

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

جامعة 20 أوت 1955- سكيكدة
UNIVERSITE 20 AOUT 1955- SKIKDA



Faculté des Sciences
Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire Présenté en Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Filière : Sciences Biologiques
Spécialité : Biochimie Appliquée
Intitulé :

Synthèse des nanoparticules d'argent à base d'extrait
d'algue brune *Padina pavonica* et évaluation de leurs
propriétés antioxydantes

Présenté Par :-Seghir Achouak
- Silini Khouloud
- Lekhal Nour Djihen
- Laouira Amani Hadjer

Soutenu publiquement le : 24/06/2024

Membre de Jury:

Safia Nedji(MCB)	Présidente	Univ. du 20 Août 1955 – Skikda
Safia Boulechfar (MCB)	Promotrice	Univ. du 20 Août 1955 – Skikda
Lamia Mellahi (MCB)	Examinatrice	Univ. du 20 Août 1955 – Skikda

Année universitaire 2023/2024



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 tenons à remercier Dr. Boulechfar Safia notre encadrant de mémoire, pour tout le soutien, l'aide, l'orientation, ainsi que pour ses encouragements lors de la réalisation de ce travail.

Nous remercions les membres du jury : Dr. Safia Nedji et Dr. Lamia Mellahi d'avoir accepté de juger notre modeste travail.

Nous portons avec gratitude de reconnaissance pour l'ensemble des professeurs du Département de "SNV " 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

J'ai le plaisir de dédier ce modeste travail : A ceux qui donnent sans recevoir, se brûlent pour que leur fille voie la lumière du savoir, à ceux qui ont été toujours la source d'inspiration et de courage, à ceux qui tous les mots du monde ne suffisent pas pour leurs montrer mon amour ;

à mes très chers parents « Hocine » et « Farida »,

Les prunelles de mes yeux.

A mes adorables sœurs : Douâa, Maya, et ma petite princesse Iline , je leurs souhaite une vie pleine de bonheur et de succès.

A mon grand père décédé Ammar, MERCI de tout mon cœur pour tout ce que tu as fait pour moi.

A ma grande mère pour son grand amour

A mes chères tantes : Hayett et leurs enfants Sirine, Adléne Roumaïssa et leurs enfants Assile, Anass

Hassina et Tita

A toute ma famille est surtout ma cousine ma meilleure amie Chaima

A mes collègues de travail : Amani, Khouloud,

Et Djihen qui m'ont supporté le long de ce travail.



Achouak

Dédicace

Mes remerciements vont tout d'abord au bon dieu pour la volonté et la patience qu'il m'a donné durant ces longues années d'étude afin que je puisse arriver à ce stade, du fond de mon cœur, je dédie ce présent travail :

A mon très cher père << Hocine >>, mon héros, je resterais toujours reconnaissante pour tes efforts incomptables. Ma fierté, je souhaiterai toujours être la fille que tu mérites.

Je t'aime papa.

A la plus belle mère « Souad », ma première source d'amour, de persévérance et d'encouragement. Merci pour tout le bonheur que tu m'as toujours offert dès le premier jour.

Je t'aime.

A mes amours, mon frère et mes sœurs, ma source de joie, « Abderraouf », « Asma », « Rayane » et « Yasmine », j'espère que ce travail vous inspirerez à poursuivre vos rêves et croire en vous- même autant que je crois en vous.

A tous mes amis pour leurs encouragements.

A mes collègues d'étude: Djihane, Achouak, Khouloud qui n'ont jamais cessée de me soutenir.

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.



Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mes parents ; tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être. C'est à travers vos encouragements.

J'espère avoir répondu aux espoirs que vous avez fondé en moi et réaliser aujourd'hui l'un de vos rêves.

Que Dieu le tout-puissant vous garde et vous procure santé, bonheur et longue vie pour que vous demeuriez le flambeau illuminant le chemin de vos enfants. Je vous aime.

Mes chers frères, et ma sœur Ilhem pour leur grand amour et leur soutien.

Toute ma famille et surtout ma grande mère

Mes amies : Lily, Rayane, Rawane et mes collègues de travail : Djihen, Achouak et Amani qui n'ont cessé à aucun moment de m'apporter aide et encouragement .



Khouloud

Dédicace

À Dieu qui m'a permis d'acquérir cette connaissance

À mon cher père

À ma belle mère

À ma sœur et mes frères et ma famille

À mes collègues d'étude

*À chaque professeur qui m'a enseigné au cours de mon parcours
académique*

À la riche terre de mes ancêtres, l'Algérie, je dédie ce mémoire.



Djihen

Sommaire

Remerciements	
Dédicace	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Résumé	
Introduction	1

Première partie : Synthèse Bibliographique

Chapitre I : Généralité sur les algues

1. Généralité sur les algues	5
1.1. Morphologie des algues	5
1.2. Composition biochimique des algues.....	5
1.3. Les deux grands groupes d'algues.....	5
1.3.1. Les microalgues.....	6
1.3.2. Les macroalgues	6
1.4. Classification des algues.....	7
1.5. L'algue brune <i>Padina pavonica</i>	7
1.5.1. Généralités.....	7
1.5.2. L'espèce <i>Padina pavonica</i>	9
1.5.3. Description botanique.....	9
1.5.4. Composition biochimique	10
1.5.5. Propriétés biologiques	10

Chapitre II : Biosynthèse des nanoparticules

2. Généralité sur les nanoparticules	12
2.1. Définition	12

2.2. Sources des nanoparticules	13
2.2.1. Sources naturelles.....	13
2.2.2. Sources anthropiques	13
2.2.3. Nanoparticules artificielles (ou nanoparticules manufacturées)	13
2.3. Classification des nanoparticules.....	13
2.3.1. Nanoparticules organiques.....	14
2.3.2. Nanoparticules inorganiques	14
2.4. Exemples des nanoparticules et ses applications, propriétés et fonctionnalités	15
2.5. Nanoparticules d'argent.....	16
2.5.1. Présentation générale	16
2.5.2. Propriétés des nanoparticules d'argent.....	16
2.5.3. Méthodes de synthèse de nanoparticules d'argent.....	17
2.5.4. Synthèse verte ou biologique.....	18
2.6. Activités biologiques des nanoparticules d'argent	18
2.6.1. Activité antibactérienne.....	18
2.6.2. Activité antivirale.....	19
2.6.3. Activité antifongique	19
2.6.4. Activité anti-inflammatoire.....	19
2.6.5. Activité anti cancéreuse.....	19
2.6.6. Activité anti diabétique	19
2.6.7. Activité antioxydant.....	19

Deuxième partie : Etude Expérimentale

Chapitre I : Matériels et Méthodes

1. Étude phytochimique	22
1.1. Récolte du matériel végétale	22
1.2. Extraction.....	22
1.3. La synthèse des nanoparticules d'argent	22
1.4. Détermination des teneurs en substances bioactives.....	23
1.4.1. Dosage des polyphénols totaux	23

1.4.2. Dosage des flavonoïdes totaux	24
1.4.3. Dosage de chlorophylles totaux et caroténoïdes	24
1.5. Evaluation de l'activité antioxydante	25
1.5.1. Piégeage des radicaux.....	25
1.5.1.1 Test de piégeage du radical DPPH	24
1.5.1.2 Test de piégeage du radical ABTS ⁺	25
1.5.2. Réductions des ions ferriques	26
1.5.2.1 Test de phénanthroline.....	26
1.5.2.2 Test de FRAP.....	26
1.6. Analyse statistique	27

Chapitre II : Résultats et Discussion

2. Détermination des teneurs en substances bioactives	29
2.1. Teneur en composés phénoliques totaux	29
2.2. Teneur en flavonoïdes	30
2.3. Teneur en chlorophylles totaux et caroténoïdes totaux.....	31
2.4. Activité antioxydante	32
2.4.1. Activité du piégeage du radical DPPH.....	32
2.4.2. Activité du piégeage du radical ABTS ⁺	34
2.4.3. Test du phénantroline	35
2.4.4. Test du pouvoir réducteur (FRAP)	36
Conclusion.....	38
Références bibliographiques	39

Liste des figures

Figure 1. Exemples de microalgues	6
Figure 2. Exemples de macroalgues.....	6
Figure 3. Algue brune <i>Padina pavonica</i>	8
Figure 4. Morphologie cellulaire de <i>P. pavonica</i>	10
Figure 5. Gamme de tailles des NPs comparées à celles des principales structures chimiques et biologiques.	12
Figure 6. Tailles de différents types de NPs.....	12
Figure 7. Nanomatériaux avec différentes morphologies (A, B, C, D, E).	13
Figure 8. Représentation d'un liposome, vésicule constituée d'un cœur aqueux entouré d'une couronne lipidique.....	14
Figure 9. Représentation schématique des deux grandes approches de synthèse de NPs.....	17
Figure 10. Synthèse biologique des nanoparticules d'argent.	18
Figure 11. Méthode de la macération.	22
Figure 12. Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.....	29
Figure 13. Courbe d'étalonnage de la quercétine.	30
Figure 14. Inhibition du radical DPPH par EEPP, AgNPs-EEPP et la vitamine C.....	33
Figure 15. Inhibition du radical ABTS ⁺ par EEPP, les AgNPs et la vitamine C.	34
Figure 16. Pouvoir réducteur de l'EEPP, AgNPs-EEPP et la vitamine C par la méthode de phénantroline.	35
Figure 17. Pouvoir réducteur de l'EEPP et la vitamine C par la méthode de FRAP.	36

Liste des tableaux

Tableau 1. Classification des algues	7
Tableau 2. Classification de <i>P. pavonica</i>	9
Tableau 3 : Description des différentes parties de la plante <i>Padina pavonica</i>	9
Tableau 4. Les propriétés biologiques de <i>padina pavonica</i>	10
Tableau 5. Exemples des NPs et ses applications, propriétés et fonctionnalités	15
Tableau 6. Propriétés des nanoparticules d'argent.....	17
Tableau 7. Résultats de la quantification des substances bioactives.....	29
Tableau 8. Les valeurs d'IC ₅₀ et A ₀₅₀ de l'EPP, les nanoparticules, la vitamine C, des tests de l'activité antioxydante.	32

Liste des abréviations

µg : Microgramme.

µL : Microlitre.

ABTS: 2, 2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline6-sulfonic acid).

Ag: Argent.

AgNO₃: Nitrat d'argent.

AgNPs : Nanoparticules d'argent

AlCl₃ : Trichlorure d'Aluminium.

ANOVA : Analyse de variance unidirectionnelle.

CUPRAC: cupric-reducing antioxidant capacity.

DPPH : 1,1 -diphenyl-2-picrylhydrazyl.

E : Extrait.

EAG : Equivalent acide gallique.

EEPP : Extrait éthanolique de *Padina pavonica*.

EQ : Équivalent de quercétine.

FRAP : Ferric ion reducing antioxidant parameter.

g : Gramme.

h : Heure.

H₂O : Eau.

H₂O₂ : Peroxyde d'hydrogène.

IC₅₀ : Concentration inhibitrice à 50%.

l : Litre.

m : Mètre.

Me-OH : Méthanol.

mg : Milligramme.

mL : Millilitre.

nm : Nanomètre.

NPs : Nanoparticules

NTC : Nanotube de carbone.

PUF : Particules atmosphériques ultrafines.

ROS : reactive oxygen species

TCA : Tri-chloro acétique

UV : Ultraviolet.

V : Volume.

Résumé

Cette étude a pour objectif la valorisation de l'algue *Padina pavonica* en évaluant ses propriétés antioxydantes. La première démarche dans cette étude consiste à une extraction et synthèse des nanoparticules d'argent à base de cette algue. La teneur en substances bioactives a été déterminée par des tests spectrophotométriques. L'activité antioxydante a été évaluée par quatre méthodes (DPPH, ABTS, FRAP et phénanthroline). Les résultats obtenus ont révélé la richesse de l'extrait éthanolique de *Padina pavonica* en polyphénols, flavonoïdes, chlorophylles et caroténoïdes. Ainsi, les tests de l'activité antioxydante ont montré que l'extrait et les nanoparticules possèdent une capacité à piéger les radicaux libres et à réduire les ions ferriques. En général, la richesse de *P. pavonica* en composé bioactifs aux propriétés antioxydantes suggère une potentielle utilisation dans les industries cosmétique, alimentaires, pharmaceutiques.

Mots clés. *Padina pavonica*, nanoparticules, polyphénols, flavonoïdes, caroténoïdes, chlorophylles, antioxydant.

Abstract

The aim of this study was the valorization of *Padina pavonica* algae by evaluating its antioxidant properties. The first step in this study consists of an extraction and synthesis of silver nanoparticles based on this algae. The content of bioactive substances was determined by spectrophotometric tests. Antioxidant activity was assessed by four methods (DPPH, ABTS, FRAP and phenanthroline). The results obtained revealed the richness of the ethanolic extract of *Padina pavonica* in polyphenols, flavonoids, chlorophylls and carotenoids. Antioxidant activity tests showed that the extract and the nanoparticles have an ability to trap free radicals and reduce ferric ions. In general, the richness of *P. pavonica* in bioactive compounds with antioxidant properties suggests its potential use in the cosmetic, food and pharmaceutical industries.

Keywords: *Padina pavonica*, nanoparticles, polyphenols, flavonoids, carotenoids, chlorophylls, antioxidant.

تهدف هذه الدراسة الي تثمين طحالب *بادينا بافونيكا* من خلال تقييم خصائصها المضادة للأكسدة. حيث تضمنت الخطوة الأولى من هذه الدراسة من استخلاص وتركيب جسيمات الفضة النانوية المعتمدة على هذه الطحالب. تم تحديد محتوى المواد النشطة بيولوجيا عن طريق الاختبارات الطيفية. تم تقييم نشاط مضادات الأكسدة بأربع طرق DPPH ، ABTS ، FRAP والفينانثرولين. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها غنى المستخلص الإيثانولي لنبات البادينا بافونيكا في البوليفينول والفلافونويد والكلوروفيل والكاروتينات. وأظهرت اختبارات نشاط مضادات الأكسدة أن المستخلص والجسيمات النانوية لديها القدرة على احتجاز الجذور الحرة وتقليل أيونات الحديديك. وبشكل عام، فإن غنى *P. pavonica* بالمركبات النشطة بيولوجيًا ذات الخصائص المضادة للأكسدة يشير إلى إمكانية استخدامه في صناعات مستحضرات التجميل والأغذية والأدوية

الكلمات المفتاحية: *بادينا بافونيكا* ، جزيئات نانوية، بوليفينولات، فلافونويدات، كاروتينات، كلوروفيل، مضادات أكسدة

Introduction

Les algues marines forment la principale végétation des mers et des océans. Elles sont représentées par un nombre considérable de familles du sous règne Thallophyta (Sirbu et al., 2006). Elles occupent une place importante dans le milieu marin avec un nombre important d'espèces appartenant à tous les niveaux évolutifs (Oumaskour et al., 2013), et elles sont largement distribuées dans les régions côtières de plusieurs continents (Manivannan et al., 2011).

Les algues sont capables de produire métabolites secondaires parmi lesquels on distingue les composés phénoliques. Avec leur diversité structurale remarquable, ces derniers, également appelés polyphénols, (principalement, flavonoïdes, acides phénoliques, tannins) (King et Young, 1999). Ils sont largement utilisés en thérapeutique comme vasoconstricteurs, anti inflammatoires, inhibiteurs enzymatiques, antioxydants et antiradicalaires et antimicrobiens. Ils sont utiles dans la formulation de compléments nutritionnels ou médicamenteux, le traitement de l'obésité et de diabète (Bahorun, 1997 ; Cetkovic et al., 2008).

Parmi les organismes marins, les macroalgues qui occupent une place importante en tant que source de composés biomédicaux. Environ 200 produits naturels ont été isolés des macroalgues appartenant à différentes classes, Rhodophyceae, Phaeophyceae et Chlorophyceae (Gantet et al., 1999).

L'Algérie, pays connu par ces ressources marines naturelles, avec un littoral de 1200km, est ne source potentiel d'algues marines pouvant être valorisées. Ce qui a incité notre choix sur l'espèce *Padina pavonica*, une algue brune qui appartient à la famille des Dictyotacées (Abdi, 2020).

L'argent depuis longtemps a été utilisé comme un agent antibactérien, antifongique et antiviral car tout en étant très toxiques envers les microorganismes, il est beaucoup moins toxique pour l'homme (Li et al., 2011). Par conséquent les chercheurs s'orientent vers la biosynthèse des nanoparticules métalliques, en particulier les nanoparticules d'argent et surtout à l'aide des végétaux qui ont des propriétés physico-chimiques distinctives (Rai et al., 2012; Mishra et Singh, 2015).

Les produits végétaux trouvent une utilisation impérative dans la synthèse des nanoparticules (NPs). L'argent (Ag) est le métal de choix parmi les métaux nobles pour des applications potentielles dans le domaine des systèmes biologiques, de la matière organique et de la médecine. (Zargar et al., 2011).

Introduction

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

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 généralité sur les nanoparticules et les nanoparticules d'argent. La deuxième partie englobe les protocoles expérimentaux à savoir les dosages des polyphénols, flavonoïdes, chlorophylles et caroténoïdes, ainsi que l'évaluation de l'activité antioxydante in vitro, le piégeage des radicaux libres DPPH et ABTS⁺, le pouvoir réducteur des ions ferriques.

Enfin l'interprétation des résultats obtenus suivie par leurs discussions et on termine notre étude par une conclusion.

Première partie

Synthèse Bibliographique

Chapitre I

Généralité sur les algues

1. Généralité sur les algues

Les Algues ou phycophytes sont des végétaux, ne possédant ni feuilles, ni tiges, ni racine. Leur corps est un thalle, d'où leur nom de thallophyte chlorophylliens (**Morris et Lewin, 1967-1974**), c'est-à-dire des organismes capables de photosynthèse. Elles sont donc autotrophes. (**Roland et al., 2008**), cependant, certaines algues ne sont pas photosynthétiques. 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**). Elles comprennent 20 000 à 30 000 espèces dans le monde, soit 18% du règne végétal (**Garon-Lardiere, 2004**).

Il existe deux modalités de reproduction chez les algues, asexuée s'effectue par multiplication végétative soit en scission binaire (**Michel, 2000**) et sexuée qui implique la méiose et la fécondation. Elle fait intervenir la formation de gamètes et de spores méiotiques (**Amirouche et al., 2009**).

1.1. Morphologie des algues

Les algues ont des formes très variées. En effet, elles peuvent être unicellulaires ou pluricellulaires, fixes ou mobiles, microscopiques ou de grandes tailles. En général, ces organismes sont faits d'un thalle, et d'un pied permettant la fixation au support. Ce pied peut être sous forme de rhizoïde, de crampon, de disque etc. et la forme du thalle est très diverse en fonction des espèces (**Barralon, 2016**).

L'appareil végétatif peut être fait de lames simples ou de tubes, il peut ressembler à des tiges et feuilles, ou à des boules, être cartilagineux ou spongieux, voire très rigide ou entièrement calcifié (**Barralon, 2016**).

1.2. Composition biochimique des algues

La composition biochimique des macroalgues est très variable selon les espèces, la saison, les conditions de croissance, de stress. Les macroalgues peuvent s'expliquer en grande partie par la présence conjointe de trois grandes catégories de composants (fibres, minéraux, protéines, caroténoïde, polyphénols, vitamines, lipides etc) (**Person, 2011**).

1.3. Les deux grands groupes d'algues

Les algues se subdivisent en deux grands groupes à savoir les microalgues et les macroalgues.

1.3.1. Les microalgues

Les microalgues sont définies comme étant des organismes unicellulaires ou pluricellulaires, soit des eucaryotes ou des procaryotes (Sialve et Stever, 2013). Elles sont regroupées dans la sous-classe des cyanobactéries. Cette famille contient 47 000 espèces. Ce sont des microorganismes aquatiques microscopiques (Zehlila, 2017), qui présentent une taille de l'ordre du micromètre. Elles se présentent sous différentes formes : sphériques (le plus souvent) (*Haematococcus*), spirale (*Spiruline*) et même d'étoile (*Staurastrum*) (Becerra-Celis, 2009). Elles sont souvent connues sous la dénomination de « phytoplancton » (Ben Amor Ben Ayed, 2015).

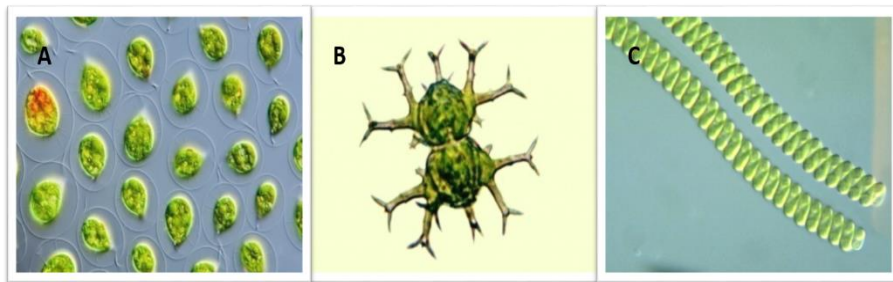


Figure 1. Exemples de microalgues : (A) : *Haematococcus*, (B) : *Staurastrum* (C) : *Spiruline* (Becerra-celis, 2009).

1.3.2. Les macroalgues

Les macroalgues sont au nombre de 25 000 espèces dont seulement 50 sont exploitées à ce jour (Zehlila, 2017), elles sont généralement visibles à l'œil nu et sont souvent connues par « seaweeds ». Les macro-algues peuvent être subdivisées en trois groupes selon leurs pigmentations : verte, brune et rouge (Ben Amor Ben Ayed, 2015).

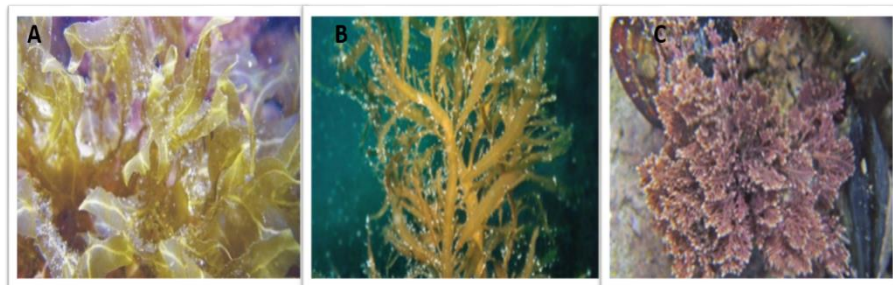





Figure 2. Exemples de macroalgues, A: *Desmarestia ligulata* ; B: *Ellisolandia clongata* ; C: *Ellisolandia clongata*.

1.4. Classification des algues

Selon leur pigmentation, les algues sont divisées en trois groupes:

Les chlorophycées, les rhodophycées, les phéophycées.

Tableau 1. Classification des algues (Demoulin et Leymergie, 2009)

Embranchement (Régne)	Nom Commun	Nombred'espè ces	Pigments	Habitat
Chlorophytes 	Algues vertes	7500 d'espèces	Chlorophylle(a,b) Xanthophylles Carotènes	Eau douce, saumâtre salée et terrestre
Phéophytes 	Algues brunes	1500 d'espèces	Chlorophylle(a,c) Xanthophylles Carotènes Fucoxanthine	Eau salée et saumâtre
Rhodophytes 	Algues rouges	3900 d'espèces	Chlorophylle (a) Xanthophylles Carotènes, Zéaxanthine Phycocyanine C, Phycoérythrine	Eau douce, Saumâtre et Salée

1.5. L'algue brune *Padina pavonica*

1.5.1. Généralités

Padina pavonica, communément appelée queue de paon, est une algue brune appartenant à la classe des Phaeophyceae, famille des Dictyotacées, poussant abondamment en mer Méditerranée, est principalement abondante de juin à septembre (Sari et Tuzen, 2009 ; Ismail-Ben Ali et al., 2010). Elle est ré pondue dans le monde entier dans les régions tempérées chaudes à tropicales notamment de la Caroline du Nord à la Floride aux États-Unis, dans le Golfe du Mexique, dans les

Caraiïbeset dans l'Atlantique tropicale es l'Est, mer atlantique, méditerrané et adriatique (**Orlando-Bonaca et al., 2008**).

Les espèces matures ont des frondes minces, aplaties et souvent concaves, ou presque en forme d'entonnoir (**Sari et Tuzen, 2009 ; Ismail-Ben Ali et al., 2010**).



Figure 3.Algue brune *Padina pavonica*.

La taille et le poids de *Padina pavonica* varient d'une saison à l'autre. La croissance est minimale en hiver. Pendant cette période, les thalles se dégradent, sont déchirés par les vagues et ne restent fixés au substrat que très peu de spécimens de petite taille (et de faible poids), difficiles à détacher du substrat. Dès le début du printemps, les *Padina* reprennent leur croissance qui atteint son maximum en plein été engendrant la biomasse la plus importante au cours de l'année. Sa longueur est commune et d'environ 5 à 15 cm. (**Mansouri, 2021**).

L'algue *Padina pavonica* est connue pour sa capacité à restaurer le métabolisme calcique de l'épiderme et à maintenir un aspect jeune de la peau en favorisant le renouvellement des GAG (glycosaminoglycane), renforçant ainsi leur action protectrice (**Rivière et al., 2016**).

En biologie marine, *P. pavonica* est surtout utilisé comme capteur ou marqueur pour étudier les niveaux de pollution dans l'eau ou marqueur pour étudier les niveaux de pollution dans la mer et en général, dans l'environnement marin (**Ofer et al, 2003**). En ce qui concerne l'influence fonctionnelle et positive de *P. pavonica* sur la santé humaine, les stérols, les lipides, les polysaccharides, caroténoïdes, polyphénols et fibres sont les principaux composés bioactifs trouvés dans les espèces de *Padina* (**Behmer et al., 2013**).

1.5.2. L'espèce *Padina pavonica*

La classification de l'espèce *P. pavonica* est présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2. Classification de *P.pavonica* (keskinkaya et al., 2023)

Règne	Chromista
Embranchement	Ochrophyta
Classe	Phaeophyceae
Sous classe	Dictyophycidae
Ordre	Dictyotales
Famille	Dictyotaceae
Genre	<i>Padina</i>

1.5.3. Description botanique

P. pavonica est caractérisée par les aspects morphologiques mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Description des différentes parties de la plante *Padina pavonica*

Partie	Descriptions	Références
Thalle	Divisé en 8, et parfois plus ; frondes de couleur blanchâtre à brunâtre, 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.	(Aisha, Shameel, 2010) (Riviere et al., 2017)
Crampon	Constitué de rhizoïdes flexibles pour l'attachement à la surface.	(Aisha, Shameel, 2010)
Fronde	En forme d'éventail ou d'oreille, et peuvent atteindre jusqu'à 15 cm de long en été, devenant plus étroites vers la base atteignant jusqu'à 2 mm de large et environ 1 cm de long.	(Aisha, Shameel, 2010)

La figure suivante représente la morphologie de l'algue brune *Padina pavonica* :

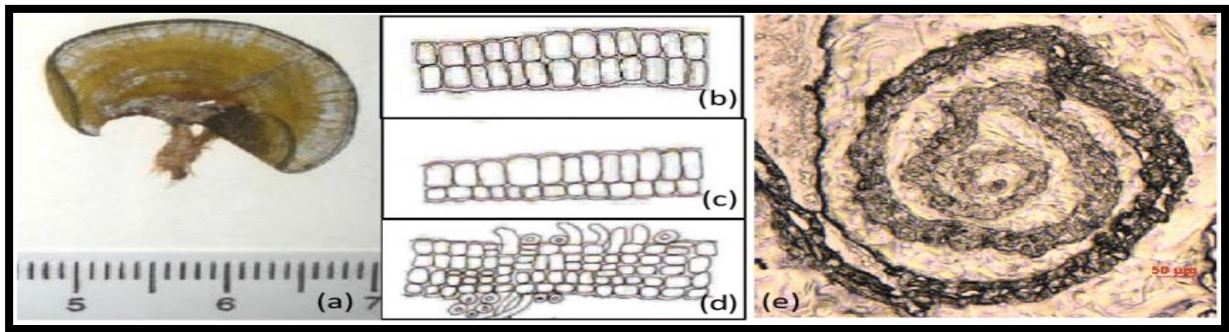


Figure 4. Morphologie cellulaire de *P. pavonica* : (a) La fronde (PortugueseSeaweedWebsite); (Macoï PSW, 2016) (b) Coupe transversale des couches cellulaires supérieures ; (c) Coupe transversale de la couche cellulaire moyenne ; (d) Coupe transversale des couches cellulaires à côté des rhizoïdes. Barre d'échelle 300 μ m (Aisha, Shameel, 2010) ; et (e) La marge apicale enroulée du thalle sous microscopie Axio et selon le protocole d'histologie.

1.5.4. Composition biochimique

Les travaux antérieurs sur les extraits et les huiles essentielles de *P. pavonica* ont montré la présence de composés appartenant aux différentes classes chimiques notamment les composés phénoliques tels que catéchine, acide caféique, rutine, acide *trans-p*-coumarique, *trans*-resvératrol (Keskinaya et al., 2023). La présence aussi des acides gras, phénols, alcools, aldéhydes, esters, hydrocarbures aromatiques, terpènes (Kamenarska et al., 2002).

1.5.5. Propriétés biologiques

P. pavonica est doué de plusieurs propriétés biologiques prouvées par des études *in vitro* et *in vivo*.

Tableau 4. Les propriétés biologiques de *padina pavonica*

Activités Biologique	Références
Activité antimicrobienne	(Kamenarska et al., 2002)
Activité antifongique	(Sultana et al., 2012)
Activité antioxydante	(Khaled et al., 2012)
Activité cytotoxiques	(Ktari et Guyot, 1999)
Activité antitumorale	(Awad et al., 2008)

Chapitre II

Biosynthèse des nanoparticules

2. Généralité sur les nanoparticules

2.1. Définition

Le terme « nanoparticule » désigne un assemblage d'atomes qui constitue des particules, dont 50% ou plus se situent dans la gamme de taille 1-100 nm (Figure 5)(Ema et al., 2017). Le rayon typique d'un atome étant de l'ordre de 0,1 nm, une nanoparticule peut être constituée d'une dizaine à plusieurs centaines d'atomes(Figure6)(Zeyons, 2008). Les nanoparticules (NPs) sont des structures relativement fréquentes et se situent, sur l'échelle du monde vivant, entre l'hélice d'ADN (3,4 nm) et un virus (100 nm) (Figure 5) (Simon-Deckers, 2008).

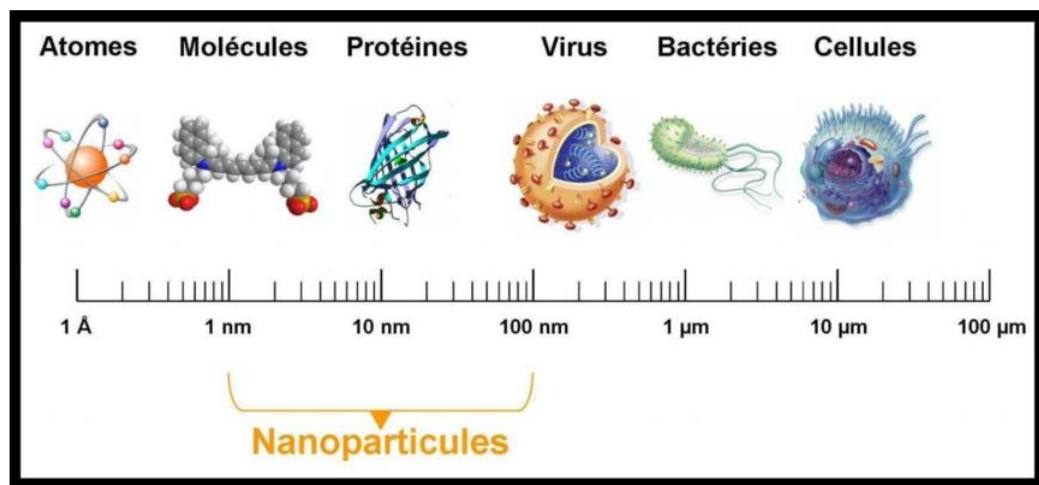


Figure 5. Gamme de tailles des NPs comparées à celles des principales structures chimiques et biologiques (Belfennache, 2012).

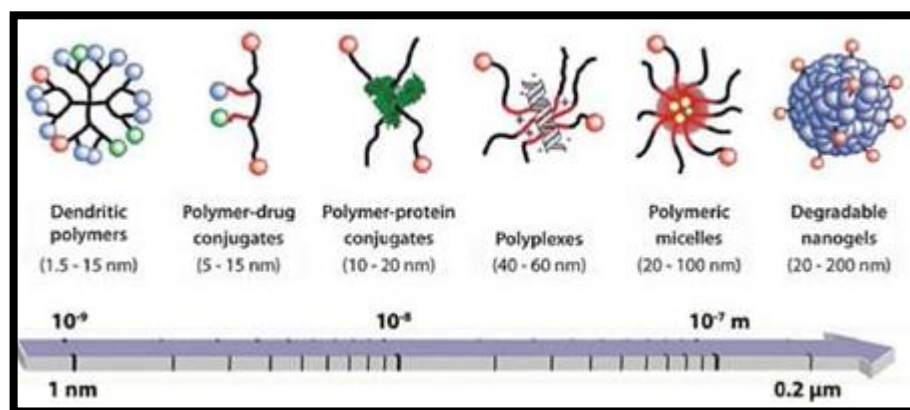


Figure 6. Tailles de différents types de NPs (Belfennache, 2012).

2.2. Sources des nanoparticules

Les sources de nanoparticules peuvent être classées en trois grandes catégories en fonction de leur origine (Remédios et al., 2012).

2.2.1. Sources naturelles

Les NPs sont abondantes dans la nature, car elles sont produites dans de nombreux processus naturels, y compris les réactions photochimiques, les incendies de forêt, les éruptions volcaniques et l'érosion simple, et par les plantes et les animaux (Buzea et al., 2007).

Les NPs biologiques naturelles comprennent les bactéries, les champignons, les virus, les protéines, les lipides, les glucides et d'autres biomolécules inorganiques qui sont de niveau nanoparticulaire (Dutta et Brahmachary, 2007).

2.2.2. Sources anthropiques

Les NPs accidentelles (ou NPs non manufacturées). Dans cette catégorie nous retrouvons les particules atmosphériques « ultrafines » (PUF) (Peters et al., 1997). Ces particules, sont émises notamment par les véhicules diesel, les véhicules à essence et les chauffages urbains. Mis à part les PUF, d'autres NPs sont produites par l'homme de façon accidentelle (Lanone et Boczkowski, 2010).

2.2.3. Nanoparticules artificielles (ou nanoparticules manufacturées)

Les NPs artificielles, manufacturées ou intentionnelles sont des particules produites artificiellement en raison de leurs propriétés utiles. Ils peuvent être constitués d'un seul élément comme C ou Si, ou d'un mélange d'éléments différents (Bakshi et al., 2014).

2.3. Classification des nanoparticules

Les NPs sont classées en différents types sur la base de leur morphologie, de leur taille et de leur forme.

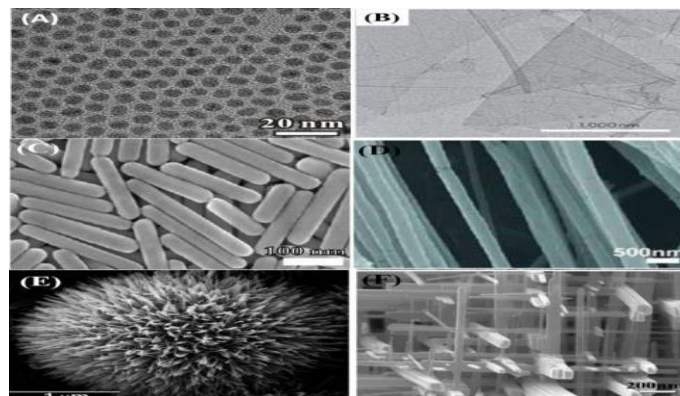


Figure 7. Nanomatériaux avec différentes morphologies (A, B, C, D, E).

2.3.1. Nanoparticules organiques

Les NPs organiques comprennent la ferritine, les micelles, les dendrimères et les liposomes. Les NPs organiques ne sont pas toxiques, biodégradables et certaines NPs organiques ont une sphère creuse, comme les micelles et les liposomes. Elles sont également connues sous le nom de nanocapsules qui sont sensibles à la chaleur et à la lumière (Tiwari et Sen, 2008).

Les NPs organiques sont un choix idéal pour l'administration de médicaments en raison de ces caractéristiques. Les nanoparticules organiques sont également connues sous le nom de NPs polymériques. La forme la plus connue des NPs organiques ou polymériques est la nanosphère ou la nanocapsule (Manshaet al., 2017).

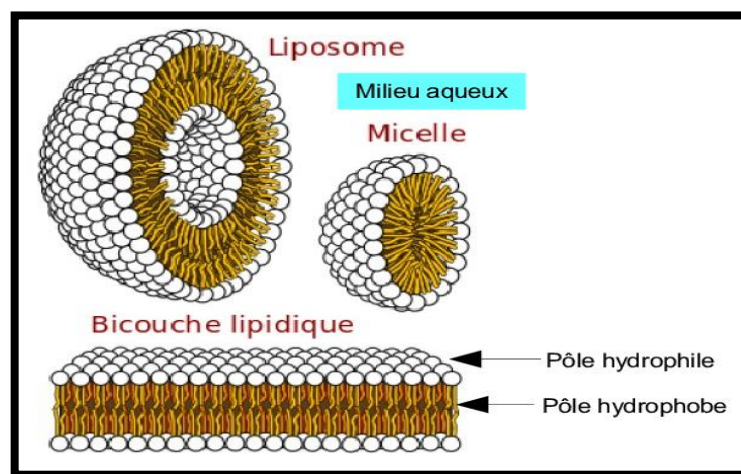


Figure 8. Représentation d'un liposome, vésicule constituée d'un cœur aqueux entouré d'une couronne lipidique.

2.3.2. Nanoparticules inorganiques

Les NPs inorganiques sont caractérisées par les propriétés suivantes :

- L'absence du carbone.
- Ne sont pas toxiques.
- Sont biocompatible et hydrophile.
- Sont plus stable que les NPs organiques (Bukhari et al., 2020)

Les NPs inorganiques sont classées en NPs métalliques et en NPs d'oxyde métallique.

2.3.2.1. Nanoparticules métalliques

Les métaux sont utilisés pour synthétiser des NPs Metallica en utilisant des méthodes destructives ou constructives. Les NPs métalliques possèdent des propriétés optoélectriques uniques grâce aux

caractéristiques de résonance du plasma. La synthèse des NPs métalliques est contrôlée par la forme, la facette et la taille. (**Dreadenet al., 2012**).

2.3.2.2. Nanoparticules d'oxyde métallique

La synthèse de NPs d'oxyde métallique a pour but de modifier les propriétés des NPs de métaux respectifs, par exemple les NPs de fer sont oxydées en NPs d'oxyde de fer. La réactivité des NPs d'oxyde de fer est accrue par rapport à celle des NPs de fer. En raison de l'augmentation de la réactivité et de l'efficacité de l'oxyde métallique, les NPs d'oxyde métallique sont synthétisées (**Taïet al., 2007**).

2.4. Exemples des nanoparticules et ses applications, propriétés et fonctionnalités

Les différentes NPs sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 5. Exemples des NPs et ses applications, propriétés et fonctionnalités (**Elkaiem, 2005**).

Nanomatériaux	Applications	Propriétés, fonctionnalités
Argent	Déodorants, dentifrices Argents de dépollution des eaux et des sols Encre Habillement	Antibactérien Dégradation/adsorption de contaminants Conductivité microélectronique Antibactérien, pigment, Teignabilité
Dioxyde de titane	Béton, ciment Crème de soin, crème solaire Argent de dépollution des eaux et des sols peintures Habillement	Autonettoyant, dépollution Absorbant UV Dégradation/absorption de contaminants Autonettoyant, dépollution, résistance aux UV et aux rayures Résistance aux UV, autonettoyant, retardateur de flamme
Noir de carbone	Maquillage Batterie Peinture Habillement	Pigment Conductivité Pigment, pouvoir couvrant Conductivité thermique et électrique
Nanotube de carbone (NTC)	Cellule photovoltaïque Batterie Peinture Habillement	Rendement Conductivité Résistance mécanique, conductivité électrique, résistance à l'abrasion Retardateur de flamme, résistance mécanique, conductivités thermique et électrique

Fullerènes	Crème de soin Vectorisation de médicaments, de protéines, de gènes pneumatiques	Antioxydant Encapsulation et transport dans l'organisme Résistance mécanique
Oxyde de zinc	Conditionnement et emballage Plastique Crème de soin Cellule photovoltaïque Peinture	Antibactérien Cicatrisant, adsorbeur UV Rendement Matité, autonettoyant, dépollution, résistance aux UV
Silice amorphe	Béton Dentifrice	Fluidifiant, résistance mécanique, protection thermique Abrasif, épaississant

2.5. Nanoparticules d'argent

2.5.1. Présentation générale

L'argent est un élément de métal de transition d'origine naturelle (**Keerawelle et Chamara, 2019**). Il est utilisé depuis l'antiquité comme agent antifongique et antiviral, car tout en étant très toxique pour les microorganismes, il est beaucoup moins toxique pour l'homme (**Li et al., 2011**), de masse atomique de 107,87 g/mol, solide à température ambiante. Sa densité est de 10,5 et son point de fusion est de 960 °C. Il s'oxyde peu, ductile, malléable et bon conducteur thermique et électrique (**Chauvel, 2018**).

Parmi les différentes NPs métalliques, les nanoparticules d'argent (AgNPs) sont l'un des nanomatériaux les plus essentiels et les plus fascinants (**Nasrollahzadeh et al., 2019**). Composées à 80% d'atomes d'argent et à 20% d'ions d'argent. Devant les nanotubes de carbone et les nanoparticules de titane, elles sont les nanoparticules les plus vendues et relâchées dans l'environnement (**Andrieux, 2012**).

2.5.2. Propriétés des nanoparticules d'argent

Les AgNPs ont des propriétés physico-chimiques distinctives, notamment une conductivité électrique et thermique élevée, une diffusion Raman améliorée en surface, une stabilité chimique, une activité catalytique et un comportement optique non linéaire (**Tran et al., 2013**).

Tableau 6. Propriétés des nanoparticules d'argent

Propriétés optiques	Les AgNPs sont extrêmement efficaces pour absorber et diffuser la lumière et contrairement à de nombreux colorants et pigments, ont une couleur qui dépend de la taille et de la forme de la particule (Yusuf, 2019).
Propriétés thermiques	Une propriété remarquable des NPs métalliques est leur faible température de fusion due à l'effet de taille thermodynamique (Syafiuddin et al., 2017).
Propriétés catalytiques	Les AgNPs ont été utilisées comme agents catalytiques efficaces pour la réduction de divers colorants tels que le bleu de méthylène, l'éosine... (Syafiuddin et al., 2017)

2.5.3. Méthodes de synthèse de nanoparticules d'argent

Les nanoparticules d'argent sont généralement synthétisées selon deux approches principales: l'approche dite descendante « Top-down » et l'approche dite ascendante « bottom-up ». De nos jours, trois méthodes de synthèse adaptées à ces approches, ont été développées pour permettre l'obtention de telles particules.

2.5.3.1. Approche descendante « Top-down »

Dans cette approche, les NPs sont synthétisées par les méthodes physique, basées sur la décomposition d'un matériau massif afin d'en réduire la taille. Par contre, elles nécessitent un matériel coûteux pour un rendement en nanoparticules souvent très limité.

2.5.3.2. Approche ascendante « Bottom-up »

Dans cette approche, les NPs sont synthétisées dans les laboratoires à l'aide de méthodes chimiques et biologiques par l'auto-assemblage atome par atome, molécule par molécule ou agrégat par agrégat, qui se développent en particules de taille nanométrique (Mathur et al., 2018).

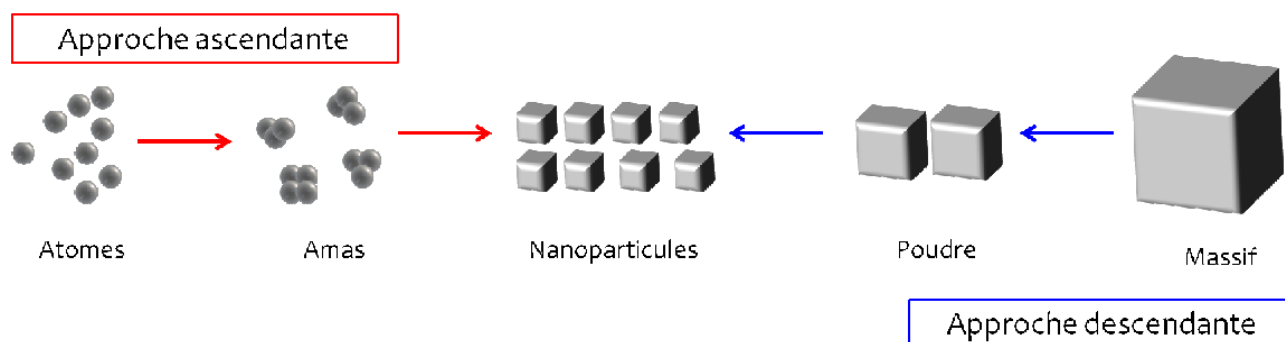


Figure 9. Représentation schématique des deux grandes approches de synthèse de NPs (Andrieux – Ledier, 2012).

2.5.4. Synthèse verte ou biologique

Elle consiste en la production des NPs à l'aide d'entités biologiques telles que les micro-organismes, les extraits ou les biomasses de plantes et les enzymes et pourrait être une suppléante des méthodes chimiques et physiques dans le cadre du respect de l'environnement (Ahmed et al., 2016).

En outre, l'utilisation d'extraits de végétaux est potentiellement bénéfique que les microorganismes en raison de la facilité d'amélioration et le processus laborieux de conservation les cultures cellulaires, selon les besoins du processus de micro-organisme (Ahmed et al., 2016).

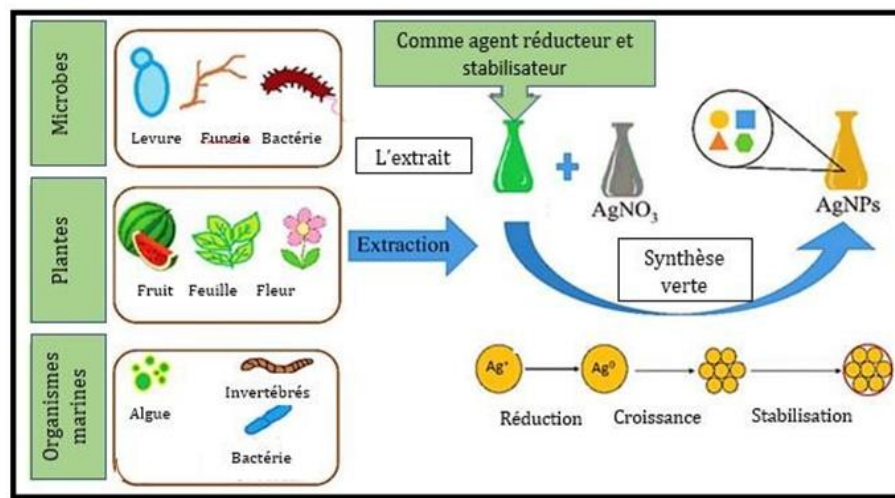


Figure 10. Synthèse biologique des nanoparticules d'argent.

2.6. Activités biologiques des nanoparticules d'argent

Les AgNPs ont reçu une énorme attention des scientifiques en raison de leur remarquable défense contre divers micro-organismes pathogènes (Rajeshkumar et Bharath, 2017).

2.6.1. Activité antibactérienne

Les AgNPs ont été démontrés comme un biocide efficace à large spectre contre à la fois les bactéries à Gram négatif et à Gram positif y compris *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Streptococcus mutans*, et *Bacillus subtilis* (Zhang et al., 2016).

Le rapport surface/volume élevé des AgNPs augmente leur contact avec les microorganismes, favorisant la dissolution des ions argent, améliorant ainsi l'efficacité biocide (Keywan et al., 2019).

2.6.2. *Activité antivirale*

Les nanoparticules ont un fort potentiel antiviral en raison de leurs interactions multiples avec la glycoprotéine récepteur et/ou enveloppe virale, ils peuvent inhiber la multiplication virale à l'intérieur de la cellule hôte en empêchant la réplication ou en bloquant l'entrée de particules virales à l'intérieur de la cellule hôte (**Carolina et al., 2014**). Comme le virus de l'immunodéficience humaine (HIV-1), virus de l'hépatite B et virus syncytial respiratoire (**Li et al., 2011**).

2.6.3. *Activité antifongique*

Les AgNPs ont une forte activité antifongique sur *Candida albicans*, *Candida glabrata*, *Candida parapsilosis*, *Candida krusei* et *Trichophyton mentagrophytes*(**Li et al., 2011**).

2.6.4. *Activité antiinflammatoire*

Des études ont montré que l'exposition au NPs conduit à la sécrétion de plusieurs cytokines et chimiokines par les cellules épithéliales, conduisant à l'infiltration de macrophages dans les zones exposées. Ensuite les macrophages déclenchent la libération de cytokines inflammatoires qui induisent à la régulation positive des médiateurs inflammatoires induisent une production accrue de cytokines inflammatoires du système circulatoire vers le site de l'inflammation(**Keywan et al., 2019**).

2.6.5. *Activité anticancéreuse*

Les AgNPs peuvent être considérés comme un outil prometteur dans la prévention contre divers types de cellules cancéreuses, comme le carcinome hépatocellulaire, le cancer du poumon et du sein, et le carcinome cervical en raison de leur meilleure pénétration, leur propriétés anti-angiogéniques et anti-prolifératives et la facilité de leur suivi dans le corps (**Sang Hun et Bong-Hyun, 2019; Adnan et al., 2020**).

2.6.6. *Activité antidiabétique*

Les AgNPs piègent les radicaux libres et réduisent les niveaux d'enzymes qui provoquent l'hydrolyse des glucides complexes (α -glucosidase et α -amylase), ce qui entraîne une augmentation du taux de consommation de glucose (**Prateek et al., 2017**).

2.6.7. *Activité antioxydant*

Les AgNPs possède des propriétés antioxydantes qui sont prouvés par plusieurs méthodes in vitro (DPPH, ABTS et la détermination de pouvoir réducteur) (**Ruttkay-Nedecky, 2018 ;Chebbi et Cherief, 2018**).

Deuxième Partie

Etude Expérimentale

Chapitre I

Matériels et Méthodes

1. Étude phytochimique

1.1. Récolte du matériel végétale

L'algue brune *Padina pavonica* a été récoltée au mois d'Août 2021 dans la plage de Sidi Abderrahmane, (Khraif), village Laouinat, commune Khenak Mayoun de la wilaya Skikda. Après rinçage avec l'eau de robinet et le séchage dans un endroit sec à l'abri des rayons solaires, afin de préserver au maximum l'intégrité des molécules, l'algue a été broyée dans un moulin électrique puis pesée.

1.2.Extraction

L'extraction a été effectuée par macération selon la méthode de **(Park et Ikegaki, 1998)**. 20 g de poudre algale est laissé macérer pendant 3 jours dans un mélange hydroalcoolique (Éthanol/eau) (70/30 : v/v). La macération a été répétée 4 fois (3 à froid et 1 à chaud) jusqu'à l'épuisement du matériel végétal. L'extrait a ensuite été filtré par un système de filtration Büchner et soumis à une évaporation par rotavapeur **(Figure 11)**.

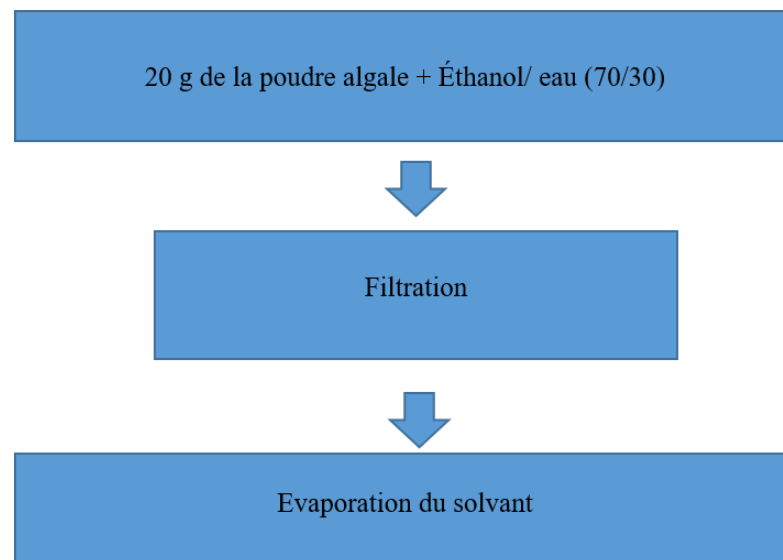


Figure 11. Méthode de la macération.

1.3.La synthèse des nanoparticules d'argent

La synthèse des nanoparticules d'argent a été effectuée selon le protocole de **(Al-Sheddi et al., 2018)** avec quelques modifications selon **(Karan et al., 2023)**. L'extrait d'algue *Padina pavonica* (EPP) (500 mg) a été dissout dans l'eau distillée (100 mL), ensuite 10 mL de la solution obtenus a été traitée

avec du nitrate d'argent (1mM,90 mL). Puis le mélange a été laissé sous agitation à une température de 56C° pendant 2h. Le changement de la couleur a été vérifié, ce qui est un indicateur de la formation de nanoparticules d'argent (AgNPs). La solution contenant des nanoparticules d'argent a été centrifugée à 5000 rpm pendant 15 min pour récupérer les AgNPs. Le culot a été lavé avec de l'eau distillée plusieurs fois pour éliminer les impuretés et de l'éthanol. Après le séchage dans une étuve à 37 C°, lesAgNPs ont été obtenues sous forme de solide marron foncé.

1.4. Détermination des teneurs en substances bioactives

1.4.1. Dosage des polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux de notre extrait a été effectué selon la méthode du réactif Folin-Ciocalteu décrite par (Wong et al., 2006).

- *Principe*

Le réactif est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$). Il est réduit, lors de l'oxydation des phénols dans un milieu basique, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (Mo_8O_{23}) (Robbins, 2003). La coloration bleue ainsi produite est proportionnelle aux taux de composés phénoliques et possède une absorption maximum aux environs de 750-765 nm.

- *Mode opératoire*

Il consiste à mélanger 200 μ L de l'extrait (0.5 mg d'extrait dilué dans 1 mL méthanol) avec 1mL de réactif de Folin-Ciocalteu (10 fois diluée dans l'eau distillé). Les solutions ont été mélangées et incubées pendant 4 minutes. Après l'incubation, 800 μ L de la solution de carbonate de sodium Na_2CO_3 (75 g/L) a été ajoutée. Le développement d'une couleur bleue est obtenu après incubation à l'obscurité et à température ambiante pendant 2h. Après incubation, l'absorbance est mesurée par un spectrophotomètre à 765 nm. Le blanc de la réaction ne contenant pas des polyphénols est réalisé et considéré comme le point 0 en mg/mL.

- *Expression des résultats*

La concentration en polyphénols totaux est calculée à partir de l'équation de régression linéaire de la gamme d'étalonnage, établie avec le standard étalon l'acide gallique (10-200 μ g/mL) et exprimée en microgrammes d'équivalents d'acide gallique par milligramme d'extrait (μ g EAG/mg E).

1.4.2. Dosage des flavonoïdes totaux

La méthode de trichlorure d'aluminium (AlCl_3) cité par (Djeridane et al., 2006) est utilisée pour quantifier les flavonoïdes dans notre extrait.

- Principe

Cette technique est basée sur la formation d'un complexe très stable, entre le chlorure d'aluminium et les atomes d'oxygène présent sur les carbones 4 et 5 des flavonoïdes (Lagnika, 2005).

- Mode opératoire

1 mL de chaque extrait et du standard (dissous dans le méthanol) avec les dilutions convenables a été ajouté à un volume égal d'une solution d' AlCl_3 (2% dans le méthanol). Le mélange a été vigoureusement agité et l'absorbance à 430 nm a été lue après 10 minutes d'incubation.

- Expression des résultats

La concentration en flavonoïdes totaux est calculée à partir de l'équation de régression linéaire de la gamme d'étalonnage, établie avec le standard étalon la quercétine et exprimée en microgrammes d'équivalents quercétine par milligrammes d'extrait (2.5-30 $\mu\text{g EQ/mg d'E}$).

1.4.3. Dosage de chlorophylles totaux et caroténoïdes

Ce test est réalisé comme suit : 1mg d'extrait a été dissous dans 1 mL d'eau distillée. L'absorbance a été mesurée par un spectrophotomètre à différentes longueurs d'ondes (450 nm, 645 nm, 663 nm). Les résultats sont exprimés en $\mu\text{g/mg}$ d'extrait (Hartmut et Alan, 1983). La teneur en chlorophylles totaux et caroténoïdes est estimée selon les formules suivantes

$$\text{Chlorophylle a} = 12,7 \times A_{663} - 2,69 \times A_{645}$$

$$\text{Chlorophylle b} = 22,9 \times A_{645} - 4,68 \times A_{663}$$

$$\text{Chlorophylle totaux} = 20,2 \times A_{645} + 8,02 \times A_{663}$$

$$\text{Caroténoïdes totaux} = 4,07 \times A_{450} - [(0,0435 \times \text{Chlorophylle a}) + (0,367 \times \text{chlorophylle b})].$$

A : Absorbance

1.5. Evaluation de l'activité antioxydante

1.5.1. Piégeage des radicaux

1.5.1.1. Test de piégeage du radical DPPH

L'activité antiradicalaire de différents extraits a été déterminée par une méthode spectrophotométrique en utilisant le radical libre 2,2-diphényl-1-picryl-hydrazyle (DPPH) selon le protocole de (Blois, 1958). L'acide ascorbique (vitamine C) a été utilisé comme standard antioxydant.

- Principe

L'activité antiradicalaire est mesurée par la dégradation du DPPH : 2,2'-diphényl-1-picrylhydrazyl, qui est un radical synthétique présentant une intense coloration violette. La couche électronique de ce radical est saturée en contact d'antioxydants des extraits ou le standard, ce qui explique la disparition de sa coloration. Cette décoloration explique le pouvoir de l'extrait de la plante à piéger ce radical, qu'on peut détecter par un spectrophotomètre-UV.

- Mode opératoire

La solution de DPPH est préparée par solubilisation de DPPH dans le méthanol. Puis 1600 µL de la solution de DPPH ont été ajoutés à 400 µL de chaque extrait. Puis le mélange a été incubé pendant 30 min à l'obscurité. L'absorbance est mesurée à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre-UV visible. Le pouvoir d'inhibition du radical DPPH est estimé selon la formule suivante:

$$\% \text{ D'activité anti radicalaire} = [A0-A1] / A0 \times 100$$

A0 : Absorbance du Blanc.

A1: Absorbance de l'extrait.

Où en calculant l'IC₅₀ qui est la concentration en extrait nécessaire pour réduire 50% du radical DPPH.

1.5.1.2. Test de réduction du radical ABTS⁺

L'analyse spectrophotométrique de l'ABTS a été déterminée selon la méthode de (Re et al., 1999).

- Principe

Le radical ABTS a été produit par la réaction entre d'ABTS (7 mM) dans H₂O et de persulfate de potassium (2.45 mM). Le mélange a été incubé à l'obscurité à température ambiante pendant 12 h. L'oxydation d'ABTS a commencé immédiatement mais l'absorbance n'était pas stable avant 6 h de temps.

Deuxième partie : Etude Expérimentale Chapitre I : Matériel et Méthode

- Mode opératoire

Avant l'utilisation du radical ABTS. La solution a été diluée par l'éthanol jusqu'à l'obtention d'une absorbance de 0.708 ± 0.025 à 734 nm. Puis, 1600 μL d'ABTS ont été ajoutés à 400 μL de la solution de l'extrait dans l'éthanol à différentes concentrations. Après incubation pendant 10 min à l'obscurité, l'absorbance est mesurée à 734 nm à l'aide d'un spectrophotomètre-UV visible. La capacité de piégeage de l'ABTS a été calculée selon la formule suivante

$$\% \text{ d'activité anti-radicalaire} = (\text{Abs contrôle} - \text{Abs échantillon}) \times 100 / \text{Abs contrôle.}$$

1.5.2. Réductions des ions ferriques

1.5.2.1. Test de phénanthroline

L'estimation du pouvoir réducteur des extraits en utilisant la méthode de phénanthroline est déterminée selon la technique de (Szydłowska-Czerniak et al., 2008).

- Principe

Ce test est basé sur la réaction de l'ion ferreux (Fe^{2+}) avec la 1,10 phénanthroline, L'ion ferreux forme spécifiquement un complexe de triphénanthroline rouge-orange qui absorbe au maximum à 508-510 nm (Kholthoff et al., 1950).

- Mode opératoire

Brièvement, à l'aide d'un spectrophotomètre UV visible, le milieu réactionnel est composé de 100 μl d'extrait, 500 μl du FeCl_3 , 300 μl du Phénanthroline et 1100 μL de méthanol. Le mélange est incubé à l'obscurité pendant 20 minutes à 30°C puis les absorbances sont mesurées à 510 nm. La vitamine C est utilisée comme standard.

Les résultats sont exprimés en tant que $A_{0.50}$ qui indique la concentration qui correspond à l'absorbance égale 0,50.

1.5.2.2. Test de FRAP

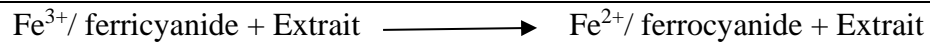
L'activité du pouvoir réducteur d'EPP est déterminée par la méthode de (Oyaizu, 1986) avec une légère modification.

- Principe

Cette technique a été développée pour mesurer la capacité des extraits testés à réduire le fer ferrique (Fe^{3+}) présent dans le complexe ferricyanure de potassium $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ en fer ferreux (Fe^{2+}). En effet le Fe^{3+} participe à la formation du radical hydroxyle par la réaction de Fenton. L'absorbance du milieu réactionnel est déterminée à 700 nm (Oyaizu, 1986).

Deuxième partie : Etude Expérimentale Chapitre I : Matériel et Méthode

Le principe de ce test est basé sur la réaction chimique suivante



- Mode opératoire

Dans une microplaque de 96 puits, 10 μl d'extrait ou de standard est ajouté à 40 μl du tampon phosphate (0.2 M, pH 6.6) et 50 μl potassium ferricyanide (1%). Le mélange est incubé à 50°C pendant 20 minutes. 50 μl d'acide tri-chloro acétique (TCA) (10%) sont ajoutés pour stopper la réaction. Après, 40 μl d'eau distillée et 10 μl du FeCl_3 (0.1%) sont ajoutés au milieu réactionnel. L'absorbance est mesurée directement à 700 nm. Le pouvoir réducteur augmente avec l'augmentation de l'absorbance.

1.6. Analyse statistique

Toutes les expériences ont été faites en triples et les résultats sont exprimés en moyenne \pm écartype. Les résultats sont analysés par une analyse de variance unidirectionnelle (ANOVA) suivie d'un test de Tukey à l'aide de GraphPadPrism (version 6.0.1). Les résultats sont considérés comme significativement différentes à $p < 0.05$.

Chapitre II

Résultats et Discussion

2. Détermination des teneurs en substances bioactives

2.1. Teneur en composés phénoliques totaux

La teneur en polyphénols totaux a été déterminée par la méthode de Folin- Ciocalteu et exprimée en microgrammes équivalent d'acide gallique par milligramme de l'extrait, en utilisant l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage (**Figure 12**).

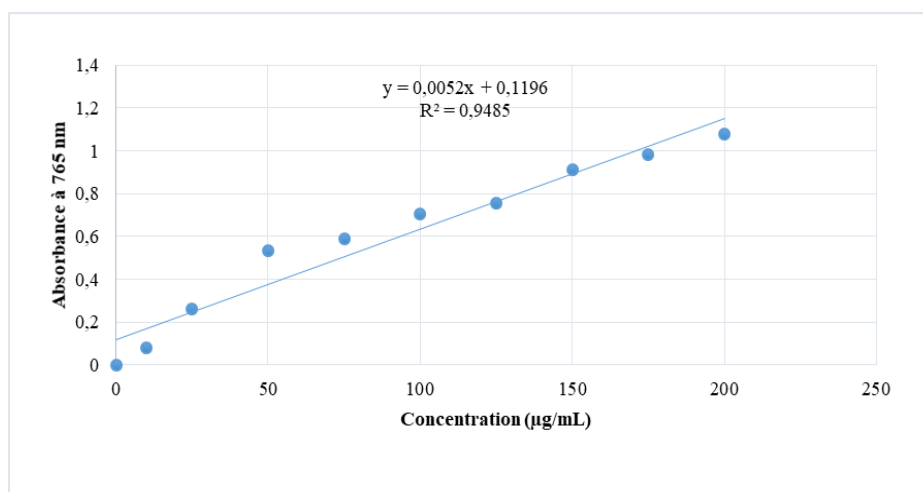


Figure 12. Courbe d'étalonnage de l'acide gallique

Le résultat obtenu de la teneur en polyphénols d'EEPP est présenté dans le **tableau 7**.

Tableau 7. Résultats de la quantification des substances bioactives

Dosage	Rendement (µg /mg E)
Les polyphénols	23,92
Les flavonoïdes	3,50±0,37
Les caroténoïdes totaux	0,64±0,02
Les chlorophylles totaux	5,44±0,05
Le chlorophylle a	2,37±0,03
Le chlorophylle b	3,07±0,07

L'analyse des composés phénoliques a montré que l'EEPP possède une teneur de 23,92 µg EAG /mg E. Ces résultats confirment la richesse de *P. pavonica* en substances polyphénoliques. Ceci

est en accordance avec l'étude de (Marfaing et Leart, 2007) qui ont révélé que parmi les algues, les algues brunes possèdent les teneurs les plus élevées en polyphénols.

En comparant avec les travaux antérieurs, notre résultat est en agrément avec les résultats de (Keskinaya, 2023) qui a indiqué une teneur de $24,00 \pm 1,03 \mu\text{g EAG/mg}$ pour EEPP originaire de la Turquie. Cependant, notre résultat est supérieur à ceux des (Chertouk et Youssfi, 2014) et (Tabouri et Yahiaoui, 2022) qui ont montré des teneurs de $1,027 \pm 0,87 \text{ mg EQ phl/g}$ et $17,48 \pm 0,10 \text{ mg EAG/g}$ pour des extraits éthanoliques de *P. pavonica* originaire de Bejaia. Toutefois, les études de (Tiouane et Bouzidi, 2018) et (Boutadjine et Youssfi, 2014) ont révélé des teneurs de $92,5 \pm 4,33 \mu\text{g EAG/mg E}$ et $11,32 \pm 3,46 \text{ mg EAG/g}$ des extraits méthanoliques de *P. pavonica* originaire de Jijel.

En général, la teneur en polyphénols des extraits dépend de la méthode d'extraction utilisée, de la nature du solvant, le matériel végétal utilisé (Hayouni et al., 2007), ainsi que les conditions de stockage (Falleh et al., 2008 ; Podsedek, 2007).

2.2. Teneur en flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes a été déterminée par la méthode au trichlorure d'Aluminium (AlCl_3) et exprimée en μg équivalent de quercétine/mg d'extrait, en utilisant la courbe d'étalonnage de la quercétine (Figure 13) et les résultats sont présentés dans le tableau 7.

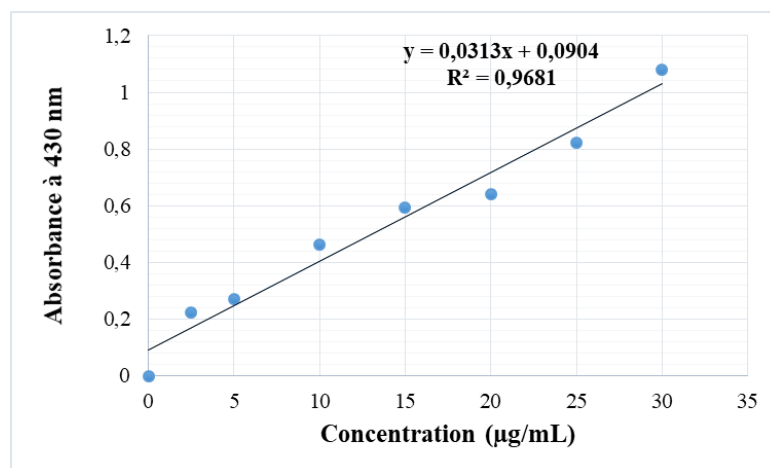


Figure 13. Courbe d'étalonnage de la quercétine.

L'analyse des composés flavonoïdiques a montré que EEPP possède une teneur de $3,50 \pm 0,37 \mu\text{g /mg}$ d'extrait. Ce résultat est proche de ceux de (Boutadjine et Youssfi, 2014) qui ont trouvé une teneur de $4,02 \pm 0,94 \text{ mg EQ/g E}$ pour l'extrait méthanolique de *P. pavonica* originaire de Jijel. Cependant, notre résultat est inférieur à ceux trouvés par (Keskinaya, 2023) et (Tiouane et Bouzidi, 2018) qui ont montré des teneurs en flavonoïdes totaux de $29,50 \pm 2,23 \mu\text{g EQ/mg E}$ et $6,37 \pm 0,06 \text{ mg}$

EQ/g E pour l'extrait éthanolique de *P. pavonica* originaire de la Turquie et l'extrait méthanolique de *P. pavonica* originaire de Jijel, respectivement.

Par ailleurs, il est rapporté que les teneurs en flavonoïdes dans les algues marines varient pour plusieurs raisons : l'espèce, la saison et d'autres conditions géographiques (**Sarjini et al., 2012**). Ainsi, des études récentes ont montré que les teneurs en composés phénoliques, changent de façon considérable d'une espèce à une autre et à l'intérieur de la même espèce à cause des facteurs extrinsèques (température, climat...), génétiques (la variété et l'origine d'espèces), physiologiques (le degré de maturation de la plante, les organes utilisés) et de la durée de stockage (**Maisuthisakul et al., 2007 ;Ksouri et al., 2009**).

2.3. Teneur en chlorophylles totaux et caroténoïdes totaux

Les principaux pigments photosynthétiques, la chlorophylle totale et les caroténoïdes ont été estimés dans EEPP à l'aide d'un spectrophotomètre et les résultats sont présentés dans le **tableau 7**. Les résultats obtenus ont montré que l'EEPP possède des teneurs en chlorophylles totaux et caroténoïdes totaux de l'ordre de $5,44 \pm 0,05 \mu\text{g}/\text{mg}$ et $0,64 \pm 0,02 \mu\text{g}/\text{mg}$ d'extrait, respectivement.

Dans la présente étude, la concentration de chlorophylle (a) et chlorophylle (b) dans EEPP étaient de l'ordre de $2,37 \pm 0,03 \mu\text{g}/\text{mg}$ et $3,07 \pm 0,07 \mu\text{g}$, respectivement. Cependant, les travaux antérieurs ont indiqué des valeurs différentes que celles trouvées dans ce travail. (**Ghaliaoui, 2021**) a trouvé une valeur de chlorophylle (a) de l'ordre de $16,66 \pm 0,29 \text{ mg}/\text{mL}$ dans l'extrait de *Padina sp.* Ainsi, l'étude Libanaise de (**Elsalhin et Abobaker, 2023**) ont révélé des teneurs en chlorophylle (a), et chlorophylle (b) de l'ordre de $3,417 \pm 0,798 \text{ g}/\text{mL}$ et $2,380 \pm 0,867 \text{ g}/\text{mL}$, respectivement.

Nos résultats de la teneur en chlorophylle semblent supérieurs à ceux indiqués dans les travaux d'autres auteurs sur les algues brunes. L'étude de (**Berrabah et Bakerti, 2018**) sur *cystoseira sticta sp* a révélé une concentration de $0,83 \mu\text{g}/\text{g}$ pour la chlorophylle (a) et $1,70 \mu\text{g}/\text{g}$ pour la chlorophylle (b).

En ce qui concerne les caroténoïdes, les travaux antérieurs ont montré des concentrations variables. (**Elsalhin et Abobaker, 2023**) ont trouvé une teneur de l'ordre de $1,403 \pm 0,631 \text{ g}/\text{mL}$ dans *P. pavonica*. (**Ghaliaoui, 2021**) a révélé des teneurs qui varient de $22,19 \pm 0,26 - 30,19 \pm 2,07 \text{ mg}/\text{mL}$ dans *Padina sp.* Ainsi, l'étude menée par (**Kermane et al., 2020**) sur différents extraits de *P. pavonica* a montré des teneurs de $19,09 \pm 1,45 \mu\text{g}/\text{g}$ dans l'extrait aqueux, une concentration de $21,46 \pm 1,34 \mu\text{g}/\text{g}$ dans l'extrait éthanolique et une valeur de $66,96 \pm 4,78 \mu\text{g}/\text{g}$ dans l'extrait méthanolique. Ces valeurs sont inférieures à celle trouvée dans notre étude ($0,64 \pm 0,02 \mu\text{g}/\text{mg}$).

La différence observée entre notre résultat et ceux des travaux des autres auteurs peut être s'expliquée par le fait que la teneur en chlorophylle chez les espèces végétales peut être influencée par beaucoup de facteurs parmi eux les facteurs environnementaux tel que la lumière, la température et la disponibilité en eau (**Hikosaka et al., 2006**).

2.4. Activité antioxydante

L'effet antioxydant de l'extrait et nanoparticules a été évalué par quatre méthodes. Le test au DPPH et ABTS pour évaluer la capacité des extraits à piéger les radicaux libres, ainsi, le test de phénanthroline et FRAP pour évaluer la capacité des extraits à réduire les ions de fer.

2.4.1. Activité du piégeage du radical DPPH

L'activité antioxydante a été évaluée par le test au DPPH. Ce test nous a permis de déterminer la capacité de nos extraits à neutraliser le radical libre DPPH présent dans le milieu réactionnel. L'activité antioxydante des extraits a été évaluée par le calcul de la valeur IC₅₀ qui indique la concentration nécessaire de l'extrait qui inhibe 50% du radical libre DPPH. Il est à noter que l'extrait qui présente la valeur d'IC₅₀ la plus faible, est l'extrait le plus puissant (**Mghezzi Habellah et al., 2016**).

Les résultats obtenus sont présentés dans le **tableau 8**.

Tableau 8. Les valeurs d'IC₅₀ et A_{0,50} de l'EPP, les nanoparticules, la vitamine C, des tests de l'activité antioxydante.

	DPPH IC ₅₀ (µg/mL)	ABTS IC ₅₀ (µg/mL)	Phénanthroline A _{0,50} (µg/mL)	FRAP A _{0,50} (µg/mL)
Extrait Ethanolique	>800	478,08±30,19 ^b	>200	>200
Nanoparticules à base d'extrait	497,69±1,16 ^b	>800	94,76±3,67 ^b	/
Vitamine C	3,53±0,41 ^a	9,84±0,05 ^a	2,72±0,06 ^a	6,77±1,15

Note : Les résultats sont exprimés en moyenne ± SD des trois mesures. Les valeurs avec des lettres différentes (a, b) dans la même ligne sont significativement différentes (p < 0,05). Dans la même colonne sont significativement différentes (p < 0,05).

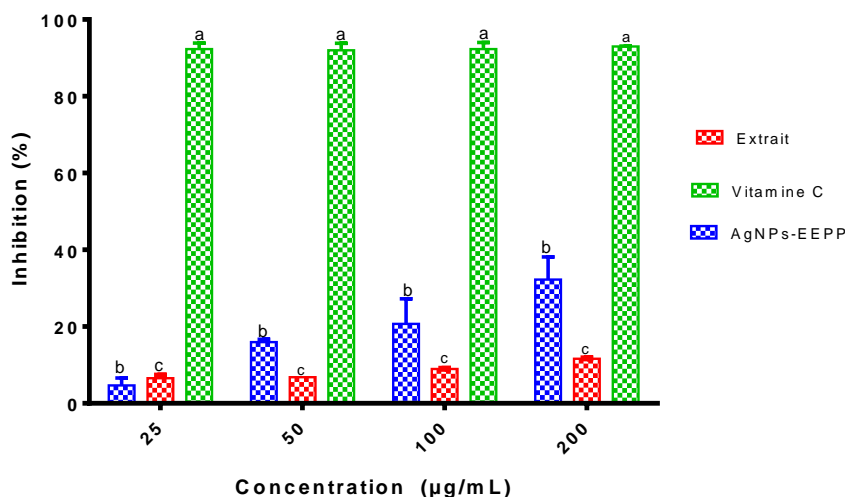


Figure 14. Inhibition du radical DPPH par EPP, AgNPs-EPP et la vitamine C.

D'après l'histogramme (**figure 14**), l'activité antioxydante augmente avec l'augmentation des concentrations. Il existe une différence statistique entre les 3 échantillons. En effet, la capacité des extraits à piéger le radical DPPH peut être classée selon l' IC_{50} dans l'ordre suivant : VITAMINE C > AgNPs-EPP > EXTRAIT. On remarque que les nanoparticules sont plus puissantes que l'extrait EPP, mais ils sont plus faibles que la vitamine C, le standard antioxydant.

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**).

Nos résultats sont en accord avec ceux des travaux de (**Keskinkaya, 2023**), (**Ammanou et Aslouni, 2022**) et (**Al-Enazi et al., 2017**) qui ont confirmé la capacité des extraits éthanoliques de *P. pavonica* à piéger les radicaux libres. En effet, l'activité antioxydante de notre extrait est probablement due à la présence des composés bioactifs tels que les flavonoïdes (**Junopia et al., 2020**). Plusieurs études ont montré que l'effet scavenger des produits végétaux est principalement attribuable aux composés phénoliques comme les flavonoïdes, les tanins ...etc. (**Nagavani et al., 2010 ; Cartea et al., 2010**). Ainsi, les flavonoïdes sont classés comme des antioxydants mixtes (**Romalho et al., 2005**), car ils sont capables de donner des protons, soit par l'inhibition des facteurs indiqués dans ce processus, ou par chélation des traces métalliques impliqués dans leur production (**Agatila et al., 2012**).

Par ailleurs, Il n'existe aucune étude sur l'activité antioxydante des AgNPs synthétisé à partir d'EEPP. Alors notre étude est la première qui abordé le thème de synthèse des AgNPs à partir d'EPP et l'évaluation de leur activité antioxydante. Cependant, selon (Singh, 2020), l'IC₅₀ des nanoparticules d'oxyde de Fer est de l'ordre de 86,68 mg/ml, qui est inférieur à notre résultats (IC₅₀= 497,69µg /mL).Cela signifie que les AgNPs sont nettement plus puissantes que les nanoparticules d'oxyde de Fer.

La variation de l'activité entre notre échantillon et celui de ces auteurs pourrait être attribuée aux conditions d'extraction ainsi qu'aux conditions environnementales, la saison de la récolte et les facteurs génétiques (Levizou et al., 2004).

2.4.2. Activité du piégeage du radical ABTS⁺

Lors de mise en œuvre de ce test, l'ABTS incolore est préalablement oxydé avec du persulfate de potassium (K₂S₂O₈) pour former le radical cationique ABTS⁺ de coloration bleu-vert. L'addition d'un composé antioxydant engendre la réduction du radical ABTS⁺ en ABTS. L'activité antioxydante est déterminée par la décoloration de la solution et s'exprime par le pourcentage d'inhibition. L'absorbance a été mesuré à 734nm, en comparaison avec les standards, la vitamine C (l'acide ascorbique).

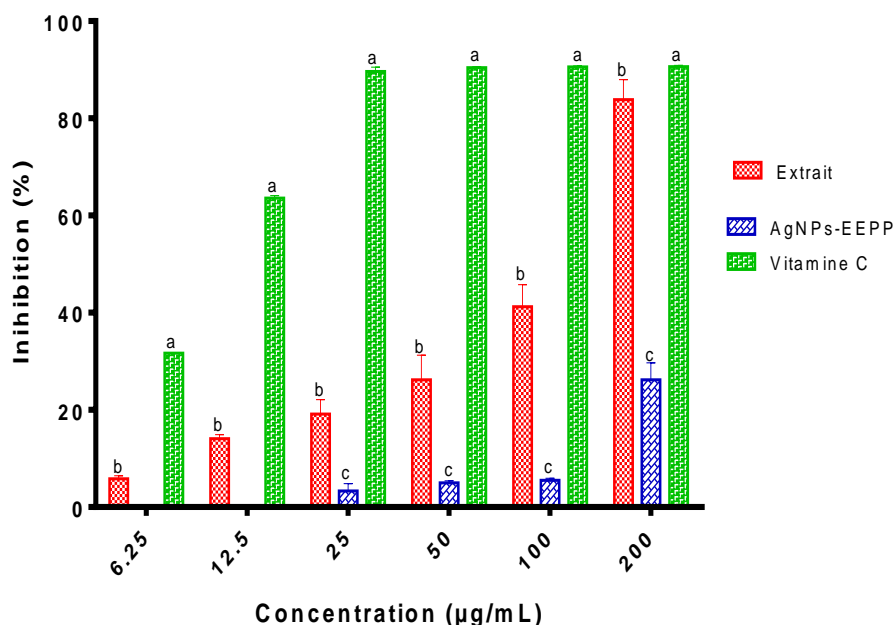


Figure 15.Inhibition du radical ABTS⁺ par EEPP, les AgNPs et la vitamine C.

D'après l'histogramme (**figure 15**), l'activité antioxydante augmente avec l'augmentation des concentrations. Il existe une différence statistique entre les 3 échantillons. En effet, l'efficacité des extraits à piéger l'ABTS⁺ peut être classé selon leur IC₅₀ dans l'ordre suivant : Vitamine C >EXTRAIT >AgNPs-EEPP.

Les recherches conduites par (**Besbes Hlila et al., 2017**) sur différents extraits de *P. pavonica* ont confirmé le pouvoir de piégeage des radicaux ABTS⁺ par l'extrait acétonique avec une valeur d'IC₅₀ de 0,01±0,00 mg/mL et l'extrait aqueux avec une IC₅₀ de 0,01±0,01mg/mL. Ces valeurs sont inférieures à celle d'EEPP (IC₅₀=478±30,19 µg/mg) de cette étude. Ainsi, l'étude de (**Keskinaya et al., 2023**) a révélé que l'extrait éthanolique était le plus efficace avec un IC₅₀ de l'ordre de 75,16±0,42 µg/ml, suivi par l'extrait méthanolique (IC₅₀=178,20±0,19 µg/mL) puis l'extrait aqueux (IC₅₀=195,50±1,24 µg/mL). Ces résultats sont aussi inférieurs à ceux trouvés dans le présent travail. La variabilité observée entre nos résultats et les travaux antérieurs indique qu'il existe des différences dans l'efficacité ou la puissance de l'inhibition entre les différents types d'extraits de la même espèce.

Cependant, Il n'existe aucune étude sur la capacité des AgNPs, synthétisé à partir d'EEPP, à piéger les radicaux ABTS⁺. Ce travail est le premier à aborder d'étudier cette activité.

2.4.3. Test du phénanthroline

Le test de la phénanthroline est considéré comme un test récent servant à l'évaluation de l'activité antioxydante possible d'un extrait (**Bensaad et al., 2021**). Ce test est basé sur la réduction de Fe³⁺ par un agent antioxydant pour donner l'ion Fe²⁺ qui ensuite réagit avec la phénanthroline pour donner un complexe de couleur rouge orangé, et qui absorbe à 510 nm (**Szydłowska-Czerniaka et al., 2008**).

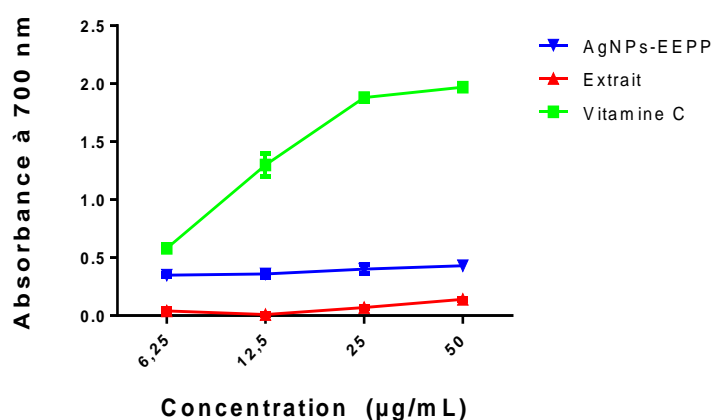


Figure 16. Pouvoir réducteur de l'EEPP, AgNPs-EEPP et la vitamine C par la méthode de phénanthroline.

D'après, la **figure 16**, on remarque que le pouvoir réducteur de EEPP 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.

En effet, la capacité des extraits à réduire les ions ferrique peut être classée selon leur $A_{0,50}$ dans l'ordre suivant : VITAMINE C > AgNPs-EEPP > EXTRAIT.

Il est à noter qu'il n'existe aucune étude sur le test phénanthroline des AgNPs synthétisé à partir d'EEPP.

2.4.4. Test du pouvoir réducteur (FRAP)

Le pouvoir de transformer l'ion Fe^{3+} en Fe^{2+} a été évalué par le test FRAP. Les résultats sont présentés dans le **tableau 8**

Les résultats montrent une différence significative entre le pourcentage d'inhibition de l'extrait et la vitamine C.

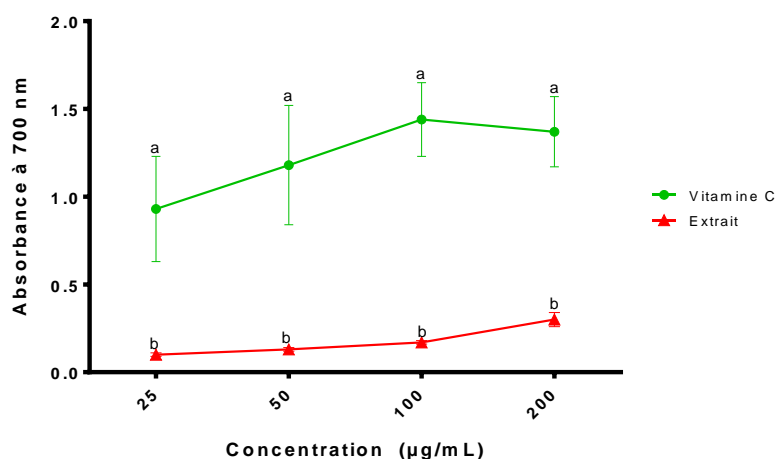


Figure 17. Pouvoir réducteur de l'EEPP et la vitamine C par la méthode de FRAP.

A partir des résultats obtenus, on remarque que le pouvoir réducteur de EEPP augmente d'une manière concentration dépendante c'est à-dire que la capacité de réduction de fer est proportionnelle à l'augmentation de la concentration des d'extraits (**figure 17**). Les résultats obtenus montrent aussi que la capacité d'EEPP à réduire le fer est largement inférieure à celle de l'acide ascorbique.

Cependant, (Tiouane et Bouzidi, 2018) ont indiqué une capacité réductrice forte des ions ferriques par l'extrait méthanolique de *P. pavonica*.

Le pouvoir réducteur de l'extrait de *P. 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). Ainsi, (Tiouane et Bouzidi, 2018) ont confirmé l'existence d'une forte corrélation entre le pouvoir réducteur et les polyphénols, et les flavonoïdes. Cependant, ces corrélations sont considérables mais ne sont pas absolues à cause de la présence d'autres molécules responsables du pouvoir antiradicalaire tel que les caroténoïdes (Kelman et al., 2012).

En plus, l'étude de (Kelman et al., 2012) sur les algues rouges, vertes et brunes, a confirmé que les algues brunes ayant la plus forte capacité réductrice.

Conclusion

Conclusion

L'objectif de notre travail est d'étudier *in vitro* l'activité antioxydante d'extrait et des nanoparticules d'argent synthétisés à base d'une algue brune *Padina pavonica*, récoltée de la plage de Sidi Abderrahmane, (Khraif), village Laouinat, commune Khenak Mayoun de la wilaya de Skikda, en vue d'une valorisation de la biomasse algale Algérienne.

Ce travail nous a permis d'avoir une idée sur la richesse de *P. pavonica* en substances bioactives telles que les polyphénols, les flavonoïdes, les chlorophylles et les caroténoïdes.

Ainsi, l'étude des propriétés antioxydantes par des tests *in vitro* a confirmé la capacité de l'extrait et AgNPs de *P. pavonica* à piéger les radicaux libres et à réduire les ions ferriques.

En perspectives certains points restent à approfondir, il serait donc intéressant de compléter cette étude par :

- La caractérisation des nanoparticules en associant des méthodes de caractérisation telles que l'UV-visible, l'infrarouge (IR) et la diffraction aux rayons X (DRX)...etc
- Il est également souhaitable d'étendre l'étude de l'activité antioxydante *in vivo*.
- Il est souhaitable d'étudier d'autres activités biologiques tel que l'activité antibactérienne, anticancéreuse, anti-inflammatoire...etc de ces nanoparticules et de déterminer leur mécanisme d'action.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

- Abdi S.** (2020). Etude bibliographique sur les algues, leur l'intérêt dans le domaine de la phytothérapie et la médecine curative et valorisation des composés actifs et nutritionnels de l'espèce *Fucus vesiculosus*. Mémoire de Master en Biologie. Université des Frères Mentouri Constantine.
- Adnan M, Obyedul M, Alle M, et al.** (2020). Simple and cleaner system of silver nanoparticles synthesis using kenaf seed and unveiling their anticancer and antimicrobial potentials. Journal Nanotechnology in press. doi.org/10.1088/1361-6528/ab7d72
- Ahmed S, Ahmad M, Swami B, et al.** (2016). A review on plants extracts mediated synthesis of silver nanoparticles for antimicrobial applications: a green expertise. J AdvRes. 7:17–28.
- Aisha K, Shameel M.** (2010). Occurrence of the Genus *Padina* (Dictyophyceae, Phaeophycota) in the Coastal Waters of Karachi. Pakistan Journal of Botany, 42: 319-340.
- Al-Sheddi E, Farshori N, Al-Oqail M, et al.** (2018). Anticancer Potential of Green Synthesized Silver Nanoparticles Using Extract of *Nepeta deflersiana* against Human Cervical Cancer Cells (HeLA). Université Saudi Arabia. Article ID 9390784, 12 pages. doi.org/10.1155/2018/9390784.
- Amirouche N, Bouguedoura N, Hadj-Arab H.** (2009). Botanique : algue, champignons, lichens. 1ere Edition Houma. Alger. p17. ISBN 978-9961-65-159-9.
- Andrieux - Ledier A.** (2012). Elaboration de nanoparticules d'argent par réduction de sels métalloorganiques : contrôle de taille, stabilité, organisation et propriétés physiques. Thèse de Doctorat en Chimie-physique. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, France, 165p.
- AwadN, Selim M, MetaweH, et al.** (2008). Cytotoxic xenicane diterpenes from the brown alga *Padina pavonia* (L.) Gaill. Phytother. Res, 22, 1610–1613.

B

- Bahorum T.** (1997). Substances Naturelles actives. La flore Mauricienne une source d'approvisionnement potentielle. Food and Agricultural Research Council Mauritiass, pp: 83-94.
- Bakshi S, He Z, HarrisW.** (2014). Natural Nanoparticles: Implications for Environment and Human Health. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 45(8), pp.861-904.

Références bibliographiques

- Barralon E.** (2016). Le manuel du plongeur biologiste les végétaux. Association Flabelline Plongée, 37P.
- Becerra-Celis G.** (2009). Proposition de stratégies de commande pour la culture de microalgue dans un photobioréacteur continu. Thèse de Doctorat. Ecole Centrale des Arts et Manufactures «Ecole Centrale Paris ».
- Behmer S, Olszewski N, Sebastiani J, et al.** (2013). Plant phloem sterol content: Forms, putative functions, and implications for phloemfeeding insects. *Front. Plant Sci.* 4, 370.
- Belahouel Khaled.** (2021). Biosynthèse de nanoparticules à base d'extrait de plante (*Myrtus communis*) et la caractérisation de leurs activités biologiques. Master en Biologie. Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem.
- Ben amor ben ayed H.** (2015). Etude et optimisation de la bioaccumulation de magnésium dans les microalgues « *Chlorella vulgaris* ». Thèse de Doctorat. Université de Paris-Saclay et de l'Université de Sfax. Versailles, France.
- Benhamdine M, Lachani I.** (2022). Elaboration et caractérisation des nanoparticules métalliques : vers des applications biomédicales. Mémoire de Master en Biologie. Université Blida 1.
- Benkhellaf A, BIAD I.** (2014). L'effet de l'activité inhibitrice des extraits polyphénoliques des algues marines sur l'α-amylase salivaire in vitro. Mémoire de Master en Biochimie. Université Constantine 1.
- Bensaad M.** (2022). Etude chimique et évaluation biologique de la plante *Centaurea tougourensis* Boiss & Reut de la région des Aurès. Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle. Sciences Biologiques. Université Mustapha Ben Boulaid-Batna 2.
- Besbes Hlila M, Omri H, Mahjoub M, et al.** (2017). Antioxidant and antimicrobial activities of *Padina pavonica* and *Enteromorpha sp.* from the Tunisian Mediterranean coast. *Journal of Coastal Life Medicine.* doi.org/10.12980/jclm.5.2017J7-107.
- Berrabah Y, Bakreti I.** (2018). Contribution à l'étude de quelques paramètres biochimiques et écotoxicologiques d'une Algue brune : *Cystoseira stricta*. Mémoire de Master en hydrobiologie marine et continentale. Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem.
- Blois M.** (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable Free Radical. *Nature*, 4617 (181): 1119-1200.

Références bibliographiques

Bougandoura N, Bendimerad N. (2012). Evaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux et méthanolique de *Saturejacalaminthasp.* Nepeta (L.)Briq. Nature & Technologie, (9), 14 – 19.

Bousba R, Ykhlef N,Djekoun A. (2009). Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Trticum durum* Desf).World Journal of Agricultural Sciences 5. 5. 609 -616p.

Boutadjine I, youssfi A. (2014). Recherche de composés à activité biologique à partir d'une macroalgue (*Padinapavonica*) du littorale Jijelien. Mémoire de Master académique en Biologie. Université de Jijel.

Bukhari A, Ijaz I, Gilani E, et al . (2020). Detailreview on chemical, physical and green synthesis, classification, characterizations and applications of nanoparticles. Department of chemistry, Minhaj University, Lahore, Pakistan. 13:3, 223-245, DOI: 10.1080/ 17518253. 2020.1802517

Buzea C, Pacheco I, Robbie K. (2007). Nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity. Bointerphases, 2(4), pp.MR17-MR71.

C

Carolina D, Marcelo S, Avinach P, et al. (2014). Silver Nanoparticles: Therapeutical Uses, Toxicity, and Safety Issues. Journal of Pharmaceutical Sciences. doi.org/10.1002/jps.24001.

Chauvel R. (2018). Application des nanoparticules d'argent en thérapeutique. Thèse de Doctorat en Pharmacie. Université Claud Bernard Lyon 1,105p.

Chebbi A, Cherief F. (2018). Biosynthèse de nanoparticules à base d'extrait de plantes et la caractérisation de leurs activités biologiques. Mémoire de Master en Biologie. Université A. MIRA- Béjaia.

Chertouk A, Yousfi N. (2014). Activité antibactérienne des extraits acétoniques des algues marines. Mémoire de Master en Biologie. Université Abderrahmane Mira de Béjaia.

D

Dasgupta P,Mukhopadhyay D,Sinha Roy D. (2016).

A Sensitive In vitro Spectrophotometric Hydrogen Peroxide Scavenging Assay using 1, 10 Phenanthroline. Free Radicals and Antioxidants, Vol. 6 p 124-132.

Références bibliographiques

Demoulain G, Leymergie C. (2009). Les algues le trésor de la mer. Heds, Haute école de santé Genève, 08.

Djeridane A, Yous M, Nadjemi B, et al. (2006). Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food Chemistry*, 97: 654-660.

Dreaden E, Alkilany AM, Huang X, et al. (2012). The Golden Age: Gold Nanoparticles for Biomedicine. *Chem. Soc.*

Rev., 41 (7): 2740–2779.

Dutta R, Brahmachary R. (2009). Natural nanoparticles: an overview.

E

El shafay M, El-sheekh E, Bases R, El-shenody. (2021). Antioxidant, antidiabetic, anti-inflammatory and anticancer potential of some seaweed extracts. University Tanta Egypt. doi.org/10.1590/fst.20521.

EL Elsalhin H, AbObaker H. (2023). Compared the chlorophyll a, b and carotenoid content in three algae species by using different solvents. Omar El-Mokhtar University, El -Beida-Libya.

Ema M, Okuda H, Gamo M, et al.(2017). A review of reproductive and developmental toxicity of silver nanoparticles in laboratory animals. *ReprodToxicol*, 67:149–164.

F

Falleh H, Ksouri R, Chaieb K, et al. (2008).Phenolic composition of *Cynaracardunculus L.* organs, and theirbiologicalactivities. *Comptes Rendus Biologies*. 331(5): 372-379.

G

Gantet P, Tandart V, Verger A. (1999). Les phycohyte: cours de biologie les phycohyte ,25.

Garon-lardiere S. (2004). Etude structurale des polysaccharides pariétaux de l'algue rouge *Asparagopsisarmata* (Bonne maisoniales). Thèse de Doctorat en chimie. France, Université De Bretagne Occidentale, 210.

Ghaliaoui N. (2021). Seaweed natural pigments: Extraction, chemical characterization and study of biological properties. Doctoral Thesis. Higher National Agronomic School - El-Harrach- Algiers.

H

Hadj boulenoir k, Khitri C, GuerroumiM. (2023). Caractérisation et évaluation de quelques activités biologiques des nanoparticules à base des extraits d'une plante médicinale. Mémoire de Master en Science Biologique. Université- Ain Témouchent –Belhadj Bouchaib. P : 38.

Hartmut L, Alan W. (1983). Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11(5), 591-592, 1983.

Hayouni E, Abedrabba M, Bouix M, et al.(2007). The effects of solvents and extraction method on the phenolic contents and biological activities in vitro of Tunisian *Quercus cocciferaL.* and *Juniperus phoeniceaL.* fruit extracts. *Chimie Alimentaire*, 105 (3): 1126-1134. DOI: [10.1016/j.foodchem.2007.02.010](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.02.010)

Hikosaka K, Ishikawa K, Borjigidai A, et al. (2006). Temperature acclimation of photosynthesis mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rate. *J. Exp. Bot.*, 57:291-302.

I

Ismail-Ben Ali A, Ktari L, Boudabbous A, et al. (2010). Seasonal variation of antibacterial activity of the brown alga *Padina pavonica (L) thivy* collected from Northern coast of Tunisia. *Bulletin de l'Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et de Pêche de Salammbô*, 37, 111–116.

J

Junopia A, Natsir H, Dali S. (2020). Effectiveness of Brown Algae (*Padina australis*) Extract as Antioxidant Agent. *Journal of Physics: Conference Series*, 1463(1), 012012.

K

Keskinkaya H, Deveci E, Yilmaz altinokN, et al. (2023). HPLC-UV analysis of phenolic compounds and biological HPLC-UV analysis of phenolic compounds and biological activities of *Padina pavonica* and *Zanardinia typus* marine macroalgae species. *Turkish Journal of Botany*. 47: 231-243. doi:10.55730/1300-008X.2761.

Références bibliographiques

- Kolthoff I, Leussing D, Lee T.** (1950). Reaction of ferrous and ferric iron with 1, 10-phenanthroline. III. The ferrous monophenanthroline complex and the colorimetric determination of phenanthroline. *Journal of the American Chemical Society*, 72(5), 2173-2177.
- Kamenarska Z, Gasic M, Zlatovic M, et al.** (2002). Chemical Composition of the Brown Alga *Padina pavonia* (L.) Gaill from the Adriatic Sea. *Bot. Mar.* (2002), 45, 339–345.
- Kardache A, Khoualdi Y.** (2016). Etude des activités antioxydante, antibactérienne et antifongique d'extraits d'algues marines d'origine Algérienne. Mémoire de Master Biologique. Université des Frères Mentouri Constantine.
- Karan T, Erenler R, Gonulalan Z, et al.** (2023). Biogenic synthesis of silver nanoparticles using *Sambucus nigra* leaves: elucidation, antimicrobial, antioxidant activities and quantification of phenolics Institute of Chemistry, Slovak Academy of Sciences. doi.org/10.1007/s11696-023-03103-9.
- Keerawelle B, Chamara A.** (2019). Green Sunthesis of Silver Nanopartcils via Medicinal Plant Extracts and Their Antibacterial Activities. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 8 (7): 100-111.
- Kelman D, Posner E, Mcdermid K, et al.** (2012). Antioxidant Activity of Hawaiian Marine Algae. *Marine. Drugs*, 10, 403-41. DOI 10.3390/md10020403.
- Kermene N, Touati k, Taguelmimt A.** (2020). Assessment of antioxidant and antibacterial activities of *cystoseiramediterranea* and *padinapavonica* from Algerian North-East for a potential use as a food preservative. Université de Bejaia, 06000 Bejaia. Algeria. Vol. 49 (4), pp. 498–504 (2020) DOI: 10.1556/066.2020.49.4.16.
- Keywan M, Najaf M, Samadian H, et al.** (2019). Redox interactions and genotoxicity of metalbased nanoparticles: A comprehensive review. *Journal of Chemico-Biological* doi.org/10.1016/j.cbi.2019.108814.
- Khaled N, Hiba M, Astma C.** (2012). Antioxidant and Antifungal activities of *Padina pavonica* and *Sargassum vulgare* from the Lebanese Mediterranean Coast. *Adv. Environ. Biol.* (2012), 6, 42–48.
- King A, Young G.** (1999). Characteristics and occurrence of phenolic phytochemicals. *Journal of the American Dietetic Association*, 99:213-218.

Références bibliographiques

Ktari L, Guyot M. (1999). Cytotoxic oxysterol from the marine alga *Padina pavonica*(L.)Thivy. J. Appl. Phycol., 11: 511–513.

L

Lagnika L. (2005). "Etude phytochimique et activité biologique de substances naturelles isolées de plantes béninoises" Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg. p. 249.

LanoneS,BoczkowskiJ. (2010). Les sources de nanoparticules. Revue française d'allergologie, 50(3), pp.211-213.

Li W, Xiao-Bao X, Qing-Shan S.(2011). Antibacterial effect of silver nanoparticles on *Staphylococcus aureus*. J Biometals., 24:135–141 DOI 10.1007/s10534-010-9381-6.

M

Macoi PSW. (2016). Available Online at: <http://macoi.ci.uc.pt/index.php>

Manivannan K, KarthikaiDevi G, Anantharaman P, et al. (2011).

Antimicrobial potential of selected brown seaweeds from Vedalai coastal waters, Gulf of Mannar. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 1 (2), 114–120.

Mansha M, et al. (2017).Synthesis, Characterization and VisibleLight-Driven Photoelectrochemical Hydrogen Evolution Reaction of Carbazole-Containing Conjugated Polymers. Int. J. Hydrogen Energy, 42 (16), 1095210961.

Mansouri Asma. (2021). Etude de la flore algale benthique : distribution spécifique et spatiale, et leurs intérêts dans la biosurveillance des zones humides côtières oranaises. Thèse Doctorat en Sciences. Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbes.

Mathur P, Jha S, Ramteke S, et al. (2018). Pharmaceutical aspects of silver nanoparticles. Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology, 46(S1): S115-S126. doi:10.1080/21691401.2017.1414825

Mghezzi Habellah R, Karoune ,Bounab H, et al. (2016). Etude des composés phénoliques et des activités antioxydantes de l'*Acacia ehrenbergiana* de la région de Tindouf. Journal Algérien des Régions Arides, 13, (1) : 27-34.

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

Références bibliographiques

Mishra S. (2015). Singh, and biotechnology, Biosynthesized silver nanoparticles as a nanoweapon against phytopathogens: exploring their scope and potential in agriculture. *Appl Microbiol Biotechnol*, 99(3): p. 1097-1107.

Morris I. (1967). "An Introduction to the Algae", Ed. Hutchinson and Co, London, pp: 5.

N

N Al-Enazia, A Awaadb, M Zainc, et al. (2017). Antimicrobial, antioxidant and anticancer activities of *Laurencia catarinensis*, *Laurencia majuscula* and *Padina pavonica* extracts. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 26, 44–52. doi.org/10.1016/j.jsps.2017.11.001.

Nasrollahzadeh M, Mahmoudi-Gom Y, Motahharifar N, et al. (2019). Recent Developments in the Plant-Mediated Green Synthesis of Ag-Based Nanoparticles for Environmental and Catalytic Applications ». *J Chem. Rec.*, 19:1-45. doi.org/: 10.1002/tcr.201800202.

O

Ofer R, Yerachmiel A, Shmuel Y. (2003). Marine macroalgae as biosorbents for cadmium and nickel in water. *Water Environ. Res.*, 75, 246–253.

Orlando-Bonaca M, Lipej L, Orfanidis S. (2008). Benthic macrophytes as a tool for delineating, monitoring and assessing ecological status: The case of Slovenian coastal waters. *Mar. Pollut. Bull.*, 56, 666–676.

Oumaskour K, Boujaber N, Etahiri S, et al. (2013). Antiinflammatory and Antimicrobial Activities of Twenty-Three Marine Red Algae from the Coast of Sidi Bouzid (El Jadida-Morocco). *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 5 (3), 145-149.

Oyaizu M. (1986). Studies on products of browning reaction prepared from glucose amine. *Japanese Journal of Nutrition*. 44: 307-315.

P

Park Y, Ikegaki M. (1998). Preparation of water and ethanolic extracts of propolis and evaluation of the preparations. *Biosci Biotech Bioch*, 62(11):2230-2232.

Person J. (2011). *Livre Turquoise – Algues, filières du futur*. Édition Adebitech – Romainville, France, 182P.

Références bibliographiques

Peters A, Wichmann H, Tuch T, et al. (1997). Respiratory effects are associated with the number of ultrafine particles. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 155(4), 1376-1383.

Podsedek A. (2007). Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. *LWT-Food and Science Technology*, 40, (1):1-11.

Prateek M, Ramateke S, Jain N. (2017). Pharmaceutical aspects of silver nanoparticles. *Artificial Cells Nanomedicine and Biotechnology Journal*. doi.org/ 10.1080/ 21691401.

R

Rai M, Deshmukh S, Ingle A, et al.(2012). Silver Nanoparticles: The Powerful Nanoweapon against Multidrug-resistant Bacteria. *Journal of Applied Microbiology*, 112:841–852. doi :10.1111/j.1365

Rajeshkumar S, Bharath L. (2017). Mechanism of plant-mediated synthesis of silver nanoparticles – A review on biomolecules involved, characterisation and antibacterial activity. *Chemico-Biological Interactions Journal*. doi.org/10.1016/j.cbi.2017.06.019.

Re R, Pellegrini N, Proteggente A, et al. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237.

Remédios C, Rosário F, Bastos V. (2012). Environmental Nanoparticles Interactions with Plants: Morphological, Physiological, and Genotoxic Aspects. *Journal of Botany*, 2012, 1-8.

Riviere D, Roche S, Rochefort G. (2017). In: Doris, 05/02/2017: *Padina Pavonica (Linnaeus) Thivy*, [Http://Doris.Ffessm.Fr/Ref/Specie/1337](http://Doris.Ffessm.Fr/Ref/Specie/1337).

Rivière S, Roche G.(2016). Rochefort, *Padina pavonica (Linnaeus) Thivy*, *Padine queue* 469 de paon, DORIS) <http://doris.ffessm.fr/ref/specie/1337>

Robbins R. (2003). "Phenolic acids in foods: An overview of analytical methodology." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51(10): 2866-2887.

Roland J, El Maarouf Bouteau H, Bouteau F. (2008). *Atlas Biologie végétale ; l'organisation des plantes sans fleurs, algues et champignons*, 7e édition, éd Dunod, Paris, p11, ISBN 978-2-10-051724-4

Ruttikay-nedecký B, Dočekalová M, Hosnedlová B, et al. (2018). Antioxidant activity of silver nanoparticles prepared by green synthesis.

S

Références bibliographiques

- Sang H, Jun B.** (2019). Silver Nanoparticles: Synthesis and Application for Nanomedicine. *Int. J. Mol. Sci.* ; 20 : 865. doi : 103390/ijms20040865.
- Sari A, Tuzen M.** (2009). Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies on aluminum biosorption from aqueous solution by brown algae (*Padina pavonica*) biomass. *Journal of Hazardous Materials*, 171, 973–979.
- Sarojini Y, Lakshminarayana K, Seshagiri P, et al.**(2012). Variations in distribution of flavonoids in some seaweed of Visakhapatnam coast of India. *Der Pharma Chemica*, 4 (4). 1481-1484.
- Seladji M, Belmekki N, Bekhechi C, et al.**(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.
- Sialve B, Steyer J-P.**(2013). Les microalgues, promesses et défis, *Innovations Agronomiques*, 26, 25-39.
- Simon-Deckers A.** (2008). Effets biologiques des nanoparticules manufacturées : influence de leurs caractéristiques. Thèse de Doctorat en Toxicologie humaine et environnementale. Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech), France, 281p.
- Singh K, Chopra D, Singh D, et al.** (2020). Optimization and ecofriendly synthesis of iron oxide nanoparticles as potential antioxidant. *King Saud University Arabian Journal of Chemistry*. doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.10.025.
- Sirbu R, Sava C, Ghergic D, et al.**(2006). Caractérisation de certains Principes actifs de *Ulva lactuca* et *Ulvarigida*-algues vertes du littoral roumain de la mer noire. *Scientific Study & Research*, 1, 193-198.
- Sultana V, Ehteshamul-Haque S, Ara J, et al.**(2005). Comparative efficacy of brown, green and red seaweeds in the control of root infecting fungi and okra. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*2, 129–132.
- Syafiuddin A, Salim M, Beng Hong Kueh A, et al.** (2017). A review of silver nanoparticles: research trends, global consumption, synthesis, properties, and future challenges. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 64(7), 732-756.

Références bibliographiques

Szydłowska-Czerniak A, Dianoczki C, Recseg K, et al. (2008). Determination of antioxidant capacities of vegetable oils by ferric-ion spectrophotometric methods. *Talanta*, 76(4), 899-905.

T

Tabouri C, Yahiaoui H. (2022). Etude du remplacement de la tocophérol dans une margarine Cevital. Mémoire de Master en Biologie. Université A. MIRA – Bejaia.

Tai C, Tai CT, Chang MH et al. (2007). Synthesis of Magnesium Hydroxide and Oxide Nanoparticles Using a Spinning Disk Reactor. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 46 (17), 5536–5541.

Tiouane R, Bouzidi S. (2018). Etude de l'activité antioxydante in vitro des extraits bruts de l'algue brune: *Padina pavonica*. Mémoire de Master Académique en Biologie. Université Med – Seddik Benyahia-Jijel.

Tiwari D, Behari J, Sen P. (2008). Application of Nanoparticles in Waste Water Treatment. *World Applied Sciences Journal*, 3 (3): 417-433.

Tran Q, Nguyen V, et al. (2013). Silvernanoparticles: synthesis, properties, toxicology, applications and perspectives. doi.org/doi:10.1088/20436262/4/3/033001. *Adv. Nat. Sci. : Nanosci. Nanotechnol journal*. 033001 :20.

W

Wong C, Li H, Cheng K, et al. (2006). A systematic survey of antioxidant activity of 30 Chinese medicinal plants using the ferric reducing antioxidant power assay. *Food Chemistry*, 97: 705-711.

Y

Yusuf M. (2019). Silver Nanoparticles: Synthesis and Applications. *Handbook of Ecomaterials*, pp.2343-2356.

Z

Zargar M, Hamid A, Bakar F, et al. (2011). Green synthesis and antibacterial effect of silver nanoparticles using *Vitex negundo L.* *Molecules*, 16(8):6667-6676.

Zehlila A. (2017). Caractérisation structurale et fonctionnelle des métabolites de l'algue verte

Références bibliographiques

Ulvarigida au moyen d'une approche protéomique. Thèse de Doctorat. Université de Tunis El Manar.

Zeyons O. (2008). Etudes des interactions physicochimiques et biologiques entre des nanoparticules manufacturées et des bactéries de l'environnement. Thèse de Doctorat en Physicochimie. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, France, 330p.

Zhang X, Liu Z, Shen W, et al. (2016). Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Properties, Applications, and Therapeutic Approaches. *Int. J. Mol. Sci.*; 17: 1534; doi: 10.3390/ijms17091534.