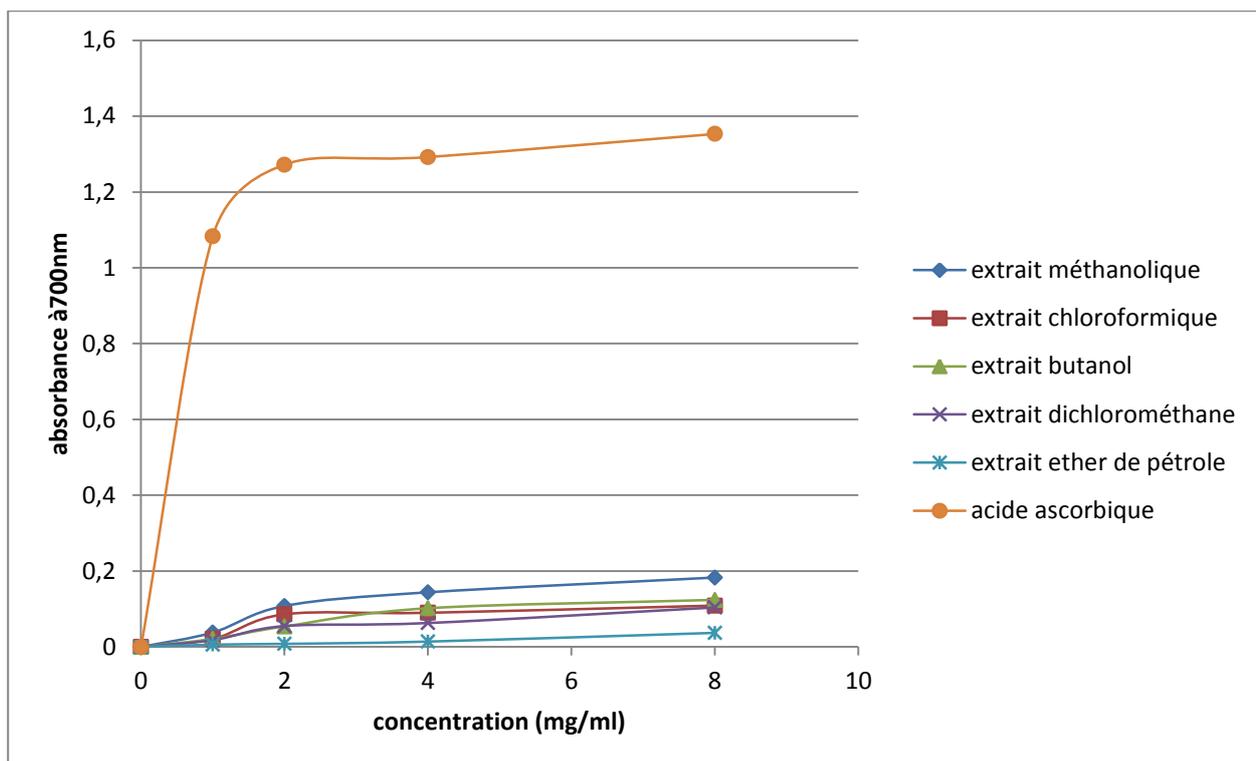
La corrélation entre la teneur des extraits en composés phénoliques et l'inhibition du radical libre DPPH présentée par IC50 montre l'existence d'une forte corrélation ( $R^2=0.763$ ) pour les polyphénols et ( $R^2=0.893$ ) pour les flavonoïdes (**Annexe 2**).

#### **IV.1.3.3. Le pouvoir réducteur**

Les résultats de l'activité réductrice des différents extraits de l'algue *Padina pavonica* sont représentés dans le **tableau 14** et la **figure 23**.

**Tableau 14** : Pouvoir réducteur des différents extraits

	1mg/ml	2mg/ml	4mg/ml	8mg/ml
<b>Extrait méthanolique</b>	0.038 ±0.003	0.108 ± 0.002	0.144 ± 0.002	0.183 ± 0.001
<b>Extrait chloroformique</b>	0.021 ±0.001	0.086±0.002	0.096 ± 0.02	0.109 ±0.002
<b>Extrait dichlorométhane</b>	0.018±0.002	0.055 ±0.001	0.063 ±0.025	0.104 ±0.002
<b>Extrait éther de pétrole</b>	0.006±0.002	0.008 ±0.0015	0.014± 0.002	0.037 ±0.002
<b>Extrait butanol</b>	0.021±0.001	0.054±0.001	0.102 ±0.002	0.124 ±0.001
<b>Acide ascorbique</b>	1.038±0.003	1.272±0.002	1.292±0.003	1.353±0.001



**Figure 23 :** Evaluation de l'activité antioxydante des extraits par la méthode de pouvoir réducteur de fer (chaque valeur représente la moyenne de trois essais  $\pm$  SD)

La capacité réductrice des différents extraits varie hautement significativement ( $p < 0.001$ ) entre les différents extraits (**Annexe 1**). A partir des résultats obtenus, on remarque que le pouvoir réducteur des extraits de *Padina pavonica* augmente d'une manière concentration dépendant c'est-à-dire que la capacité de réduction de fer est proportionnelle à l'augmentation de la concentration des d'extraits.

Les résultats obtenus montrent que la capacité des extraits de réduire le Fer est largement inférieure à celle de l'acide ascorbique. A la concentration de 8mg/ml, le pouvoir réducteur est beaucoup plus important dans l'extrait méthanolique ( $0.183 \pm 0.001$ ) par rapport à l'extrait butanolique, chloroformique, dichlorométhanique et étherique ( $0.124 \pm 0.001$ ,  $0.109 \pm 0.002$ ,  $0.104 \pm 0.002$  et  $0.037 \pm 0.002$  respectivement).

#### ✚ **Corrélation entre le pouvoir réducteur et les composés phénoliques**

Les résultats obtenus montrent l'existence d'une corrélation ( $R^2 = 0.748$ ) pour les polyphénols et ( $R^2 = 0.734$ ) pour les flavonoïdes (**Annexe 2**).

## IV.2. Discussion

Dans notre travail, nous avons réalisé le dosage des composés phénoliques (polyphénols et flavonoïdes) et évalué l'activité antioxydante des différents extraits d'une algue brune *Padina pavonica* récoltée à partir du littoral Jijelien (plage Ouled Bounar) par trois tests : capacité antioxydant totale, piégeage du radicale libre et le pouvoir réducteur du fer.

D'après les résultats d'extraction obtenus, le meilleur rendement c'était pour l'extrait méthanolique (10%) alors que le plus faible rendement était pour l'extrait butanolique (4.6%).

Ces résultats sont en accord avec ceux de Ben Abdallâh et ces collaborateurs en 2013 qui confirment que l'extrait méthanolique présente le meilleur rendement pour les espèces algues brunes *Dictyota dichotoma* à 3.01 % et *Cystoseira crinita* à 2.88%.

Les rendements d'extraction obtenus pour les différents extraits sont plus considérables que ceux reportés par l'étude réalisée par (Ainane, 2011) sur les algues brunes où il a enregistré des valeurs de 5.67% ,0.22% et 0.25% pour les extraits méthanolique, étherique et chloroformique respectivement concernant l'espèce *Cystoseira tamariscifolia* ainsi que les valeurs 8.66%, 0.92% et 1.43% concernant l'espèce *Bifurcaria bifurcata*.

Nos valeurs obtenues pour l'extrait méthanolique sont comparable à celles de (Guezzen, 2014) pour l'algue brune *Cystoseira stricta* qui trouve une intervalle de 4.33% à 11.23% durant l'année, mais, ils sont incomparables pour l'extrait étherique par une intervalle de 0.93% à 1.85%.

Selon (Turkmen et al., 2005) la granulométrie de la poudre joue un rôle primordiale, dont la faible taille des particule augmente la surface de contact avec le solvant, et donc favorise les capacités d'extraction.

Selon (Michèle et al., 2012) le rendement des extractions dépend de la polarité croissante et de la nature du solvant utilisé, aussi de la méthode d'extraction suivie (macération, décoction, infusion). Ainsi que cette différence peut être causée par le changement de temps d'échantillonnage. Par ailleurs, des études antérieures ont confirmé une variation spacio- temporelle des teneurs en composant bioactifs des algues brune (Mannino, et al., 2014).

Pour le dosage des composés phénoliques (polyphénols et flavonoïdes), les quantités les plus élevés des polyphénols sont enregistrés pour les extraits méthanolique, chloroformique et butanolique ce qui est en accord avec l'étude de (Naja et al., 2012) sur les espèces *Sargassum Vulgare* et *Padina pavonica* où il a remarqué que la valeur la plus élevée a été enregistrée pour l'extrait butanolique. Tandis que l'extrait méthanolique présente une forte teneur en polyphénols, on comparant avec les résultats de (Chakraborty et al., 2013) à 16.64 mg EAG/g MS pour l'espèce *Turbinaria Conoides*. Benabdellah et al (2017) et Mannino et al (2014) ont confirmé que les algues brunes sont les plus riches en polyphénols par rapport aux algues vertes et rouges.

(**Turkmen, 2005**) prouve que la méthode adoptée dans l'extraction ainsi que le dosage provoque une variabilité des résultats.

Concernant les flavonoïdes, la plus forte teneur a été enregistrée pour les extraits méthanolique et butanolique tandis que la plus faible quantité a été enregistrée pour l'extrait éthérique. Pour l'extrait méthanolique, La teneur en flavonoïdes enregistrée dans cette étude est plus faible que celle de (**chia et al., 2015**) avec des teneurs de  $38.4 \pm 1.64$  mg EC/gMS chez l'espèce *Padina tetrastromatica*, en revanche, elle reste comparable avec celle enregistrée par l'espèce *Sargassum linifolium* dans les travaux de (**Ismail, 2016**) ( $4.53 \pm 0.50$  EC/gMS). Donc, le méthanol reste le meilleur solvant pour l'extraction des composés phénolique en raison de leur polarités et leurs solubilité pour ces composés (**Abdille et al., 2005**).

Après le dosage des composés phénoliques dans les différents extraits de l'algue brune *Padina pavonica*, nous essayons d'évaluer l'activité antioxydante de ces extraits par trois méthodes.

Le test de la capacité antioxydante totale montre une augmentation dose dépendante pour les cinq extraits ainsi que des variations en fonction du type de solvant utilisé. La meilleure valeur de CAT a été enregistrée pour l'extrait méthanolique et l'extrait butanolique et la plus faible valeur a été observée pour l'extrait éthérique. Nos résultats sont en accord avec l'étude de (**benabdellah et al., 2017**) réalisée sur l'espèce algale *Codium fragile* qui a abordé le potentiel antioxydant élevé de l'extrait méthanolique vis-à-vis les autres extraits. Selon la littérature, il a été confirmé que le méthanol reste le solvant de luxe pour l'extraction des composés bioactifs favorisant l'effet antioxydant total (**Guezen, 2014**).

Il a été enregistré qu'à 8mg/ml, l'extrait méthanolique a un pouvoir antioxydant le plus élevé ( $74 \pm 0.75$  mg EAA/g MS) par rapport aux extraits chloroformique, butanolique, éthérique et dichlorométhanique (respectivement  $33 \pm 0.25$  mg EAA/g MS,  $71.25 \pm 0.75$  mg EAA/g MS,  $26.25 \pm 0.5$  mg EAA/g MS et  $34.25 \pm 0.75$  mg EAA/g MS).

Le pouvoir antioxydant observé dans les cinq extraits peut être dû essentiellement à la richesse des extraits en polyphénols particulièrement les flavonoïdes, et aussi en fonction des structures chimiques des molécules bioactives. Pour ce raison on a réalisé la corrélation entre la teneur des extraits en composés phénoliques et la capacité antioxydante totale. Les résultats montrent l'existence d'une moyenne corrélation ( $R^2=0.510$ ) pour les polyphénols et ( $R^2=0.579$ ) pour les flavonoïdes (**Annexe 1 et 2**).

Le deuxième test d'évaluation de l'activité antioxydante était le test de piégeage du radical libre DPPH<sup>•</sup>. Les résultats d'inhibition de DPPH<sup>•</sup> montrent une augmentation du pourcentage d'inhibition proportionnellement à la concentration jusqu'à la concentration 4mg/ml ou de laquelle les courbes s'orientent vers l'état stationnaire.

On a remarqué que le pourcentage d'inhibition du radical libre pour les extraits était inférieur à celui du standard pour toutes les concentrations utilisées ce qui est en accord avec les résultats des études antérieures (**Seladji et al., 2014**). Pour une concentration de 4mg/ml l'acide ascorbique a révélé un pourcentage d'inhibition de DPPH de  $90.82\% \pm 4.25$ .

Concernant les cinq extraits, pour une concentration de 4mg/ml, le pourcentage d'inhibition de DPPH est de  $74.06 \pm 1.18\%$  pour l'extrait méthanolique,  $62.50 \pm 1.07\%$  pour l'extrait butanolique,  $60.53 \pm 1.84\%$  pour l'extrait chloroformique tandis que l'extrait dichlorométhanique est de  $58.60 \pm 1.09\%$  et l'extrait éthérique est de  $46.03 \pm 1.49\%$ . Ces pourcentages correspondent à une inhibition totale du DPPH reflétée par la décoloration complète du DPPH du violet en jaune pâle.

La capacité antioxydant des différents extraits a été déterminée à partir de l'IC<sub>50</sub>, c'est la concentration nécessaire pour réduire 50 % du radicale DPPH. Plus la valeur d'IC<sub>50</sub> est basse, plus l'activité antioxydante d'un composé est grande (**Hebi et Eddouks, 2016**). l'IC<sub>50</sub> de chaque extrait est déterminée à partir des équations des régressions linéaires des graphes, dont on a l'IC<sub>50</sub> de l'acide ascorbique est 0.011mg/ml.

Comparativement à la littérature, les travaux de (**Celenk et al., 2016**) pour l'extrait méthanolique sur l'espèce *Codium fragile* à IC<sub>50</sub>=0.02mg/ml et *Padina pavonica* à 0.3mg/ml, les valeurs obtenus pour notre espèce ne sont pas en accord avec ces résultats ceci probablement du à l'effet d'espèce ainsi que les conditions climatiques et régionales de site d'échantillonnage, ce qui peut influencer l'activité antiradicalaire.

L'évaluation de l'activité antioxydante en adoptant le test du pouvoir réducteur nous a permis de déduire que le pouvoir réducteur des extraits de *Padina pavonica* est dose dépendant (concentration dépendante). Les résultats obtenus montrent que la capacité des extraits à réduire le fer est largement inférieure à celle de l'acide ascorbique. A la concentration de 8mg/ml, le pouvoir réducteur est beaucoup plus important dans l'extrait méthanolique (DO=  $0,138 \pm 0,001$ ) par rapport aux autres extraits.

Nos résultats sont en accord avec ceux d'une étude de (**Kelman et al., 2012**) qui s'intéresse à étudier le pouvoir réducteur des algues ; rouges, vertes et brunes et confirme que les algues brunes ayant la plus forte capacité réductrice.

Le pouvoir réducteur des extraits de *Padina pavonica* est probablement dû à la présence de groupement hydroxyle dans les composés phénoliques qui peuvent servir comme donneur d'électron. Par conséquent, les antioxydants sont considérés comme des réducteurs et inactivateurs des oxydants (**Bougandoura et Bendimerad, 2012**). Pour confirmer cette hypothèse, on a testé la corrélation entre la teneur en composés phénoliques dans les différents extraits et le pouvoir

réducteur. Les résultats obtenus montrent l'existence d'une forte corrélation ( $R^2=0.748$ ) pour les polyphénols et ( $R^2=0.734$ ) pour les flavonoïdes.

On constate que ces corrélations sont considérables mais ne sont pas absolues. Cela peut être dû à la présence d'autres molécules responsables du pouvoir antiradicalaire. Cette théorie est soutenue par **(Kelman et al., 2012)** qui rapportent que les caroténoïdes et les fucoxanthin sont parmi les composés majoritaires responsables de la majorité des activités biologiques.

# Conclusion

---

## Conclusion

L'objectif de notre présent travail est d'étudier *in vitro* l'activité antioxydante d'une algue brune *Padina pavonica*, récoltée de la plage d'Ouled Bounnar à Jijel en vue d'une valorisation de la biomasse algale algérienne.

L'étude phytochimique a été réalisée sur cinq extraits différents à savoir l'extrait méthanolique, chloroformique, butanolique, dichlorométhanique et étherique pour quantifier les polyphénols et les flavonoïdes en tant que composés phénoliques majoritaires dans les algues marines. Les résultats obtenus montrent une variabilité des teneurs en polyphénols en fonction du solvant utilisé et même en fonction des différentes concentrations d'extrait.

Le rendement d'extraction est considérable pour l'extrait méthanolique, suivie par l'extrait chloroformique, alors que les faibles résultats ont été enregistrés pour l'extrait étherique.

Afin de confirmer l'efficacité antioxydante de notre algue brune *Padina pavonica*, l'étude *in vitro* effectuée par trois tests (CAT, piégeage du radical libre DPPH et le pouvoir réducteur) nous a permis de conclure que l'extrait méthanolique a prouvé son efficacité dans l'amélioration du stress oxydatif. Ces données peuvent être éventuellement expliquées par la richesse de l'extrait méthanolique en composants polyphénoliques de vertu antioxydant.

Les résultats obtenus *in vitro* ne sont qu'un premier pas dans la recherche des substances bioactives de *Padina pavonica*. Pour cela, nous envisageons de nombreuses perspectives, parmi elles :

- Développer des tests d'activité antioxydante en utilisant d'autres méthodes d'évaluation *in vitro* et *in vivo*.
- Evaluation quantitative des composés bioactifs par des méthodes spectrales (RMN, UV...) et chromatographiques (HPLC, CCM, CPG).
- Exploiter ces molécules en biotechnologie comme antioxydants naturels sans effets néfastes sur la santé humaine.
- Explorer d'autres activités biologiques de *Padina pavonica* (anti-inflammatoire, antifongique, antibiotique...).

# Références bibliographiques

- Abdille M.H., Singh R.P., Jayaprakasha G.K., Jena B.S., (2005).** Antioxidant activity of the extracts from *Dillenia indica* fruits, *Food Chemistry*, 90(4), pp891-896.
- Ainane, T., (2011)** .Valorisation de la biomasse algale du Maroc: Potentialités pharmacologiques et Applications environnementales, cas des algues brunes *Cystoseira tamariscifolia* et *Bifurcaria bifurcata*. Autre. Faculté des Sciences Ben M'sik Université Hassan II Casablanca.
- Al-Enazi, N.M., Awaad, A.S., Zain, M.E., Alqasoumi, S.I., (2017).** Antimicrobial, Antioxidant and anticancer activities of *Laurencia catarinensis*, *Laurencia majuscula* and *Padina pavonica* extracts. *Saudia Pharmaceutical Journal*, pp 1-9.
- Amirouche, N., Bouguedoura, N., Hadj-Arab, H., (2009).** Botanique : algue, champignons, lichens. 1<sup>ère</sup> Edition Houma. Alger. p17. ISBN 978-9961-65-159-9.
- Amlan, K., Jyotisna, P. S., (2010).** A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochemistry*, 71, pp 1198 – 1222.
- Antolovich, M., Prenzler, P.D., Patsalides E., McDonald S., Robards K., 2001.** Methods for testing antioxidant activity. *The Royal Society of Chemistry*.127, PP, 183–198
- Ariede, B.M., Candido, T.M., Jacomea, A.L.M., Velasco, M.V.R., Carvalhob, J.C.M., Babya, A.R., (2017).** Cosmetic attributes of algae. *Algal Research*. *Algal Research*, vol 25, pp 483–487
- Badiaga, M. (2011).** Etude ethnobotanique, phytochimique et activités biologiques de *Nauclea Latifolia* Smith une plante médicinale africaine récoltée au Mali, thèse de doctorat, université de Bamako.10 p.
- Beddou, F., (2015)** étude phytochimique et activités biologiques de deux plantes médicinales sahariennes *Rumex vesicarius L.* et *Anvillea radiata* coss et dur. Université Abou Bekr Belkaid, Thèse de doctorat, p62.
- Belbache, H., (2003).** Investigation phytochimique de l'extrait chloroforme de *Centaurea Parviflora Desf*, mémoire de magister en chimie organique, université Mentouri Constantine. pp 16-20 .
- Ben Abdallah, K.R., Ben Salah, H., Hamza, A., El feki, A., allouche, N., El feki, L., Belguith, K.,(2017).** Characterization and evaluating of antioxidant and antihypertensive properties of green alga (*Codium fragile*) from the coast of Sfax. *Pharmacognosy and Phytochemistry*,6(2), pp186-191..
- Ben Said, R., El Abed, A., Romdhane, M.S., (2002).** Etude d'une population de l'algue brune *Padina Pavonica* (L) Lamouroux A Cap Zebib (Nord De La Tunisie). *Bull. Inst. Natn. Scien. Tech. Mer De Salammbô*. Vol. 29, pp 95-103.

- Benaissa, O., (2011).** Etude des métabolismes terpénique et flavonique d'espèces de la famille des composées, genres *Chrysanthemum* et *Rhantherium*. Activité Biologique. Thèse Doctorat, université Mentouri, Constantine, p63.
- Boizot, N., Charpentier, J.C., (2006).** Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. Le cahier des techniques de l'INRA numéro spécial : 79-82
- Bruneton, J. (2009).** Pharmacognosie: Phytochimie, Plantes médicinales. 4<sup>ème</sup> édition. Edition Lavoisier Tec & Doc. Médicales Internationales, Paris, 1292 p 274 - 935. ISBN9782743019044
- Bougandoura, N., & Bendimerad, N. (2012).** Evaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux et méthanolique de *Satureja calamintha ssp. Nepeta (L.)* Briq. *Nature & Technologie*,(9), 14 – 19.
- Celenk, F.G ., Ozkaya, A.B., Sukatar, A., (2016).** Macroalgae of Izmir Gulf: Dictyotaceae exhibit high in vitro anti-cancer activity independent from their antioxidant capabilities. *Cytotechnology* .68:2667–2676
- Chakraborty, K ., Praveen,N.K., Vijayan, K.K., Rao, G.S., (2013).** Evaluation of phenolic contents and antioxidant activities of brown seaweeds belonging to *Turbinaria* spp. (Phaeophyta, Sargassaceae) collected from Gulf of Mannar. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. 3(1): 8-16. DOI :10.1016/S2221-1691(13)60016-7
- Chbani, A., Mawlawi, H., Etahiri, S., (2011).** Évaluation de l'activité inhibitrice des extraits d'une algue brune *Padina pavonica* récoltée sur les côtes libanaises. *Afrique SCIENCE* 07(3), pp 91 – 96.
- Chia, S.R., Chew, K.W., Show, P.L., Ong, H.C., Phang, S.M., Ling, T.C., Nagarajan, D., Lee, D.J., Chang, J.S., (2017).** Sustainable approaches for algae utilization in bioenergy production, *Renewable Energy*. PP 1-9, DOI:10.1016/j.renene.2017.04.001.
- Chia, Y.Y., Kanthimathi, M.S., Khoo, K.S., Rajarajeswaran, J., Cheng, H.M., Yap, W.S., (2015).** Antioxidant and cytotoxic activities of three species of tropical seaweeds. *Complementary and Alternative Medicine*, pp 1-14. DOI 10.1186/s12906-015-0867-1.
- Dacosta, Y., (2003).** Les phytonutriments bioactifs. Ed 1.317, Paris, Editions, *Tec et Doc Lavoisier*. ISBN13 :9782951822009
- Eom, S.H., Kim, Y.M., Kim, S.K., (2012).** Antimicrobial effect of phlorotannins from marine brown algae. *Food and Chemical Toxicology* 50 .PP 3251–3255 et potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif. *Phytothérapie*.1: 3-6. DOI :10.1007/s10298-004-0003-8

- Farid, Y., Etahiri, S., Assobhei, O., (2009).** Activité antimicrobienne des algues marines de la lagune d'Oualidia (Maroc) : Criblage et optimisation de la période de la récolte. *Applied Biosciences* vol 24, pp1543 – 1552, ISSN 1997–5902
- Favier, A., (2003).** Le Stress oxydant. Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *L'actualité Chimique*, pp 108 – 115
- Greathead, H., (2003).** Plants and plant extracts for improving animal productivity. *Proceedings of The Nutrition Society*, 62, pp 279 – 290
- Guiry, M.D., Guiry, G.M., (2018).** Algae Base, World-wide electronic publication, *National University of Ireland*, Galway. <http://www.algaebase.org>; searched on 20 March 2018.
- Hebi, M., & Eddouks, M. (2016).** Evaluation de l'activité antioxydante de *Stevia rebaudiana*. *Phytothérapie*, 14, pp17 – 22. DOI 10.1007/s10298-015-0999-y
- Hennebelle, T., Sahpaz, S., Bailleul, F., (2004).** Polyphénols végétaux, sources, utilisations et potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif. *Phytothérapie*.1, pp 3-6.
- Ismail, G.A., (2016).** Biochemical composition of some Egyptian seaweeds with potent nutritive and antioxidant properties. *Food Science and Technology*. 37(2): 294-302  
Dhttp://dx.Doi.org/10.1590/1678-457X.20316
- Julkunen-Titto, R., (1985).** Phenolic constituents in the leaves of northern willow: Methods for the analysis of certain phenolics. *Agricultural Food Chemistry*, 33 pp 213-217.
- Kahkonen, M.P., Hopia, A.I., Vuorela, H.J., Rauha, J.P., Pihlaja, K., Kujala, T.S., Heinonen, M., (1999).** Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *Agricultural and Food Chemistry*, 47(10): 39543962.
- Kelman, D., Posner, E.K, McDermid, K.J., Tabandera, N.K., Wright, P.R., Wright, A.D., (2012)** Antioxidant Activity of Hawaiian Marine Algae. *Marine. Drugs*, 10, 403-41. DOI 10.3390/md10020403
- Koehlin-Ramonatxo, C., (2006).** Oxygène, stress oxydant suppléments antioxydantes ou un aspect différent de la nutrition dans les maladies respiratoires Oxygen, oxidative stress and antioxidant supplementation, or an other way for nutrition in respiratory diseases, *Nutrition clinique et métabolisme* 20 . 165–177. DOI:10.1016/j.nupar.2006.10.178
- Kosalec, I., Bakmaz, M., Pepeljnjak, S., Vladimir, K.E., (2004).** Quantitative analysis of the flavonoids in raw propolis from northern Croatia. *Acta Pharm*, 54, pp 65-72.
- Leclerc, V., Floc'h J.Y., (2010).** Les Secrets des Algues. Edition 1. *Quae*. pp13-159 ISBN 978-2-7592-0347-5.
- Lugasi, A., Hóvári, J., Sági, K. V., Bíró, L., (2003).** The role of antioxidant phytonutrients in the prevention of diseases, *Acta Biologica Szegediensis* Vol 47(1-4):119-125.

- Maataoui, B.S., Hmeyene, A., Hilali, S., (2006).** Activités anti-radicalaires d'extraits de jus de fruits du figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*), *Lebanese Science Journal*, (1). pp 3-8.
- Macheix, J. J., Fleuriot, A., Jay-Allemand, C., (2005).** Les composés phénoliques des végétaux: un exemple de métabolites secondaire d'importance économique. Edition *Presses Polytechniques & Universitaires Romandes*, pp 2- 3.
- Males, Z ., Medic-Saric, M.,(2000).** Optimization of TLC analysis of flavonoids and phenolic acids of *Helleborus atrorubens* Waldst. *Pharmaceutical and Biomedical Analysis* (24) .353–359
- Mannino, AM., Vaglica, V., Oddo E., (2014).** Seasonal variation in total phenolic content of *Dictyopteris polypodioides* (*Dictyotaceae*) and *Cystoseira amentacea* (*Sargassaceae*). *Fl. Medit.* 24: 39-50 DOI: 10.7320/FIMedit 24.039.
- Marouf, A., Reynaud, J., (2007).** La botanique de A à Z. 2<sup>ème</sup> Edition. Dunod Paris.vol. 352, P177.EAN:9782100506385
- Men\_Shova, R. V., Ermakova, S. P., Rachidi, S. M., Al-Hajje, A. H., Zvyagintseva, T. N., Kanaan, H.M., (2012).** Seasonal Variations Of The Composition.Structural Features. And Antitumor Properties Of Polysaccharides From *Padina Pavonica* (Lebanon) As A Function Of Composition. *Chemistry Of Natural Compounds*. Vol. 47, No. 6, pp.870-875
- Michel, T., Destandau E., Le Floch, G., Lucchesi, M.E ., Elfakir, C., (2012).** Antimicrobial, antioxidant and phytochemical investigations of sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) leaf, stem, root and seed, *Food Chemistry* 131 ,pp754–760.
- Moritsen, O.G., (2015).** Algues marines propriétés, usages, recettes. édition *delachaux et niestlé*, pp 54-101, ISBN 978 – 2-603-02178-1.
- Nabors. M., (2008).** Biologie végétale structure, fonctionnement, écologie et biotechnologies. *Pearson*.France, vol : 614 pp 373-381, ISBN 978-2-7440-7306-9.
- Naghraoui, M., (2012).** Activités antioxydantes et antimicrobiennes de l'extrait brut et ses fractions de l'algue rouge *Coraiina officinalis* récoltée sur la côte ouest algérienne (plage de Madrid), Mémoire de fin d'études, p30.
- Naja. K., Mawlawi, H., Chbani. A., (2012).** Antioxidant and Antifungal activities of *Padina Pavonica* and *Sargassum Vulgare* fromthe Lebanese Mediterranean Coast. *Advances in Environmental Biology*, 6(1): 42-48. ISSN 1995-0756.
- Narayana, K.R., Reddy, M.S ., Chaluvadi,MR., Krishna,DR.,(2000).** Bioflavonoids classification, pharmacological, biochemical effects and therapeutic potential, *Indian Journal of Pharmacology* . 33: 2-16
- Office National de Météorologie., (2018).** Jijel

- Oyaizu, M., (1986).** Studies on products of browning reaction-antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Japanese Journal of Nutrition*, 44(6), 307-315. <http://dx.doi.org/10.5264/eiyogakuzashi.44.307>.
- Ozenda, P., (2006).** Les végétaux, organisation et diversité biologique, *Dunod*, 2<sup>e</sup> édition, pp 65-78, ISBN2-10-050724-9.
- Prieto, P., Pineda. M., Aguilar. M., (1999).** Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of vitamin E. *Analytical Biochemistry*, 269(2), 337341. PMID: 10222007. <http://dx.doi.org/10.1006/abio.1999.4019>
- Raven, P.H., Evert, R.F., Eichhorn, S.E., (2007).** Biologie Végétale, 2<sup>e</sup> édition, éd *boeck*, Paris, pp 322-327, ISBN 978-2-8041-5020-4.
- Riviere, D., Roche, S., Rochefort, G., (2017).** In: *Doris*, 05/02/2017: *Padina Pavonica* (Linnaeus) Thivy, <Http://Doris.Ffessm.Fr/Ref/Specie/1337>
- Roland, J.C., El Maarouf Bouteau, H., Bouteau, F., (2008).** Atlas Biologie végétale ; 1.organisation des plantes sans fleurs, algues et champignons, 7<sup>e</sup> édition, éd *Dunod*, Paris, p11, ISBN 978-2-10-051724-4
- Ruberto G., Baratta1 M.T., Biondi1 D. M., Amico V.,(2001).** Antioxidant activity of extracts of the marine algal genus *Cystoseira* in a micellar model system. *Applied Phycology* 13: p 403
- Saidani k., Bedjou f., (2011).** Activite antioxydante des extraits methanoliques de quatre especes d'algues marines de la cote de bejaia, Le 2ème Séminaire International sur les Plantes Médicinales SIPM'2. Université Abderrahmane MIRA de BEJAIA p 60.
- Seladji, M., Belmekki, N., Bekhechi, C., Bendimerad, N., (2014).** Antioxidant and Antimicrobial Activity of Aqueous and Methanolic Extracts of *Mentha rotundifolia* L. from Algeria. *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res.*, 26(1), pp: 228-234. ISSN : 0976 – 044X
- Smith, A. R., Shenvi, S. V., Widlansky, M., Suh, J. H., Hagen, T. M., (2004).** "Lipoic acid as a potential therapy for chronic diseases associated with oxidative stress." *Current Medicinal Chemistry* 11(9): 1135-1146.
- Talbi, H., Boumaza, A., El-mostafa, K., Talbi, J., Hilali, A., (2014).** Evaluation de l'activité antioxydante et la composition physico-chimique des extraits méthanolique et aqueux de la *Nigella sativa* L. (Evaluation of antioxidant activity and physico-chemical composition of methanolic and aqueous extracts of *Nigella sativa* L.), *Mater. Environ. Sci.* 6 (4) 1111-1117 ISSN : 2028-2508
- Turkmen, N., Sari, F.Y., Velioglu, S.,(2005).** Effects of extraction solvents on concentration and antioxidant activity of black and black mate tea polyphenols determined by ferrous tartrate and

---

Folin–Ciocalteu methods. Ankara University, Faculty of Engineering, Turkey  
velioglu@eng.ankara.edu.tr

**Valko, M. C. J., Rhodes, J., Moncol, M., Izakovic, Mazur, M., (2006).** "Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer." *Chemico-Biological Interactions* **160**(1): pp1-40

**Wang, H.D., Chen, C.C., Huynh, P., Chang, J.S., (2014).** Exploring the potential of using algae in cosmetics, *Bioresource Technology*. pp1-28, DOI:http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.12.001

**Wang, H.M.D., Xiao-Chun, L., Duu-Jong, L., Jo-Shu, C., (2017).** Potential biomedical applications of marine algae, *Bioresource Technology*, 244, pp1407-1415

**Waston, R., Preedy, V.R., Zibadi., (2013).** Polyphenol in Human Health and Disease. Edition *Academic Press is an Imprint of Elsevier*, p 643.

**Ben Abdallah, R., Fetoui, F., Jribi, I., Belghith, K., (2013).** Etude in vitro de l'activité antioxydante de quelques espèces algales au niveau des côtes de la chebba. *Rapp. Comm. int. Mer Médit*, 40, p358 .DOI:10.1007/s10811-006-9152

# Annexes

## Annexe 1 : Résultats d'analyse statistique

**E M** : extrait méthanolique

**E C** : extrait chloroformique

**E B** : extrait butanolique

**E E** : extrait étherique

**E D** : extrait dichlorométhanique

Tableau d'analyse statistique des résultats de test de la capacité antioxydante totale

	<b>E M</b>	<b>E C</b>	<b>E B</b>	<b>E E</b>	<b>E D</b>
<b>E M</b>	1	0.0005***	0.264	0.00019***	0.00074***
<b>E C</b>	0.0005***	1	0.0029**	0.006**	0.333
<b>E B</b>	0.264	0.0029**	1	0.0009***	0.0031**
<b>E E</b>	0.00019***	0.006**	0.0009***	1	0.08
<b>E D</b>	0.00074***	0.333	0.0031**	0.08	1

Tableau d'analyse statistique des résultats de test de piégeage du radical libre DPPH

	<b>E M</b>	<b>E C</b>	<b>E B</b>	<b>E E</b>	<b>E D</b>
<b>E M</b>	1	0.053	0.0005***	0.014*	0.0515
<b>E C</b>	0.053	1	0.03*	0.063	0.036*
<b>E B</b>	0.0005***	0.03*	1	0.0009***	0.0015**
<b>E E</b>	0.014*	0.063	0.0009***	1	0.0003***
<b>E D</b>	0.0515	0.036*	0.0015**	0.0003***	1

Tableau d'analyse statistique des résultats de test de pouvoir réducteur

	<b>E M</b>	<b>E C</b>	<b>E B</b>	<b>E E</b>	<b>E D</b>
<b>E M</b>	1	0.146	0.154	0.009*	0.076
<b>E C</b>	0.146	1	0.484	0.012*	0.274
<b>E B</b>	0.154	0.484	1	0.025*	0.310
<b>E E</b>	0.009*	0.012*	0.025*	1	0.030*
<b>E D</b>	0.076	0.274	0.310	0.030*	1

## Annexe 2 : les courbes des corrélations

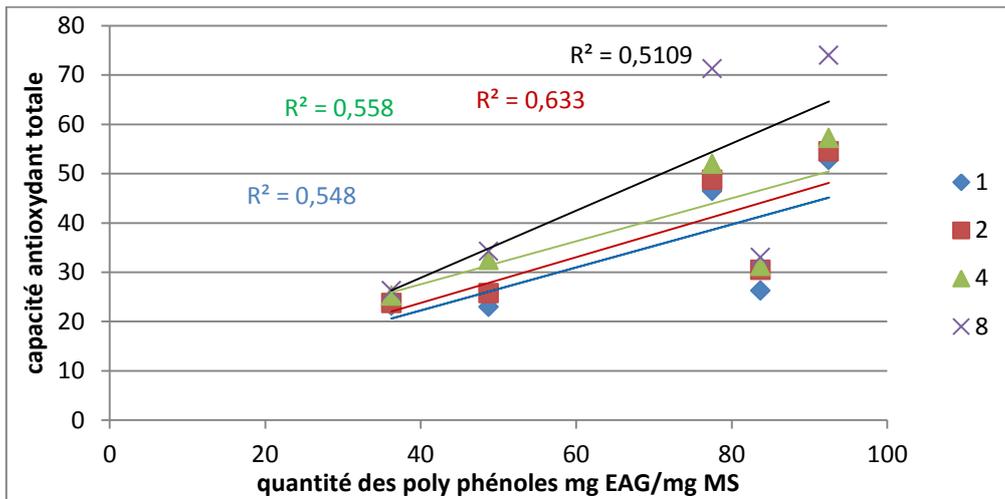


Figure représente la corrélation entre la quantité des polyphénols et la capacité antioxydante totale

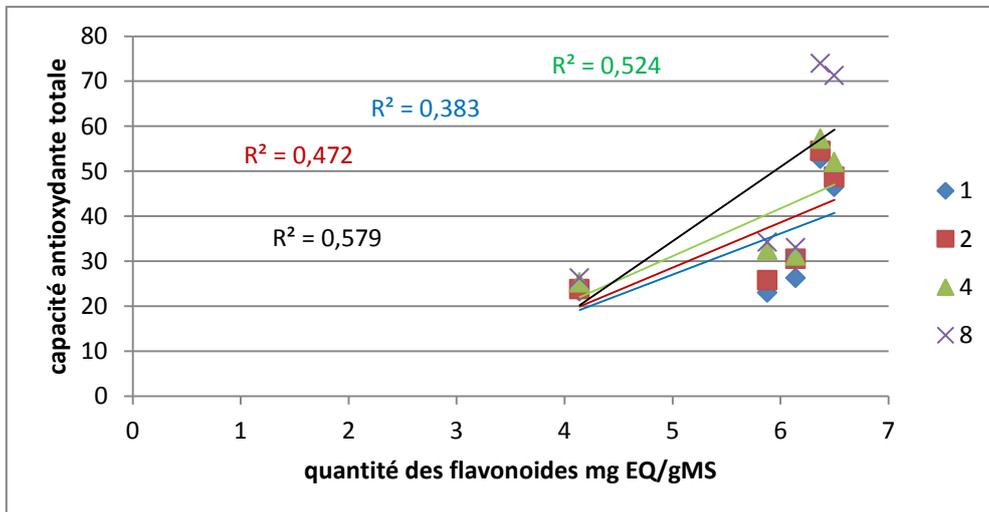


Figure représente la corrélation entre la quantité des flavonoïdes et la capacité antioxydante totale

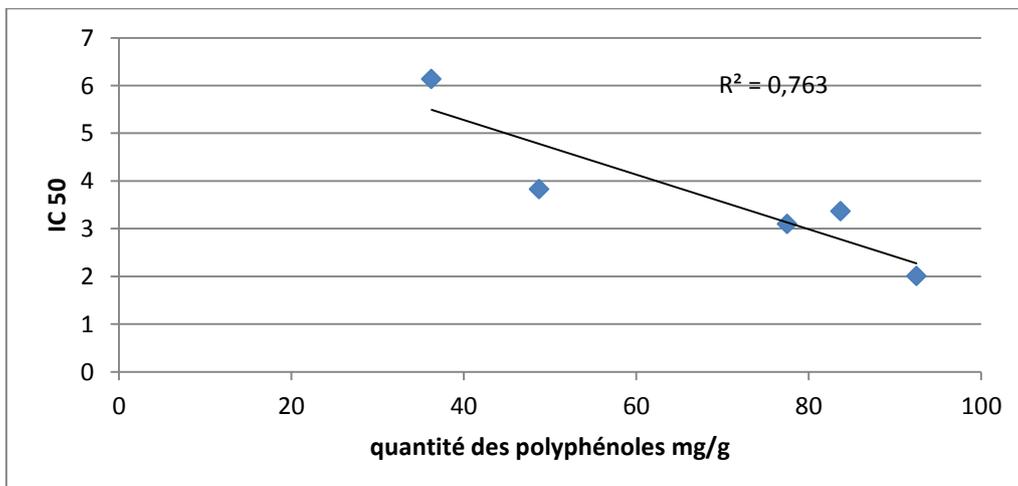


Figure représente la corrélation entre la quantité des polyphénols et l'IC50

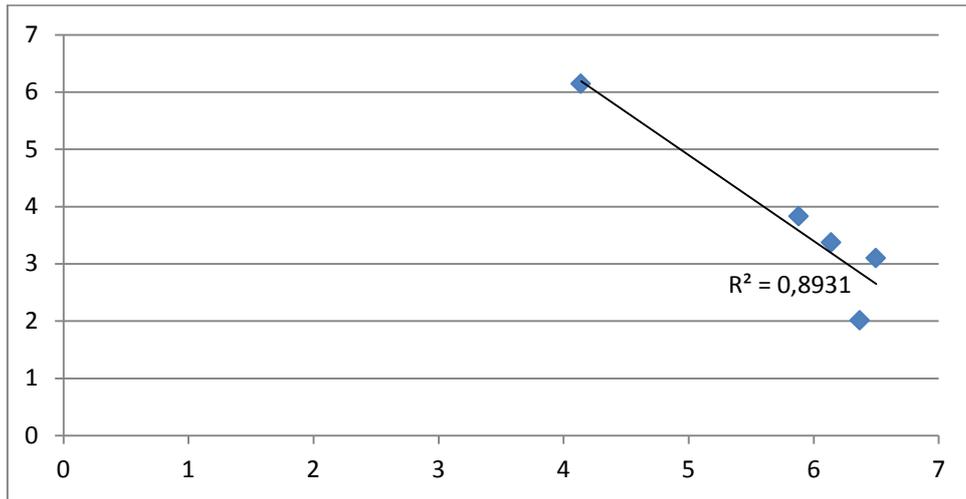


Figure représente la corrélation entre la quantité des flavonoïdes et l'IC50

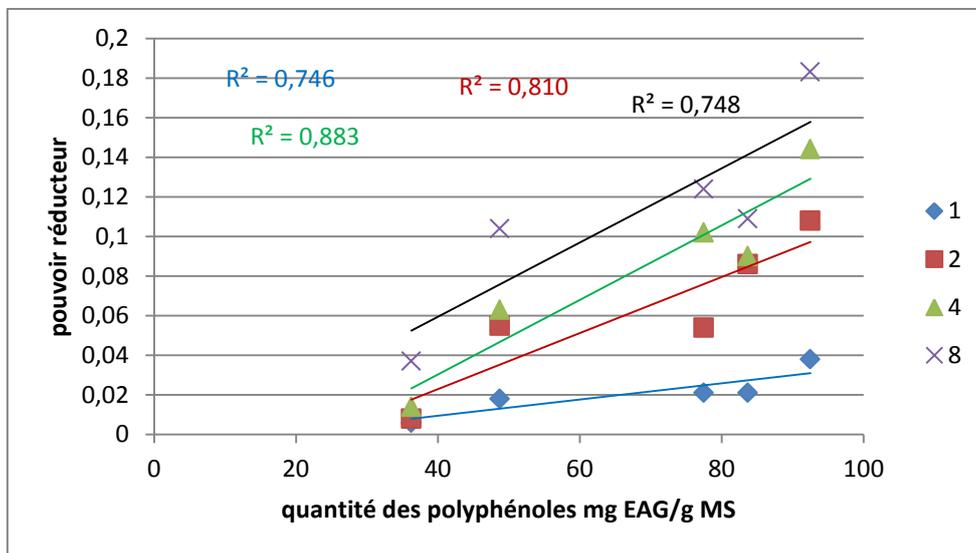


Figure représente la corrélation entre la quantité des polyphénols et le pouvoir réducteur

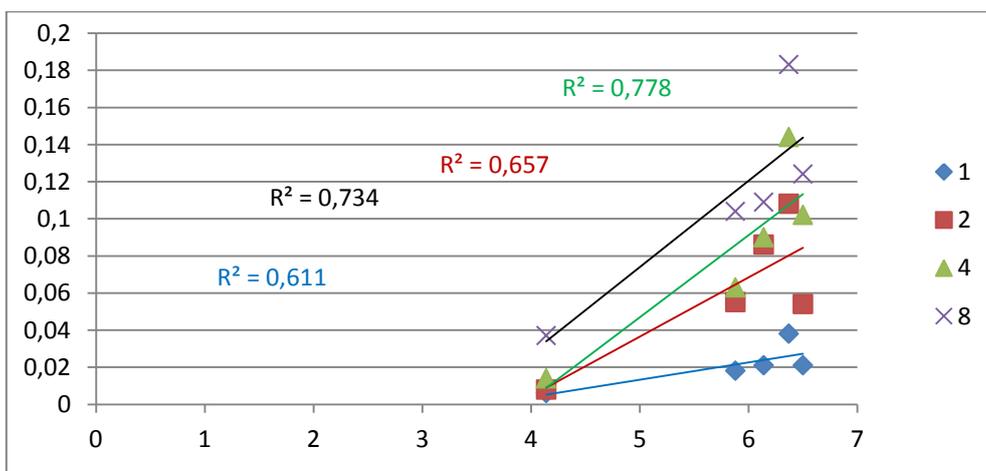


Figure représente la corrélation entre la quantité des flavonoïdes et le pouvoir réducteur

### Annexe 3 : Images et photos



Photo des Thalles secs de *padina pavonica*



Test d'évaluation de la capacité antioxydante totale



Test de piégeage de radical DPPH



Test de pouvoir réducteur de fer