



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique
جامعة البليدة 1
Université Blida 1



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biotechnologies et Agro-Ecologie

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme d'un Master Académique

Option

Biotechnologie et Pathologie Moléculaire

Thème

**Élaboration de nanoparticules métalliques à base d'un extrait
d'une plante médicinale : étude des propriétés biologiques.**

Présenté par M^{elle}. Chebel Rania.

Devant le Jury :

Pr. BOUKHATEM MN	Professeur	SNV, Blida1	Président
Dr. Rahim I.	MCA	SNV ,Blida1	Examinatrice
Dr. CHELGHOUM H.	MCB	SNV , Blida1	Promotrice
Dr. LAASSAMI A	MCB	ENS, Kouba	Co-Promotrice

Session 2022 /2023

Remerciement

Tout d'abord, je voudrais remercier ALLAH qui m'a donné la patience, la volonté, la force et la persévérance, et m'a permis d'accomplir cet humble travail. Merci de me guider sur le chemin du succès. Ô Allah, louanges et remerciements à Toi pour ce que je suis aujourd'hui.

J'adresse mes remerciements et ma gratitude à ma promotrice Dr Chelghoum Hayet, qui m'a fait l'honneur d'avoir accepté de m'encadrer pour réaliser mon mémoire de fin d'étude, pour ses précieux conseils et ses encouragements, pour m'avoir fait bénéficier de ses connaissances et de ses compétences. Elle était l'une des meilleurs professeurs que j'ai rencontrés dans ma vie universitaire. Tous mes remerciements et ma gratitude pour vos efforts et vos belles manières.

Sans oublier de remercier la co-promotrice, Mme Laassami Affaf, pour son aide et son soutien, sa bonne prise en charge et ses précieux conseils pour le bon déroulement de cette recherche.

J'exprime mes profonds remerciements et gratitude aux membres de jury qui ont consacré leur précieux temps :

Monsieur Boukhatem MN qui m'honore de présider le jury.

Madame Rahim I qui m'honneur d'examiner ce travail.

Je souhaite également remercier mes professeurs de la faculté des sciences de la nature et de la vie pour leurs efforts pendant les cinq années de mon voyage universitaire.

A celui qui a récolté les épines sur mon chemin pour me paver le chemin de la connaissance, mon cher père, et à celle qui m'a allaité d'amour, de tendresse et d'un baume cicatrisant, ma chère maman ; merci pour vos amours, vos vigilances, vos soutiens, vos intérêts constant à réaliser mes rêves, j'ai pu surmonter tous les obstacles et arriver ici aujourd'hui, grâce à ALLAH et à vos prières constantes.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail...

*A mes très chers parents qui m'ont soutenu tout au long de ma vie, que
dieu les protège*

*A ma très chère sœur Amina et mes chers frères Islem et
Djaber qu'ils m'ont soutenu tout au long de mon cursus.*

A ma chère cousine Amel, et tous mes amis qui me connaissent de près ou de loin.

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Résumé

Abstract

ملخص

ii

Introduction.....	1
I Synthèse bibliographique.....	3
I.1 Nanoscience.....	3
I.2 Nanomatériaux.....	3
I.3 Les nanoparticules	3
I.3.1 Définition	3
I.3.2 Classification des nanoparticules	3
I.3.2.1 Les nanoparticules organiques	3
I.3.2.2 Les nanoparticules inorganiques	4
I.3.2.2.1 Les nanoparticules métalliques	4
I.3.2.2.2 Les nanoparticules d'oxyde métalliques	4
I.3.3 La synthèse des nanoparticules	4
I.3.3.1 L'approche descendante (top-down).....	4
I.3.3.2 L'approche ascendantes (bottom-up).....	5
I.3.3.3 La synthèse verte.....	5
I.3.4 Les propriétés des nanoparticules	5
I.3.4.1 Les propriétés physique	5
I.3.4.2 Les propriétés chimiques	5
I.3.5 Applications des nanoparticules	6
I.4 Les nanoparticules de SnO ₂	7
I.4.1 Généralités.....	7
I.4.2 Applications des nanoparticules de SnO ₂	7
I.4.3 Activité antibactérienne.....	8
I.4.4 Activité antioxydante	9
II. Matériel et méthodes.....	11
II.1. Matériel	11

II.1.1. Matériel végétal.....	11
II.1.2. Matériel microbiologique	12
II.1.3. Matériel non biologique	12
II.2.1.Préparation de l'extrait hydroéthanolique des feuilles de <i>P. lentiscus</i>	12
II.2.2.Screening phytochimique de l'extrait hydroéthanolique des feuilles de <i>P. lentiscus</i>	13
II.2.2.1 Dosage des polyphénols totaux.....	13
II.2.2.2 Dosage des flavonoïdes.....	14
II.2.3. Évaluation de l'activité antioxydante de l'extrait hydroéthanolique des feuilles de <i>P. lentiscus</i>	15
II.2.4. Biosynthèse des nanoparticules d'oxyde d'étain (NpSnO ₂).....	16
II.2.5. Évaluation des propriétés biologiques des nanoparticules d'oxyde d'étain (NpSnO ₂).....	17
II.2.5.1. Évaluation de l'activité antibactérienne des nanoparticules d'oxyde d'étain (NpSnO ₂).....	17
II.2.5.2. Évaluation de l'activité antifongique des nanoparticules d'oxyde d'étain (NpSnO ₂).....	18
II.2.5.3.Évaluation de l'activité antioxydante des nanoparticules d'oxyde d'étain (NpSnO ₂).....	19
III. Résultats et discussion.....	21
III.1. Evaluation du rendement d'extraction.....	21
II.2. Screening phytochimique de l'extrait hydroéthanolique des feuilles de <i>P. lentiscus</i> ...	21
II.2.1. Evaluation de la teneur en polyphénols dans l'extrait hydroéthanolique des feuilles de <i>P. lentiscus</i>	21
II.2.2. Evaluation de la teneur en flavonoïdes dans l'extrait hydroéthanolique des feuilles de <i>P. lentiscus</i>	22
II.3. Evaluation de l'activité antioxydante de l'extrait hydroéthanolique des feuilles de <i>P.</i> <i>lentiscus</i>	23
III.5.1. Evaluation de l'activité antibactérienne des NpSnO ₂	26
II.5.2. Evaluation de l'activité antifongique des NpSnO ₂	30
III.5.3. Evaluation de l'activité antioxydante des NpSnO ₂	32
Conclusion.....	34
Références bibliographique.....	35
Annexe.....	38

Liste des figures

Figure 1 : Nanoparticules organiques (a) Dendrimères (b) Liposomes et micelles (c) Ferritine.....	4
Figure 2: Caractérisation des nanoparticules.....	6
Figure 3: lustration schématique des processus et mécanismes antibactériens des nanoparticules d'oxyde métallique	9
Figure 4: Le mécanisme de réaction du DPPH avec l'antioxydant. R est un radical antioxydant R:H est un piègeur de radicaux antioxydants.....	10
Figure 5: Les étapes pour l'obtention d'une poudre fine à partir des feuilles de <i>P. lentiscus</i>	11
Figure 6: Schéma représentative des étapes de l'extraction hydroéthanolique des feuilles de <i>P. lentiscus</i>	13
Figure 7: Schéma représentative du protocole de dosage des polyphénols.....	14
Figure 8: Schéma représentative des étapes de dosage des flavonoides.....	15
Figure 9: Schéma représentative des étapes de l'activité antioxydante.....	16
Figure 10: Etapes d'effectué l'activité antibactériennes des NpSnO_2	18
Figure 11: Etapes d'effectué de l'activité antifongique des NpSnO_2	19
Figure 12: Schéma représentative des étapes de l'activité antoxydante des NpSnO_2	20
Figure 13: Résultats du dosage des polyphénols.....	22
Figure 14: Les dilutions de la quercétine après 10 min d'incubation.....	23
Figure 15: Changement de couleur de DPPH en présence de l'extrait hydroéthanolique des feuilles de <i>P. lentiscus</i>	24
Figure 16: Courbe de pourcentage d'inhibition en fonction des différentes concentrations de l'extrait hydroéthanolique des feuilles de <i>P. lentiscus</i>	24
Figure 17: Courbe de pourcentage d'inhibition en fonction des différentes concentrations de l'acide ascorbique.....	25
Figure 18 : Changement de coloration pendant les étapes de synthèse des NpSnO_2	26
Figure 19: Impact des NpSnO_2 sur la croissance des souches bactériennes	29

Figure 20 : Impact des NpSnO_2 sur la croissance des souches fongique.....	31
Figure 21 : Variations du pourcentage d'inhibition en fonction des différentes concentrations des NpSnO_2	33
Figure 22 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.....	38
Figure 23 : Courbe de l'absorbance de la quercétine en fonction de ses concentrations.....	38

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les souches bactériennes et fongique testés	12
Tableau 2 : Les résultats de l'activité antibactérienne des Np SnO ₂	29
Tableau 3 : Les résultats de l'activité antifongique des NpSnO ₂	31
Tableau 4 : Tableau des matériels utilisés	38

Résumé

La présente étude impliquait la synthèse de nanoparticules dioxyde d'étain à l'aide d'un agent réducteur biologique qui est l'extrait hydroéthanolique des feuilles de *Pistacia lentiscus*. L'objectif était d'évaluer les propriétés biologiques de ces nanoparticules. Les teneurs totales en composés phénoliques et flavonoïdes dans cet extrait ont été déterminées par des méthodes colorimétriques et son pouvoir antioxydant a été évalué par la méthode de piégeage des radicaux libres de DPPH. Les résultats obtenus ont montré une forte teneur en polyphénols et en flavonoïdes qui est 432,56 mg AG/g d'extrait sec et $82,51 \pm 14,44$ mg d'EQ/g d'extrait sec respectivement. Les résultats de l'activité antioxydante ont montré que l'extrait hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus* présente une forte activité antioxydante qui atteint 94,95% et une concentration inhibitrice à 50% (IC50) de 0,0568 mg/ml.

La synthèse des nanoparticules d'oxyde d'étain (NpSnO₂) a été réalisée avec succès en utilisant l'extrait hydroéthanolique des feuilles de la plante *P. lentiscus* comme un agent réducteur de SnCl₂.

Le pouvoir antibactérien de ces NpSnO₂ a été évalué par la méthode de diffusion en puits vis-à-vis des : bactéries pathogènes à Gram positif : *B. subtilis*, *S. aureus* et *L. monocytogenes*, et des bactéries pathogènes à Gram négatif : *E. coli* et *P. aeruginosa*. L'activité antifongique a été évaluée contre une levure *Candida albicans* et trois champignons filamenteux : *Aspergillus flavus*, *Penicillium expansum* et *Umbelopsis ramanniana*. Nous avons remarqué une activité antibactérienne de ces NpSnO₂ vis à vis *B. subtilis*, *E. coli* et *P. aeruginosa* avec des zones d'inhibition de 8 à 14 mm, de 7 à 13 mm et de 7 à 14 mm à des concentrations des NpSnO₂ de 25 à 100 mg/ml, de 50 à 100 mg/ml et de 3 à 100 mg/ml, respectivement. En revanche, ces nanoparticules n'ont présenté aucune activité antibactérienne contre *S. aureus* et *L. monocytogenes* et aucune activité antifongique contre les champignons testés à l'exception de la souche *U. ramanniana* qui a manifesté une sensibilité à une concentration de 3 mg/ml donnant une zone d'inhibition avec un diamètre de 9 mm.

L'activité antioxydante des NpSnO₂ synthétisées a été également évaluée, nous avons remarqué une activité antioxydante modérée et dose dépendante et qui atteint son maximum à 25 mg/ml avec un pourcentage d'inhibition de 61,8 % et une IC50 de 5 mg/ml.

Mots clés : nanoparticules de SnO₂, biosynthèse, *Pistacia lentiscus*, antibactérienne, antifongique, antioxydante.

Abstract

The present study involved the synthesis of tin oxide nanoparticles using a biological reducing agent which is the hydroethanolic extract of *Pistacia lentiscus* leaves. The objective was to evaluate the biological properties of these nanoparticles. The total contents of phenolic and flavonoid compounds in this extract were determined by colorimetric methods and its antioxidant power was evaluated by the DPPH free radical scavenging method. The results obtained showed a high content of polyphenols and flavonoids which is 432.56 mg AG/g of dry extract and 82.51 ± 14.44 mg of EQ/g of dry extract respectively. The results of the antioxidant activity showed that the hydroethanolic extract of *P. lentiscus* leaves presents a strong antioxidant activity which reaches 94.95% and a 50% inhibitory concentration (IC₅₀) of 0.0568 mg/ml.

The synthesis of tin oxide nanoparticles (NpSnO₂) was successfully carried out using the hydroethanolic extract of the leaves of the *P. lentiscus* plant as a SnCl₂ reducing agent.

The antibacterial power of these NpSnO₂ was evaluated by the well diffusion method against: pathogenic Gram-positive bacteria: *B. subtilis*, *S. aureus* and *L. monocytogenes*, and pathogenic Gram-negative bacteria: *E. coli* and *P. aeruginosa*. The antifungal activity was evaluated against a yeast *Candida albicans* and three filamentous fungi: *Aspergillus flavus*, *Penicillium expansum* and *Umbelopsis ramanniana*. We noticed an antibacterial activity of these NpSnO₂ against *B. subtilis*, *E. coli* and *P. aeruginosa* with inhibition zones of 8 to 14 mm, 7 to 13 mm and 7 to 14 mm at concentrations of NpSnO₂ from 25 to 100 mg/ml, 50 to 100 mg/ml and 3 to 100 mg/ml, respectively. On the other hand, these nanoparticles showed no antibacterial activity against *S. aureus* and *L. monocytogenes* and no antifungal activity against the fungi tested with the exception of the *U. ramanniana* strain which showed sensitivity at a concentration of 3 mg/ml giving an inhibition zone with a diameter of 9 mm.

The antioxidant activity of the synthesized NpSnO₂ was also evaluated, we noticed moderate dose-dependent antioxidant activity which reached its maximum at 25 mg/ml with an inhibition percentage of 61.8% and an IC₅₀ of 5 mg/ml.

Key words: Nanoparticles of SnO₂ nanoparticles, biosynthesis, *Pistacia lentiscus*, antibacterial, antifungal, antioxidant.

ملخص

تضمنت الدراسة الحالية تركيب جسيمات نانوية لأكسيد القصدير باستخدام عامل اختزال بيولوجي والمتمثل في مستخلص هيدروإيثانولي لأوراق الضرو، والهدف من ذلك تقييم الخصائص البيولوجية لهذه الجسيمات النانوية. تم تحديد المحتوى الإجمالي للمركبات الفينولية و الفلافونويدية في هذا المستخلص بطريقة قياس الألوان، ثم تقييم قوته المضادة للأكسدة لمسح الجذور الحرة لـ DPPH. أظهرت النتائج المتحصل عليها وجود نسب عالية من مادة البوليفينول و الفلافونويد حيث كانت 432.56 مغ من AG / غ من المستخلص الجاف و 14.44 مع من EQ/ غ من المستخلص الجاف، على التوالي. أظهرت نتائج النشاط المضاد للأكسدة أن المستخلص الهيدروإيثانولي لأوراق الضرو يملك نشاطا مضادا للأكسدة قوي قدره 94.95% مع تركيز مثبط يصل إلى 50(IC50) % لـ 0.0568 مغ/مل.

تم إجراء تركيب الجسيمات النانوية لأكسيد القصدير ($NpSnO_2$) بنجاح باستخدام المستخلص الهيدروإيثانولي لأوراق نبات الضرو كعامل اختزال لـ $SnCl_2$.

تم تقييم النشاط المضاد للبكتيريا للجسيمات النانوية لأكسيد القصدير بطريقة انتشار الأبار ضد: البكتيريا المسببة للأمراض موجبة الجرام *Bacillus subtilis*، *Staphylococcus aureus* و *Listeria monocytogenes* والبكتيريا المسببة للأمراض سالبة الجرام *Escherichia coli* و *Pseudomonas aeruginosa*.

وتم تقييم النشاط المضاد للفطريات ضد خميرة *Candida albicans* و ثلاث فطريات خيطية *Aspergillus flavus*، *Penicillium expansum* و *Umbelopsis ramanniana* لاحظنا نشاط مضاد للبكتيريا لهذه الجسيمات النانوية ضد *B.subtilis*، *E. coli* et *P. aeruginosa* بمناطق تثبيط من 8 إلى 14 مم، 7 إلى 13 مم و من 7 إلى 14 مم عند تراكيز للجسيمات النانوية لأكسيد القصدير من 25 إلى 100 مغ/مل، 50 إلى 100 مغ/مل و من 3 إلى 100 مغ/مل على التوالي. من الجانب الآخر، لم تظهر هذه الجسيمات النانوية أي نشاط مضاد للبكتيريا ضد *S. aureus*، *L. monocytogenes* كما أنها لم تظهر أي نشاط مضاد للفطريات ضد الفطريات التي تم اختبارها باستثناء *U.ramanniana* التي أظهرت حساسية عند تركيز 3 مغ/مل مما أعطى منطقة تثبيط بقطر 9 مم.

قمنا أيضا بتقييم النشاط المضاد للأكسدة للجسيمات النانوية لأكسيد القصدير وقد لاحظنا متوسط نشاط مضادات الأكسدة يعتمد على الجرعة والذي وصل إلى حده الأقصى عند 25 مغ/مل مع نسبة تثبيط تقدر ب 61.8% و IC50 ب 5مغ/مل.

الكلمات المفتاحية: الجسيمات النانوية $NpSnO_2$ ، التركيب الحيوي، الضرو، مضاد للبكتيريا، مضاد للفطريات، مضاد للأكسدة.

Introduction

Introduction

Les nanotechnologies constituent un champ de recherche et de développement impliquant la fabrication de structures, dispositifs et systèmes à partir de procédés permettant de structurer la matière au niveau atomique et moléculaire à des échelles de 1 à 100 nanomètres (nm)(**Gaffet, 2008**). Les nanoparticules (NP) sont les plus petites particules composées de quelques centaines d'atomes (**Chuto et Chaumet-Riffaud, 2010**). Elles peuvent présenter des propriétés physiques et chimiques très différentes de celles de leurs homologues de plus grande taille. On distingue deux grandes familles des nanoparticules, sont les nanoparticules organiques et les nanoparticules inorganiques comme les nanoparticules métalliques et les nanoparticules d'oxyde métalliques (**Ijaz etv al., 2020**).

Parmi de nombreuses NP d'oxyde métalliques, les NP de dioxyde d'étain ont atteint une importance significative grâce à leurs propriétés distinctives. Le SnO_2 est un semi-conducteur de type n qui a des propriétés et des morphologies qui montrent une merveilleuse efficacité en plusieurs domaines (**Haq et al., 2021**). Les NPSnO_2 ont été synthétisées à l'aide de diverses méthodes physique et chimique, notamment la méthode de précipitation, la méthode sol-gel, la méthode électrochimique, la méthode assistée par micro-ondes et la méthode hydrothermale. Toutes ces méthodes de traitement nécessitent des instruments très sophistiqués, coûteux et toxiques. En revanche, la synthèse verte de nanoparticules d'oxydes métalliques via un processus utilisant des matières végétales est avéré simple, rentable, rapide, non toxique et respectueux de l'environnement (**Elango et al., 2015**).

Le genre *Pistacia* appartient à la famille des Anacardiaceae est connu en tant qu'un trésor de composés phénoliques, de terpénoïdes, de monoterpènes, de flavonoïdes, d'alcaloïdes, de saponines, d'acides gras et de stérols (**Rauf et al., 2017**) . Dans la région méditerranéenne, une grande attention a été portée aux effets pharmacologiques de l'espèce *P. lentiscus* tels que la réduction de la tension artérielle, les propriétés anti-inflammatoires, antimicrobiennes, hypoglycémiantes, antioxydantes, cicatrisantes et analgésiques (**Djerrou et al., 2013**), (**Abdeldjelil et al., 2014**) , (**Maameri et al., 2016**) et (**Boudjelal et al., 2022**). Elle est utilisée dans de nombreux domaines en raison des propriétés que possèdent ses feuilles , son bois et de la résine qu'elle sécrète dans ses tiges (**Djedaia, 2017**) , ses feuilles ont été utilisées comme anti-inflammatoire, antibactérienne, antifongique, antipyrétique, hépatoprotective, expectorante et cicatrisant (**Djedaia, 2017**), comme un traitement de l'eczéma, la diarrhée et les infections de la gorge (**Maameri-Habibatni, 2014**), leurs huiles sont utilisées pour traiter

les brûlures et les cicatrisations difficiles, de douleurs dorsales, des douleurs d'estomac et en cas de circoncision (**Maameri-Habibatni, 2014**) et aussi est utilisée dans le domaine de cosmétique dans la fabrication des produits de beauté (**Djedaia, 2017**) et sa résine est utilisée comme un anti diarrhéique et antiscorbutique.

L'objectif de cette étude est d'évaluer les activités biologiques des nanoparticules métalliques de dioxyde d'étain élaborées à l'aide d'un extrait hydroéthanolique des feuilles d'une plante médicinale *P. lentiscus* telles que l'activité antimicrobienne et l'activité antioxydante.

On a divisé notre travail en trois grand chapitres :

Le premier chapitre traite une synthèse bibliographique sur la nanotechnologie et les nanoparticules d'oxyde d'étain.

Dans le deuxième chapitre, nous avons d'abord présenté le matériel utilisés, suivie par notre démarche expérimentale, commençant par la préparation de l'extrait hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus* , le screening phytochimique de cet extrait, l'évaluation de son activité antioxydante, son utilisation comme agent réducteur pour faire la biosynthèse des nanoparticules de SnO_2 , ainsi que les protocoles d'évaluation des propriétés biologiques des nanoparticules de SnO_2 .

Dans le troisième chapitre, nous avons présenté les résultats obtenus et les discussions de chaque expérience.

Enfin, le mémoire sera finalisé par une conclusion générale qui mettra l'accent sur les résultats obtenus.

Chapitre I:

Synthèse

bibliographique

I. Chapitre I : Synthèse bibliographique

I. 1. Nanoscience

La nanoscience ou la nanotechnologie est une branche scientifique qui étudie des substances d'une taille nanométrique inférieure à 100 nm (**Djeghbub et Keghouche, 2010**). La nanoscience est pluridisciplinaire, c'est à dire qu'elle est utilisée dans plusieurs domaines, dont la biologie, physique, la chimie, la médecine, l'informatique, etc (**Chouard et al., 2008**).

I.2. Nanomatériaux

Un nanomatériau est un matériau dont au moins une dimension externe est à l'échelle nanométrique ou qui possède une structure interne ou de surface à l'échelle nanométrique (**ISO/TR, 2017**).

Il existe deux grandes familles de nanomatériaux :

- ❖ **Les nano-objets** sont des matériaux qui peuvent être sous forme de particules, fibres, tubes, de couches minces ou de constituant structurels (**Dominique et Yves, 2004**).
- ❖ **Les matériaux nano structurés** sont des matériaux qui ont une structure interne ou de surface à l'échelle nanométrique (**ISO/TR, 2017**).

I.3. Les nanoparticules

I.3.1. Définition

Les nanoparticules ou dites les particules ultra fine sont les plus petites particules mesurables et contrôlables, leur taille correspond à la taille d'un virus ou d'une molécule d'ADN, elle est inférieure à 0,1 μm (entre 1 et 100 nm) (**Chauvel, 2018**).

Ces particules sont utilisées dans plusieurs et différents domaines la santé, l'automobile, la construction, l'agroalimentaire ou encore l'électronique, etc (**Chauvel, 2018**).

I.3.2. Classification des nanoparticules

I.3.2.1. Les nanoparticules organiques

Les nanoparticules organiques dites aussi particules polymères ou nanocapsules sont des nanoparticules biodégradables, non toxiques et sensibles à la chaleur et à la lumière. En raison de ces propriétés, les nanoparticules organiques sont idéales pour l'administration de

médicaments et sont largement utilisées en médecine car elles sont efficaces et peuvent également être injectées dans des parties spécifiques du corps. Parmi ces nanoparticules la ferritine, les micelles, les dendrimères et les liposomes, etc ... (figure 1) (Ijaz et al, 2020).

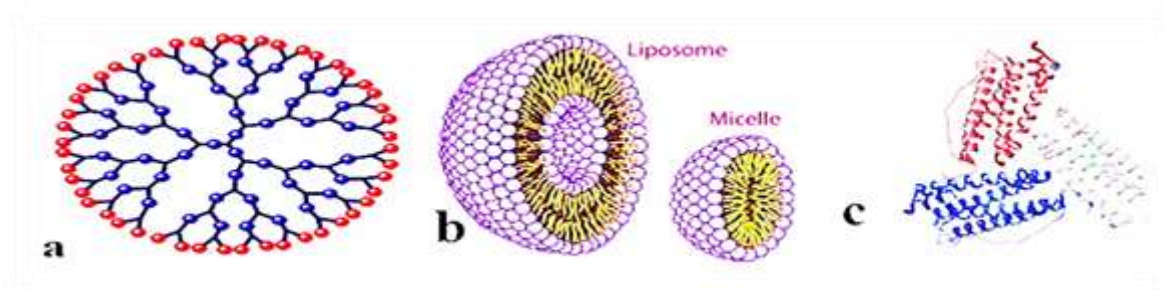


Figure 1 : Nanoparticules organiques (a) Dendrimères (b) Liposomes et micelles (c) Ferritine

I.3.2.2. Les nanoparticules inorganiques

Le carbone n'entre pas dans la composition des nanoparticules inorganiques, ces nanoparticules sont non toxiques, biocompatibles, hydrophiles, et très stables par rapport aux molécules organiques. On distingue deux types de ces particules les particules métalliques et les particules d'oxydes métallique (Ijaz et al, 2020).

I.3.2.2.1. Les nanoparticules métalliques

Les nanoparticules métalliques sont fabriquées par l'utilisation de divers métaux tels que l'aluminium, le cadmium, le cobalt, le cuivre, l'or, le fer, le plomb, l'argent et le zinc, soit par des méthodes destructives, soit par des méthodes constructives (Ijaz et al, 2020). Ces nanoparticules ont des propriétés distinctives telles que leurs tailles, les caractéristiques de surface, la taille des pores, la charge de surface et la densité de charge de surface, des structures cristallines et amorphes, etc (Ealia et Saravanakumar, 2017); (Ijaz et al, 2020).

I.3.2.2.2. Les nanoparticules d'oxyde métalliques

Des nanoparticules d'oxydes métalliques sont synthétisées dans le but de modifier et de changer leurs propriétés induisant ainsi une augmentation de leur réactivité et leur efficacité (Ijaz et al, 2020).

I.3.3. La synthèse des nanoparticules

Il existe plusieurs méthodes de synthèse des nanoparticules et ces méthodes sont divisées en deux classes principales :

I.3.3.1. L'approche descendante (top-down)

L'approche descendante est une technique destructrice, elle est utilisée pour convertir de gros matériaux en nanoparticules. La décomposition thermique, ablation laser, broyage à billes, etc., sont parmi les méthodes de top-down (Ijaz et al, 2020); (Thakur et al., 2022).

I.3.3.2. L'approche ascendantes (bottom-up)

L'approche ascendantes est appelée aussi la méthode constructive, elle est à l'opposé de la méthode descendante. Avec cette technique, des produits chimiques beaucoup moins complexes sont utilisés pour créer des nanoparticules. Le dépôt chimique en phase vapeur (CVD), le Sol-gel, le filage, la pyrolyse et la synthèse biologique sont des exemples de techniques ascendantes(Ijaz et al, 2020); (Thakur et al., 2022).

I.3.3.3. La synthèse verte

La synthèse biologique ou verte des nanoparticules est une technique biologique pour la création rapide des nanoparticules, c'est une méthode respectueuse de l'environnement, elle n'utilise aucun réducteur ou stabilisateur toxique. Dans cette technique les agents de stabilisation ou réduction ont été remplacé par des biomolécules ou par des carbo-hydrates qui ont été formés par des bactéries, des champignons, des plantes, des levures, etc. Les applications actuelles pour la biosynthèse des nanoparticules impliquent l'utilisation de sources naturelles, des matériaux biodégradables et biocompatibles, des procédés éconergétiques et des solvants non dangereux pour la préparation des nanoparticules (Chauvel, 2018); (Berra, 2020).

I.3.4. Les propriétés des nanoparticules

Les nanoparticules ont des propriétés distinctives telles que la taille, les caractéristiques de surface, la charge et la densité de charge de surface, la taille des pores, les structures cristallines, etc (Ealia et Saravanakumar, 2017).

I.3.4.1. Les propriétés physique

Les propriétés physiques des nanoparticules comprennent des propriétés optiques dont leur couleur, leur capacité de pénétration, l'absorption et de la réflexion de la lumière et des UV dans une solution ou lorsque enduites sur une surface. Elles comprennent également des propriétés mécaniques telles que l'élasticité, la résistance à la traction et la flexibilité, qui jouent un rôle important dans leur application. D'autres propriétés telles que l'hydrophilie, l'hydrophobie, les caractéristiques de suspension, de diffusion et de sédimentation ont trouvé leur place dans de nombreux objets modernes de la vie quotidienne. Des propriétés

magnétiques et électriques telles que la conductivité, la semi-conductivité et la résistivité ont ouvert la voie à l'utilisation des nanoparticules dans l'électronique moderne; la conductivité thermique dans les applications d'énergie renouvelable (Ealia et Saravanakumar, 2017).

I.3.4.2. Les propriétés chimiques

Les propriétés chimiques des nanoparticules sont : la réactivité des nanoparticules avec la cible, la stabilité et la sensibilité à des facteurs tels que l'humidité, l'atmosphère, la chaleur et la lumière. Ces propriétés déterminent ses applications (figure 2) (Ealia et Saravanakumar, 2017).

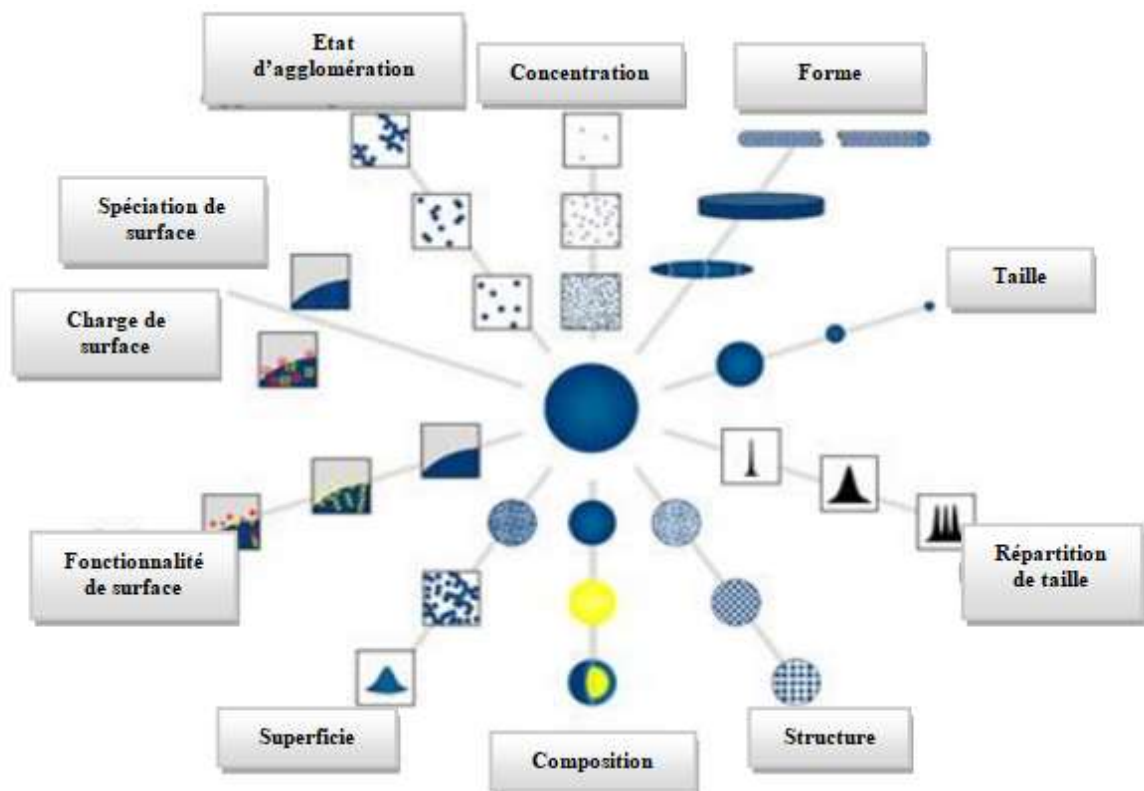


Figure 2 : Caractérisation des nanoparticules.

I.3. 5. Applications des nanoparticules

Les nanoparticules sont utilisées dans plusieurs domaines en médecine, elles sont retrouvées dans des pansements des brûlures et des plaies sèches, dans les solutions antiseptiques nasales, dans le marquage biologique fluorescent, dans la délivrance des médicaments et des gènes, dans la détection biologique des agents pathogènes, et dans des substances qui agissent sur les tumeurs, etc (Ealia et Saravanakumar, 2017); (Chauvel, 2018); (Ijaz et al., 2020).

Elles sont également utilisés dans la cosmétique comme les crèmes solaires, les pigments pour peinture, les rouges à lèvres, les produits d'hygiène corporelle et buccale comme

shampooing, gels douche, dentifrices, bains de bouche, déodorants, dans les crèmes de soin pour le visage ou pour le corps, etc (**Chauvel, 2018**).

Elles se retrouvent même dans des chaussures, des chaussettes, des tee-shirts anti-transpirants, dans le linge de maison ou encore à la literie et elles sont intégrées aux lave-linges, etc (**Chauvel, 2018**).

Elles sont retrouvées dans certaines boîtes de conservation alimentaire en plastique, certains emballages de conservation des aliments, dans les compléments alimentaires, dans les revêtements d'ustensiles de cuisine (planche à découper, couteau), dans les biberons, les tasses pour enfant, les objets à mâcher, etc (**Chauvel, 2018**).

I.4. Les nanoparticules de SnO_2

I.4.1. Généralités

Le dioxyde d'étain est un matériau faisant partie de la famille des oxydes transparent conducteur de type n, un oxyde de couleur variable de jaune au noir, on le trouve dans la nature sous la forme cassitérite minérale. Cet oxyde est très utilisé surtout dans la surveillance de la pollution de l'air et de la détection des gaz dangereux. Il possède des caractéristiques électroniques extrêmement exceptionnelles liées à l'adsorption en surface (**Tayeb, 2017**); (**Haya et Halimi, 2018**).

Le SnO_2 est un oxyde métallique, il se trouve dans la nature sous la forme cassitérite tetragonale rutile et dans cette forme cassitérite il contient un gap électrique direct à l'ordre de 3.6 eV au point de la bande de Brillouin (**Rogé, 2015**); (**Tayeb, 2017**).

Le SnO_2 présente une transmission de l'ordre de 85% dans le domaine visible, une robuste absorption dans le domaine ultraviolet et un reflet important de l'énergie solaire dans le domaine infrarouge. Le SnO_2 non dopé est très transparent dans le spectre visible lorsqu'il présente une faible proportion de défauts (**Haya et Halimi, 2018**).

I.4.2. Applications des nanoparticules de SnO_2

Les nanoparticules de SnO_2 sont utilisées pour réduire le p-nitrophénol en p-aminophénol en milieu aqueux. Les NpSnO_2 peuvent également fonctionner comme un catalyseur efficace pour la réduction du p-nitrophénol en présence de NaBH_4 en facilitant le transfert d'ions vers le p-nitrophénol (**Gorai, 2018**).

Les nanoparticules SnO_2 ont été également utilisées comme photocatalyseur grâce à leur propriétés tel que leur taille de grain minuscule, la faible densité, la porosité élevée, la surface spécifique élevée et le grand rapport surface-volume, etc (**Wang et al., 2012**).

Anandan et Rajendran (2015) ont rapporté leurs recherches sur la dégradation photocatalytique du colorant méthyl orange utilisant des nanoparticules de SnO_2 (**Tayeb, 2017**).

Les oxydes métalliques sont utilisés dans les cellules solaires pour séparer les électrons des trous créés par le rayonnement, et ces oxydes agissent ensuite comme un conducteur d'électrons vers les électrodes. Ces couches sont appelées des couches conductrices transparentes car elles doivent avoir une transmission optique avec la plus grande conductivité électrique possible afin d'être utilisé dans ce genre d'application (**Haya et Halimi, 2018**).

I.4.3. Activité antibactérienne

Les nanoparticules de NpSnO_2 sont l'un des agents antimicrobiens sélectifs contre un large éventail de micro-organismes de divers groupes, tels que les virus, les champignons et les bactéries (**Dheyab et al., 2022**).

Plusieurs chercheurs ont étudié l'activité antimicrobienne des NpSnO_2 , dont Gowri et al (2013) qui ont testé l'effet antimicrobienne des NpSnO_2 synthétisées à partir d'extrait de plante d'*Aloe vera* et ils ont enregistré une activité antibactérienne contre *S. aureus* et *E. coli*. Dans une autre étude des NpSnO_2 synthétisées à partir d'extrait de graines de *Trigonella foenum graecum* ont également montré une activité vis-à-vis *E. coli* (**Vidhu et Philip, 2015**).

Le mode d'action précis des NpSnO_2 dans la lutte contre les souches microbiennes est actuellement inconnu. Les nanoparticules d'oxyde métallique ont toutefois été associées à un certain nombre de mécanismes antibactériens différents, notamment la décomposition des nanoparticules, les interactions électrostatiques avec les parois cellulaires des micro-organismes et la production d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) en réponse aux radiations lumineuses. L'accumulation de NpSnO_2 à la surface des membranes cellulaires bactériennes est une explication potentielle de l'effet antibactérien de ces nanoparticules. Les ROS produits par les NpSnO_2 interagissent avec la membrane de la cellule bactérienne, perturbant sa perméabilité et son système de respiration, ce qui entraîne finalement la mort de la cellule (Figure 3) (**Gebreslassie et Gebretnsae, 2021**).

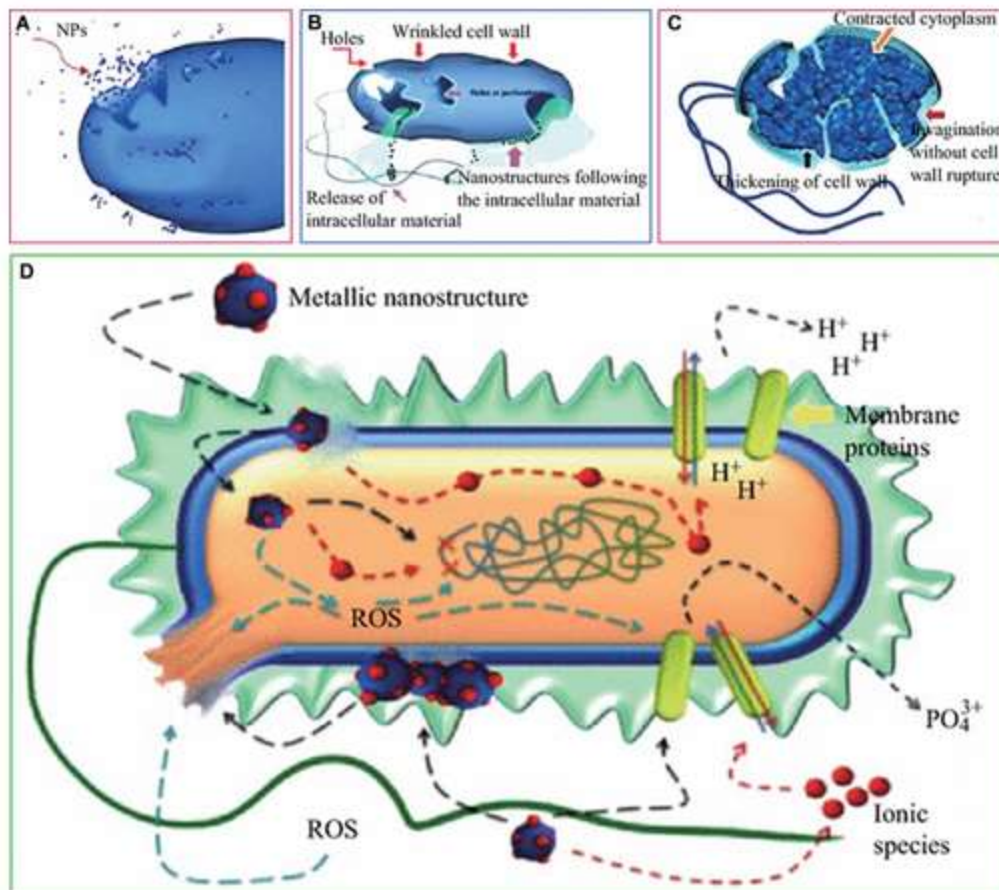


Figure 3 : lustration schématique des processus et mécanismes antibactériens des nanoparticules d'oxyde métallique (Ren et al., 2020).

(A) Les nanoparticules adhèrent sélectivement à la paroi cellulaire et la pénètrent. (B) La paroi et la membrane cellulaires ont été perturbées, ce qui a entraîné la libération de matériaux intracellulaires. (C) L'équilibre homéostatique est rompu car le cytoplasme continue de fuir. (D) Les mécanismes de dissolution des nanoparticules dans la membrane bactérienne, la libération d'ions métalliques, d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) et la perturbation de l'ADN ou d'autres substances bioactives.

I.4.4. Activité antioxydante

Les nanoparticules de SnO_2 auraient également une activité antioxydante. L'activité antioxydante est associée à la réduction des quantités de 1,1-diphényl-2-picrylhydrazile (DPPH) (Figure 04). Pour tester les NP synthétisées, une méthode de piégeage des radicaux libres DPPH a été utilisée. Généralement, les électrons/protons échangés à partir des NpSnO_2 piègent les radicaux libres DPPH (Dheyab et al., 2020).

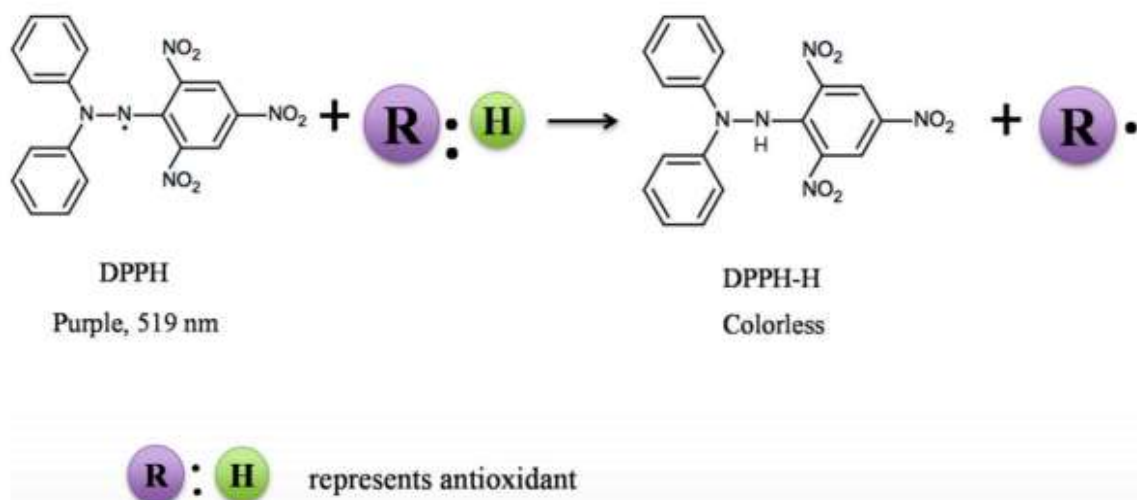


Figure 4 : Le mécanisme de réaction du DPPH avec l'antioxydant. R est un radical antioxydant ; R:H est un piègeur de radicaux antioxydants.

Matériel et méthodes

II. Matériel et méthodes

II.1. Matériel

II.1.1. Matériel végétal

Les feuilles de la plante *Pistacia lentiscus* ont été récoltées à partir de la région de Nador, wilaya de Tipaza, pendant le mois d'Octobre 2022.

Les feuilles collectées ont été lavées avec de l'eau courante puis de l'eau distillée pour éliminer toute les impuretés. Ensuite, ces feuilles ont été séchées à une température ambiante et à l'abri du soleil pendant 7 à 10 jours. Une fois les feuilles sont séchées, elles ont été broyées à l'aide d'un broyeur électrique pour obtenir une poudre fine. Par la suite, cette poudre a été conservée dans une boîte en verre couverte par un papier aluminium (à l'abri de la lumière). Les étapes d'obtenir de la poudre fine à partir les feuilles de *P. lentiscus* sont représentées dans la figure 5.



Figure 4: Les étapes pour préparation d'une poudre fine à partir des feuilles de *P. lentiscus*

II.1.2. Matériel microbiologique

Cinq souches bactériennes et quatre souches fongiques ont été sélectionnées pour notre étude et sont représentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Les souches bactériennes et fongique testés.

Bactéries	Référence
<i>Escherichia coli</i>	ATCC 8739
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	ATCC 9027
<i>Staphylococcus aureus</i>	ATCC 6538
<i>Bacillus subtilis</i>	ATCC 6633
<i>Listeria monocytogenes</i>	CIP 82110
Champignons	<i>Aspergillus flavus.</i>
	<i>Penicillium expansum.</i>
	<i>Umbelopsis ramanniana.</i>
Levure	<i>Candida albicans.</i>

II.1.3. Matériel non biologique

Les milieux de culture, les produits chimiques et les réactifs nous ont été fournis par les laboratoires pédagogiques de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et le laboratoire de Biologie des Systèmes Microbiens (LBSM) de l'Ecole Nationale Supérieure (ENS) de Kouba Alger (voir annexe).

II. 2. Méthodes

II.2.1.Préparation de l'extrait hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus*

20 g de poudre des feuilles de *P. lentiscus* ont été mélangées avec 200 ml du solvant d'extraction (éthanol 70°). Après 24 h d'agitation à l'obscurité, le mélange a été filtré à l'aide d'un papier Wattman N°1. L'extrait brut obtenu a été conservé à +4°C dans un flacon ombré en verre jusqu'à son utilisation (figure 6).

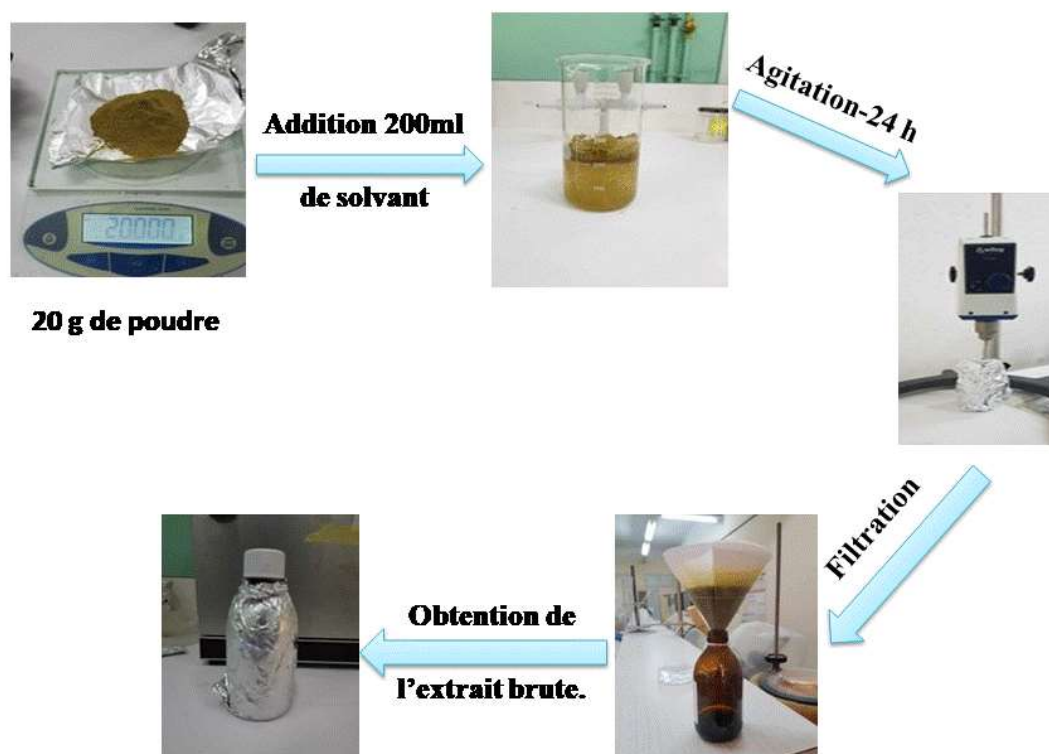


Figure 5: Schéma représentative des étapes de l'extraction hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus*.

II.2.2. Screening phytochimique de l'extrait hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus*

II.2.2.1. Dosage des polyphénols totaux

La quantification des composés phénoliques présentes dans l'extrait hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus* a été effectuée selon le protocole de Singleton et Rossi (1965) avec quelque modification en utilisant le réactif folin-ciocalteu (**Boizot and Charpentier, 2006**).

Dans un premier temps, une série de dilution a été effectuée pour obtenir des solutions de l'acide gallique de différentes concentrations (de 0,007 à 1 mg/l) et de l'extrait hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus* (de 0,0312 à 4 mg/l).

Un volume de 200 µl de l'extrait hydroéthanolique ou de la solution de l'acide gallique a été mélangé avec 1 ml de folin-ciocalteu (dilué 10 fois), 4 minutes après 800 µl d'une solution de carbonate de sodium (7,5 %) ont été ajoutés au mélange. A l'aide d'un spectrophotomètre, l'absorbance à 760 nm du mélange réactionnel a été mesurée après 2h d'incubation à l'obscurité.

Les résultats obtenus avec les différentes concentrations d'acide gallique ont été utilisés pour tracer une courbe d'étalonnage. Les résultats sont exprimés en milligramme d'équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait sec. Le protocole suivie pour déterminer le taux des polyphénols est résumé dans la figure 7.

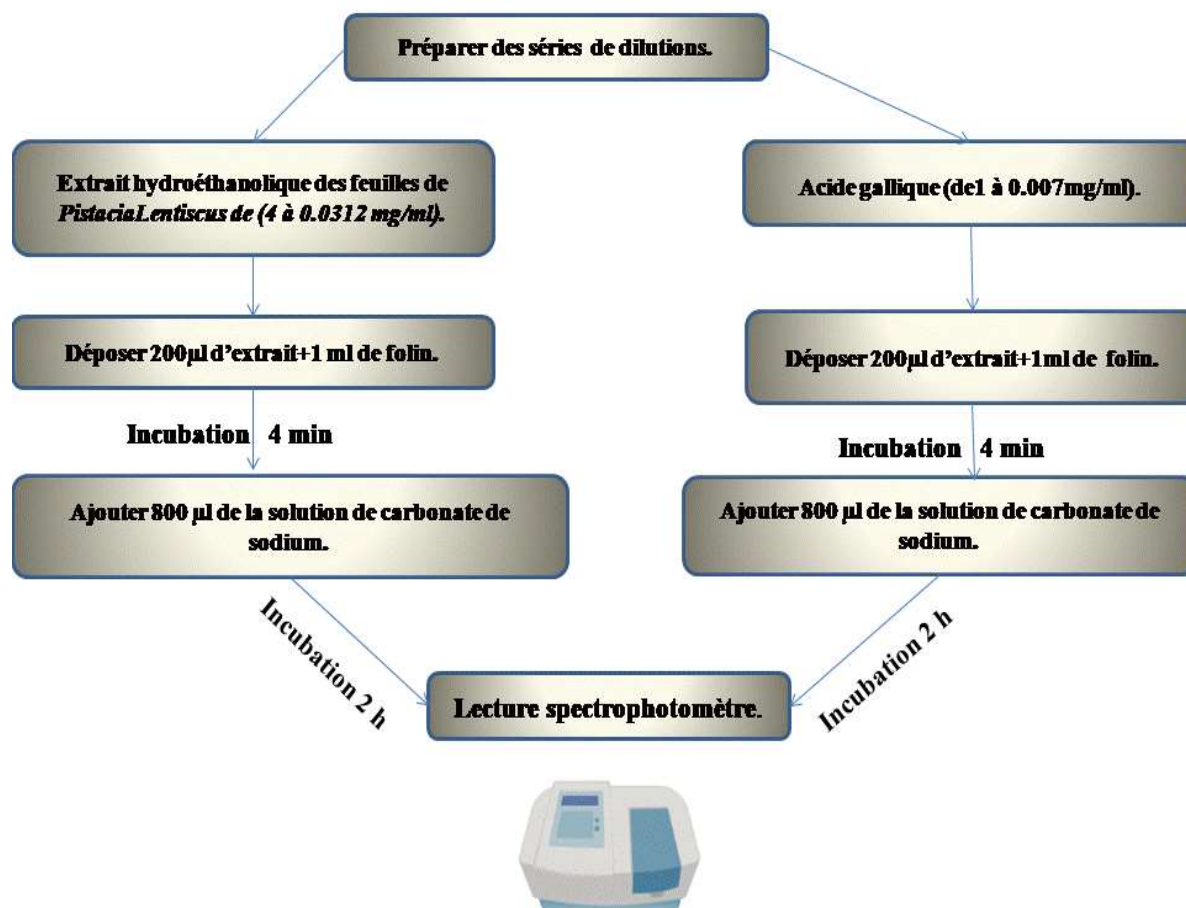


Figure 6 : Schéma représentative du protocole de dosage des polyphénols.

II.2.2.2. Dosage des flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes des différents extraits est déterminée par la méthode du chlorure d'Aluminium selon le protocole décrit par Bajorun et *al* (1996).

D'abord, une solution mère de la quercétine (1 mg/ml) et celle de l'extrait hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus* (4 mg/ml) ont été préparées, puis une série de dilution a été effectuée pour obtenir des solutions de différentes concentrations allant de 0,007 jusqu'à 1 mg/ml de quercétine et de 0,0312 jusqu'à 4 mg/ml d'extrait hydroéthanolique. Ensuite, un volume de 0,5 ml d' AlCl_3 a été mélangé avec 0,5 ml de chaque solution. Après incubation à une température ambiante pendant 10 min, l'absorbance à 430 nm a été mesurée en utilisant un spectrophotomètre.

Les résultats obtenus avec les différentes concentrations de la quercétine ont été utilisés pour tracer une courbe d'étalonnage. Les résultats sont exprimés en milligramme d'équivalent de quercétine par gramme par d'extrait sec (figure 8).



Figure 7 : Schéma représentative des étapes de dosage des flavonoïdes.

II.2.3. Évaluation de l'activité antioxydante de l'extrait hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus*

Blois (1958) a conçu une méthode pour évaluer l'activité antioxydante d'une manière similaire en utilisant un radical libre stable, le diphényl--picrylhydrazyl (DPPH). Le test repose sur la mesure de la capacité des antioxydants à piéger ce radical. L'électron impair d'un atome d'azote dans le DPPH est diminué en recevant un atome d'hydrogène des antioxydants et en le convertissant en hydrazine (Kedare and Singh, 2011).

Dans un premier temps, nous avons préparé des dilutions d'extrait hydroéthanolique de *P. lentiscus* (de 0,0156 jusqu'à 4 mg/ml) et d'acide ascorbique (de 0,007 jusqu'à 1mg/ml). Une solution de DPPH a été également préparée par solubilisation de 6 mg de DPPH dans 100 ml d'éthanol et en agitant cette solution pendant 2 h à l'obscurité (figure 9).

Pour déterminer l'activité antioxydante, un volume de 200 µl de d'extrait à différentes concentrations a été mélangé avec 800 µl de la solution DPPH et le mélange a été agité pendant 30 min à l'obscurité. Après incubation, l'absorbance est mesurée à 517 nm en utilisant le spectrophotomètre. L'activité de piégeage du DPPH est évaluée par le calcul du pourcentage d'inhibition à l'aide de l'équation suivante :

$$\% I = [(DOc-DOe)/DOc] \times 100$$

DOc : La densité optique du contrôle DPPH.

DOe : La densité optique de l'échantillon.

La concentration inhibitrice à 50 % (IC₅₀) a été déterminée en utilisant la courbe de la variation du taux d'inhibition (% I) en fonction des différentes concentrations de l'extrait hydro-éthanoliques de *P. lentiscus*.

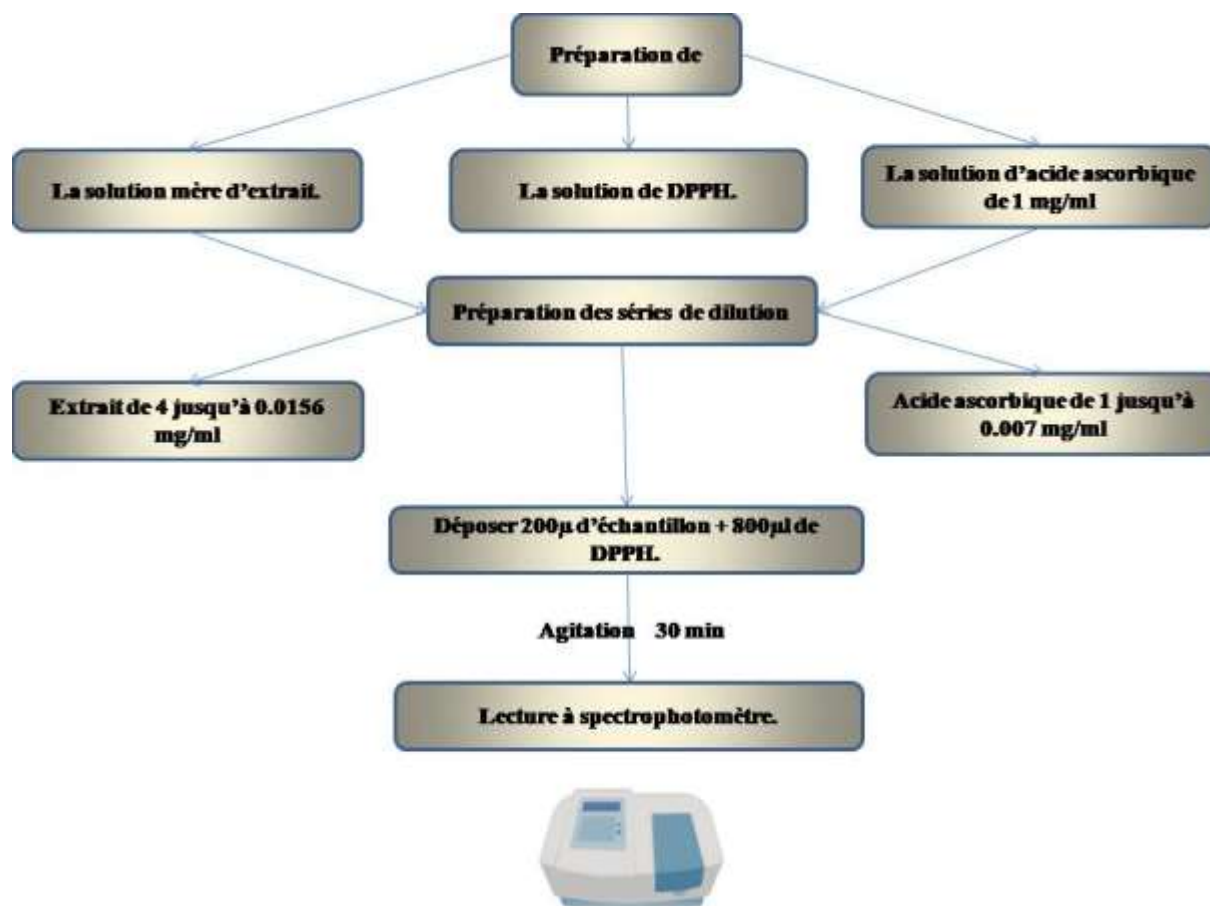


Figure 8 : Schéma représentative des étapes de l'activité antioxydante.

II.2.4. Biosynthèse des nanoparticules d'oxyde d'étain (NpSnO₂)

Pour synthétiser les nanoparticules de SnO₂, un volume de 250 ml de la solution de SnCl₂·2 H₂O d'une concentration 0,2 M a été mélangé avec 25 ml d'extrait hydroéthanolique

des feuilles de *P. lentiscus*. Après agitation pendant 1h, le mélange a été séché sous agitation puis calciné à 400°C pendant 2 h. Les NpSnO_2 obtenues ont été broyées à l'aide d'un mortier jusqu'à l'obtention d'une poudre fine.

II.2.5. Évaluation des propriétés biologiques des nanoparticules d'oxyde d'étain (NpSnO_2)

II.2.5.1. Évaluation de l'activité antibactérienne des nanoparticules d'oxyde d'étain (NpSnO_2)

L'activité antibactérienne des NpSnO_2 synthétisées à partir des feuilles de *P. lentiscus* a été examinée *in vitro* par la méthode de diffusion des puits vis-à-vis cinq bactéries : *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus subtilis* et *Staphylococcus aureus*. L'activité a été évaluée par la mesure des zones d'inhibition au tour des puits qui contiennent des solutions des nanoparticules de SnO_2 à différentes concentrations.

Les bactéries testées ont été d'abord pré-incubées sur milieux Muller Hinton (à 37°C de 18 à 24h). Des suspensions bactériennes de 0,5 McFarland ont été préparées en ajoutant quelques colonies bactériennes au bouillon Muller Hinton stérile jusqu'à l'obtention d'une suspension à une absorbance comprise entre 0,08 et 0,13 à 625 nm. Des boîtes de Pétri préalablement coulées avec du milieu Muller Hinton semi-solide ont étéensemencées avec les suspensions bactériennes par la méthode d'écouvillonnage puis des puits ont été créés à l'aide d'une pipette Pasteur stérile. Par la suite, les puits ont été remplis par 30 μl des différentes concentrations de NpSnO_2 (de 3 jusqu'à 100 mg/ml). Le SnCl_2 (10 mg/ml) a été utilisé comme contrôle positif. Après 24 heures d'incubation à 37°C, les diamètres des zones d'inhibition autour des puits ont été mesurées (figure 10).

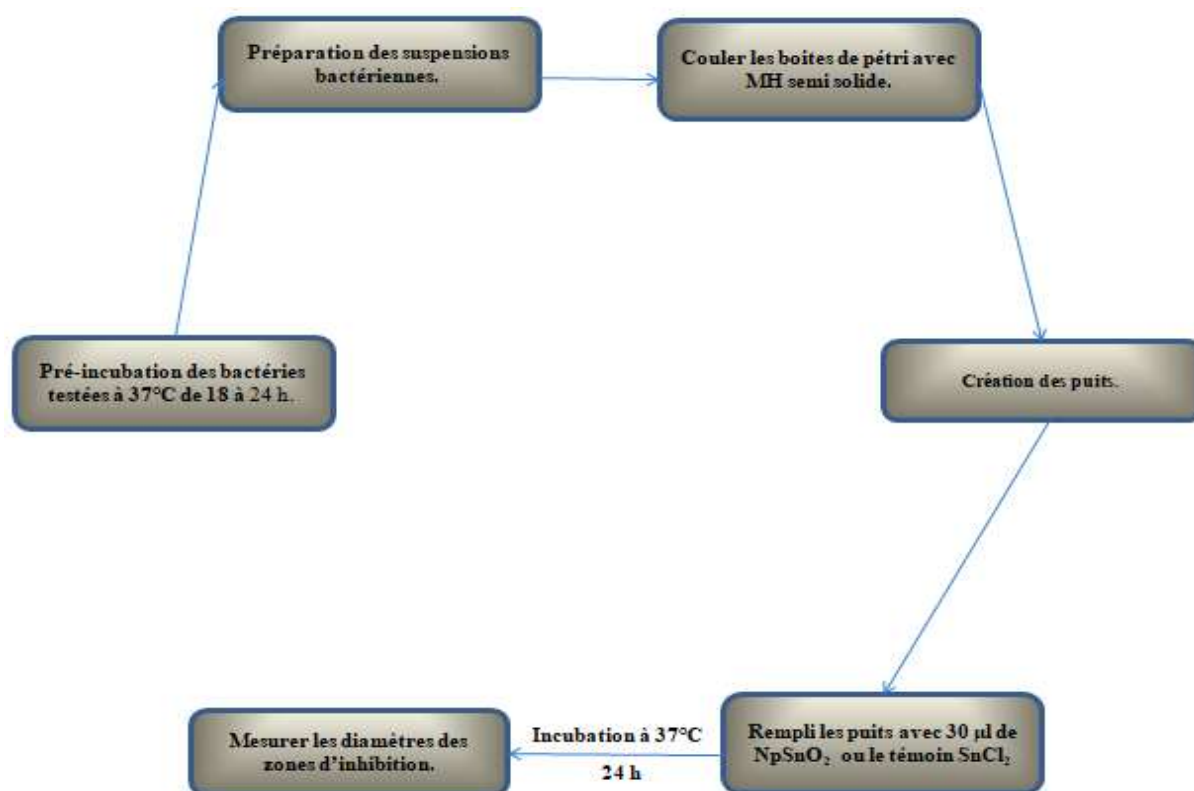


Figure 9 : Etapes de l'activité antibactériennes des NpSnO₂.

II.2.5.2. Évaluation de l'activité antifongique des nanoparticules d'oxyde d'étain (NpSnO₂)

L'activité antifongique des NpSnO₂ a été recherchée contre quatre souches fongiques. L'activité a été évaluée *in vitro* par la méthode de diffusion des puits, et en mesurant les zones d'inhibition au tour des puits qui contiennent des solutions de nanoparticules de SnO₂ à différentes concentrations.

Dans un premier temps, les suspensions des souches de champignons de 0,5 MacFarland ont été préparées en prenant quelques jeunes colonies des souches à tester (48 h à 30 °C) et les déposer dans des tubes à essais qui contiennent l'eau physiologique jusqu'à l'obtention d'une suspension à une absorbance comprise entre 0,15 et 0,17 à 530 nm. Un volume de 150 µl de chaque suspension de champignon a été ajouté à un volume de 100 ml de PDA semi solide liquéfié (ensemencement en masse). Puis le mélange a été coulé dans des boîtes de pétri. Après création des puits en utilisant des pipettes Pasteur stérile, un volume de 30 µl des différentes concentrations de NpSnO₂ (de 100 jusqu'à 3 mg/ml) ont été ajoutés. Le SnCl₂ (10 mg/ml) a été utilisé comme témoin. Après 48 heures d'incubation à 30°, le diamètre de la zone d'inhibition autour des puits a été mesuré (figure 11).

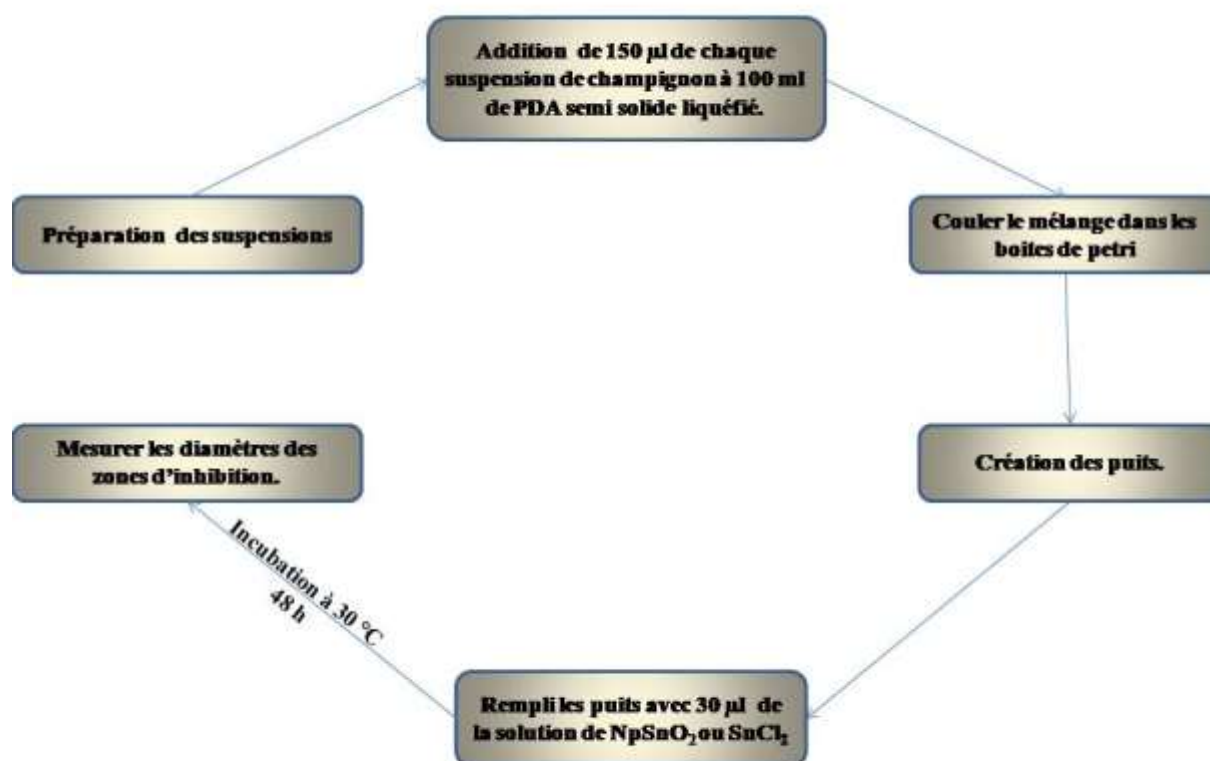


Figure 10 : Les étapes de l'activité antifongique des NpSnO₂

II.2.5.3.Évaluation de l'activité antioxydante des nanoparticules d'oxyde d'étain (NpSnO₂)

L'évaluation de l'activité antioxydante des NpSnO₂ a été effectuée par le même protocole utilisé pour déterminer l'activité antioxydante de l'extrait hydroéthanolique de *P. lentiscus* (Figure 12).

Pour cela, des dilutions des solutions de NpSnO₂ (de 100 jusqu'à 1 mg/ml) ont été préparées. Un volume de 200 µl de chaque solution de NpSnO₂ à différentes concentrations a été ajouté à 800 µl de la solution DPPH. Après incubation du mélange pendant 30 min à l'obscurité, l'absorbance a été mesurée à 517 nm en utilisant le spectrophotomètre. L'activité de piégeage du DPPH par le calcul du pourcentage d'inhibition et détermination de l'IC₅₀.

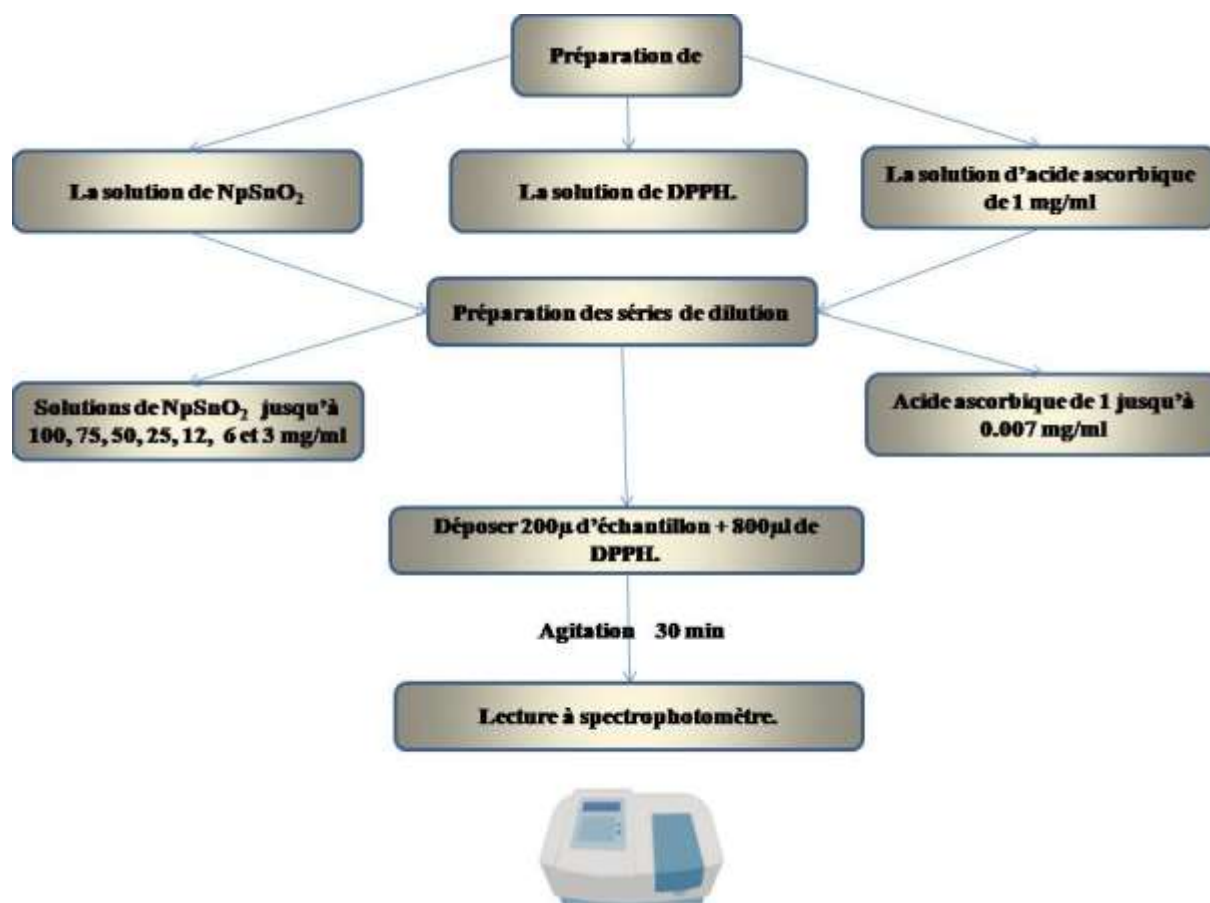


Figure 11 : Schéma représentative des étapes de l'activité antioxydante des NpSnO_2 .

Chapitre III :
Résultats et discussion

III. Résultats et discussion

Dans cette étude un extrait hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus* a été préparé. Cet extrait a servi comme agent réducteur dans la synthèse des nanoparticules d'oxyde d'étain. Les activités antimicrobienne et antioxydante de ces derniers ont été évaluées.

III.1. Evaluation du rendement d'extraction

La mesure du rendement est une phase essentielle pour déterminer la quantité et le pourcentage d'extrait obtenus par une extraction. Ce rendement est le rapport de la masse d'extrait sec exprimé en g sur la masse végétale initiale exprimé en g (poudre) ; en le calculant par la formule suivante :

$$R\% = (ME/M) \times 100$$

R% : rendement d'extraction.

ME : masse d'extrait sec.

M : masse végétale.

Dans la présente étude, le rendement de l'extraction hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus* est 26,122 %. Ce rendement est inférieur à celui trouvé par **Djedaia., (2017)** qui était 64,5 %, tandis qu'il est supérieur à celui retrouvé par **Cheurfa et Allem, (2015)** qui était 15,88 %. Dans une autre étude réalisée par **Hemma et al., (2018)**, le rendement d'extraction des feuilles de la même plante utilisant le méthanol comme solvant au lieu l'éthanol était 36,03 %.

Ces variations de valeur du rendement pourraient être dues aux variations de la méthode et les conditions d'extraction, le choix de la partie de la plante étudiée, la saison et la région de la récolte, le sexe de la plante, le solvant utilisé, etc.

III.2. Screening phytochimique de l'extrait hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus*

III.2.1. Evaluation de la teneur en polyphénols dans l'extrait hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus*

La teneur en polyphénols a été déterminée à l'aide d'un spectrophotomètre en utilisant le Folin-Ciocalteu. L'acide gallique (AG) a été utilisé comme une molécule de référence. Le taux des composés phénoliques de l'extrait hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus* a été

déterminé par l'équation de régression de la courbe d'étalonnage de l'AG ($y=14,41x + 0,234$; $R^2= 0,986$) (voir annexe). Les résultats obtenus sont exprimés en mg d'AG par g d'extrait sec.

Après une incubation de 2h, un changement de la couleur du mélange réactionnel vers le bleu a été observé (figure 13), l'intensité de coloration varie en fonction de la concentration de l'extrait hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus* en composés phénoliques (figure 13).

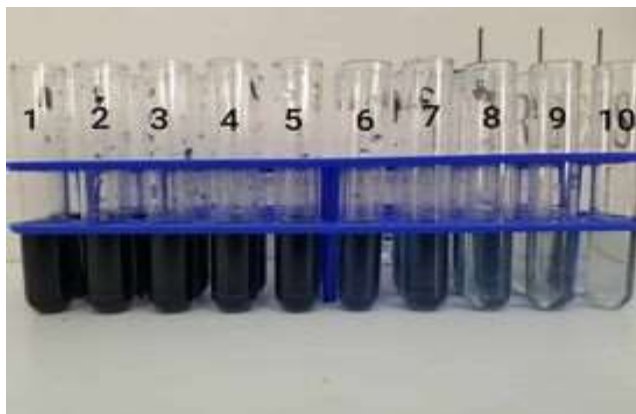


Figure 12: Résultats du dosage des polyphénols.

Les résultats obtenus montrent une forte teneur en polyphénols qui est de 432,56 mg AG/g d'extrait sec. Cette valeur est supérieure à la valeur obtenue par **Djedaia., (2017)** qui a trouvé une valeur de $154,3466 \pm 2,5$ mg AG/ g MS.

Dans l'étude menée par **Hemma et al., (2018)**, le dosage de polyphénols totale des extraits méthanoliques des feuilles et des fruits de *P. lentiscus* a révélé une teneur de $323,5 \pm 0,28$ et de $318,99 \pm 1,02$ mg GA/g d'extrait, respectivement.

Ces résultats variant en fonction des conditions du travail, les conditions climatiques, les conditions environnementales, la méthode d'extraction, les solvants utilisés, l'origine de la plante et la période de récolte (**Bentahar et al., 2020**).

II.2.2. Evaluation de la teneur en flavonoïdes dans l'extrait hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus*

La teneur de l'extrait hydroéthanolique en flavonoïdes a été déterminée grâce à une courbe d'étalonnage (voir annexe), utilisant la quercétine à différentes concentrations ($y = 4,8027x + 0,0016$; $R^2 = 1$). Les résultats sont exprimés en mg équivalent en quercétine par g d'extrait sec (mg EQ/g d'extrait sec).



Figure 14 : les dilutions de la quercétine après 10 min d'incubation.

Les résultats obtenus montrent une forte teneur en flavonoides qui est de $82,51 \pm 14,44$ mg d'EQ/g d'extrait sec. Dans des études précédentes menées par **Hemmaet al., (2018)** et **Djedaia., (2017)**, ils ont déterminé la teneur des extraits méthanoliques des feuilles en flavonoïdes et ils ont obtenus des valeurs de $46,75 \pm 0,01$ mg EQ/ g d'extrait et de $12,93 \pm 1,69$ mg catéchine/g MS, respectivement.

L'étude menée par **Bentahar et al., (2020)** a suggéré que les concentrations des flavonoïdes dans l'extrait hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus* dépend des conditions climatiques et environnementales, la méthode d'extraction, les solvant utilisés, l'origine de la plante et la période de récolte, utilisation d'un étalon différent et d'une courbe d'étalonnage différente.

II.3. Evaluation de l'activité antioxydante de l'extrait hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus*

L'activité antioxydante de l'extrait hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus* a été réalisée par la méthode de piégeage des radicaux libres de DPPH, et évaluée par mesure de l'absorbance des différentes dilutions à 517 nm par un spectrophotomètre. Après avoir calculer les pourcentages d'inhibition pour chaque concentration d'extrait, nous avons tracé la courbe de pourcentage d'inhibition en fonction des concentrations d'extrait, puis nous avons déterminé la concentration inhibitrice à 50 %. L'acide ascorbique a été utilisé comme molécule de référence.

Les résultats obtenus après 30 min d'agitation montrent que la couleur du DPPH a été changé graduellement du violet foncé au jaune pâle (figure 15) en présence d'extrait

hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus*. Le jaunissement des solutions augmente avec l'augmentation des concentrations des solutions d'extrait ; ce qui indique l'action de piégeage du radical libre et la transformation de DPPH en DPPH-H.



Figure 15 : Changement de couleur de DPPH en présence de l'extrait hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus*.

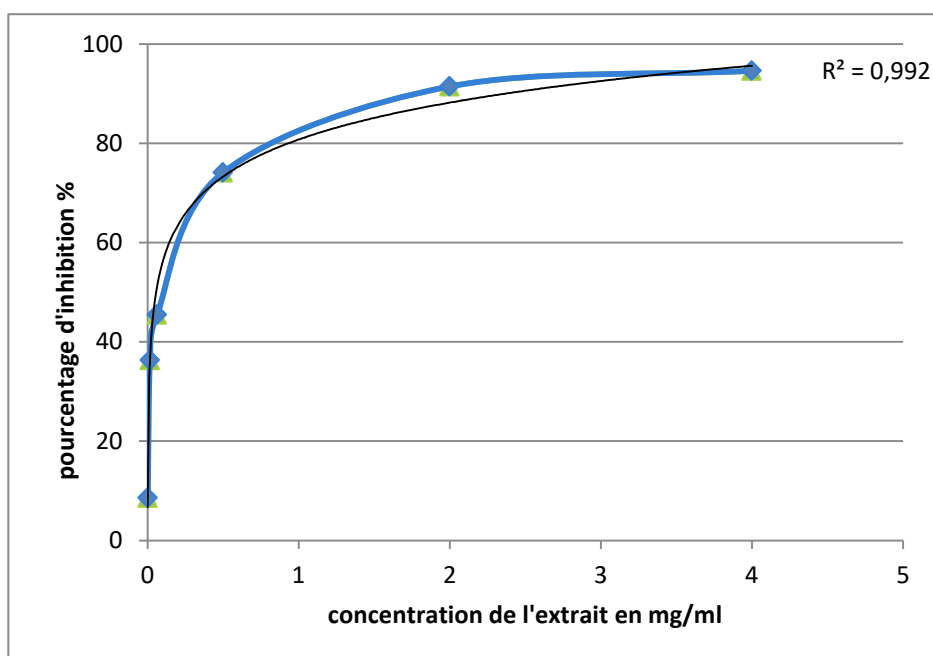


Figure 16: Courbe de pourcentage d'inhibition en fonction des différentes concentrations de l'extrait hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus*.

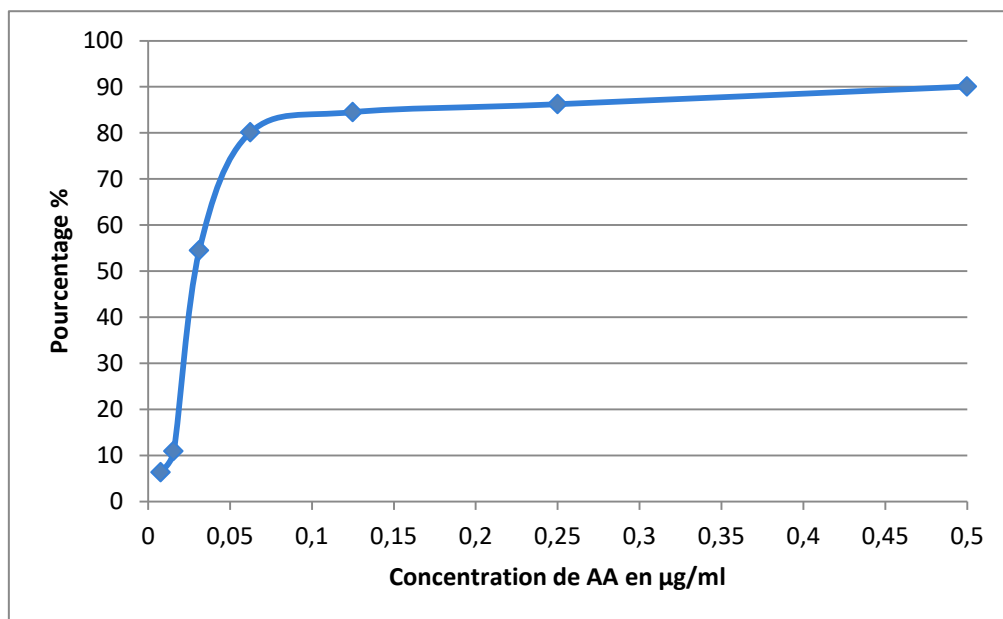


Figure 13 : Courbe du pourcentage d'inhibition en fonction des différentes concentrations de l'acide ascorbique.

Les résultats obtenus par ce test montrent que l'extrait hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus* présente une forte activité antioxydante arrivant jusqu'à 94,95 % avec une concentration inhibitrice 50 % (IC₅₀) de 0,0568 mg/ml (figure 16) qui est supérieure à IC₅₀ de l'acide ascorbique (0,0420 mg/ml) (figure 17).

Nos résultats s'accordent avec les résultats obtenus par **Djedaia, (2017)** dont la valeur de l'activité antioxydante de l'extrait méthanolique des fruits de *P. lentiscus* était 91,80 %, tandis que la valeur de l'IC₅₀ était inférieure à notre valeur avec une valeur de 0,01475 mg/l. Dans une autre étude menée par **Hemma et al., (2018)**, l'extrait méthanolique des feuilles a présenté un piégeage de 92,61% à une concentration de 0,4 mg/ml avec une valeur de l'IC₅₀ de 0,121 mg/ml. Tandis que la valeur de l'IC₅₀ de l'extrait hydroéthanolique des feuilles de la même plante était 4,23 µg/ml (**Ferradji, 2018**).

Les différences entre les résultats sont dues probablement à la teneur en substances antioxydantes présentes dans les feuilles de *P. lentiscus* telles que les composés phénoliques. Ces substances ont la capacité de piéger les espèces radicalaires (**Ferradji, 2018**).

III.4. Evaluation visuelle de la biosynthèse des NpSnO₂

Dans la présente étude, la synthèse des NpSnO_2 a été réalisée avec succès en utilisant l'extrait hydroéthanolique des feuilles de la plante *P. lentiscus* comme un agent réducteur de SnCl_2 . Un changement de couleur du blanc au jaune pâle est observé après une agitation pendant 1h à l'obscurité (Figure 18), confirmant la formation des NpSnO_2 . Notre résultat de changement de couleur de la solution contenant les NP s'accorde avec les résultats observés dans le travail mené par **Sikader et al., (2023)**.

Par la suite, un séchage avec agitation a été réalisé et nous avons obtenu une poudre noire, puis une calcination à 400 °C pendant 2h a été effectuée dont nous avons obtenu des NpSnO_2 d'une couleur grise très claire (Figure 21), ce changement de couleur a été également observé dans d'autres travaux de **Elamin et al., (2023)**; **Sikader et al., (2023)**. Les mêmes changements de couleur ont été observés par nombreux chercheurs (**Elamin et al., 2023**); (**Sikader et al., 2023**).



Figure 18 : Changement de coloration pendant les étapes de synthèse des NpSnO_2 .

Selon **Chauvel, (2018)** et **Berra, (2020)** la synthèse des nanoparticules à partir des extraits des plantes est un procédé intéressant pour la création rapide des nanoparticules métalliques. Ceci est grâce à des composants organiques dans les plantes qui sont bioactifs comme : les polyphénols, les flavonoïdes, les protéines et les enzymes, qui jouent un rôle d'un stabilisateur et/ou réducteur pour améliorer la synthèse des nanoparticules.

III.5. Evaluation des propriétés biologiques des nanoparticules de SnO_2

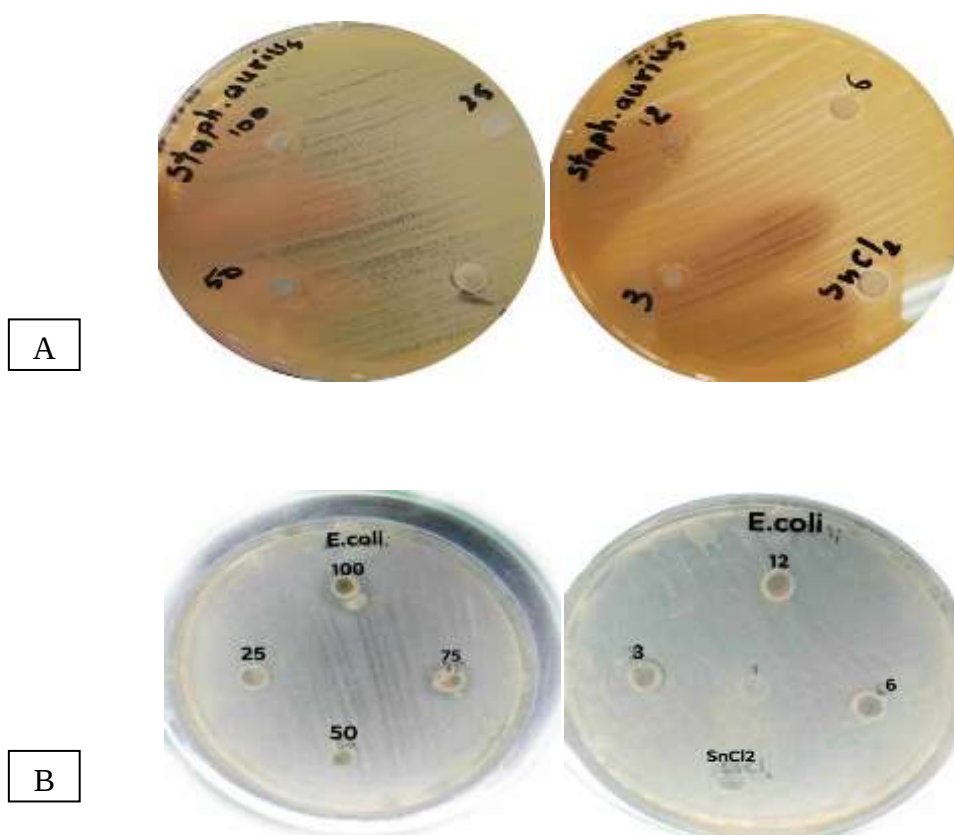
III.5.1. Evaluation de l'activité antibactérienne des NpSnO_2

L'activité antibactérienne des NpSnO_2 biosynthétisées à l'aide de l'extrait hydroéthanolique de *P. lentiscus* a été évaluée par la méthode de diffusion des puits *vis-à-vis* des bactéries pathogènes à Gram positif : *B. subtilis*, *S. aureus* et *L. monocytogenes* et à Gram négatif : *E. coli* et *P. aeruginosa*. Le SnCl_2 a été utilisé comme un témoin.

D'après les résultats représentés dans le tableau 2, nous constatons que le pouvoir antibactérien de ces NPs, varie selon les souches bactériennes testées et les concentrations des NpSnO_2 testées. La plus grande sensibilité à ces NpSnO_2 est notée chez la souche *B. subtilis* avec des zones d'inhibition de 8 à 14 mm à des concentrations des NpSnO_2 de 25 à 100 mg/ml, respectivement (figure 19 D). Alors que, cette sensibilité est un peu plus faible chez la souche de *E. coli* avec des zones d'inhibition qui varient de 7 à 13 mm (figure 19 B) à des fortes concentrations (de 50 à 100 mg/ml), respectivement. Les faibles concentrations n'ont pas présentés des activités antibactériennes. Une faible activité antibactérienne du sel SnCl_2 a été observée vis à vis *E. coli* (9 mm).

Une sensibilité a été également remarquée chez la souche *P. aeruginosa* donnant des zones d'inhibition variables de 7 mm à 14 mm selon les concentrations des NP (figure 19 C).

Une résistance totale a été observée chez les souches *S. aureus* et *L. monocytogens* (figure 19 A, E). Tandis que des zones d'inhibition de 10 mm et de 15 mm ont été observées avec le sel de SnCl_2 vis-à-vis *S. aureus* et *L. monocytogens*, respectivement.



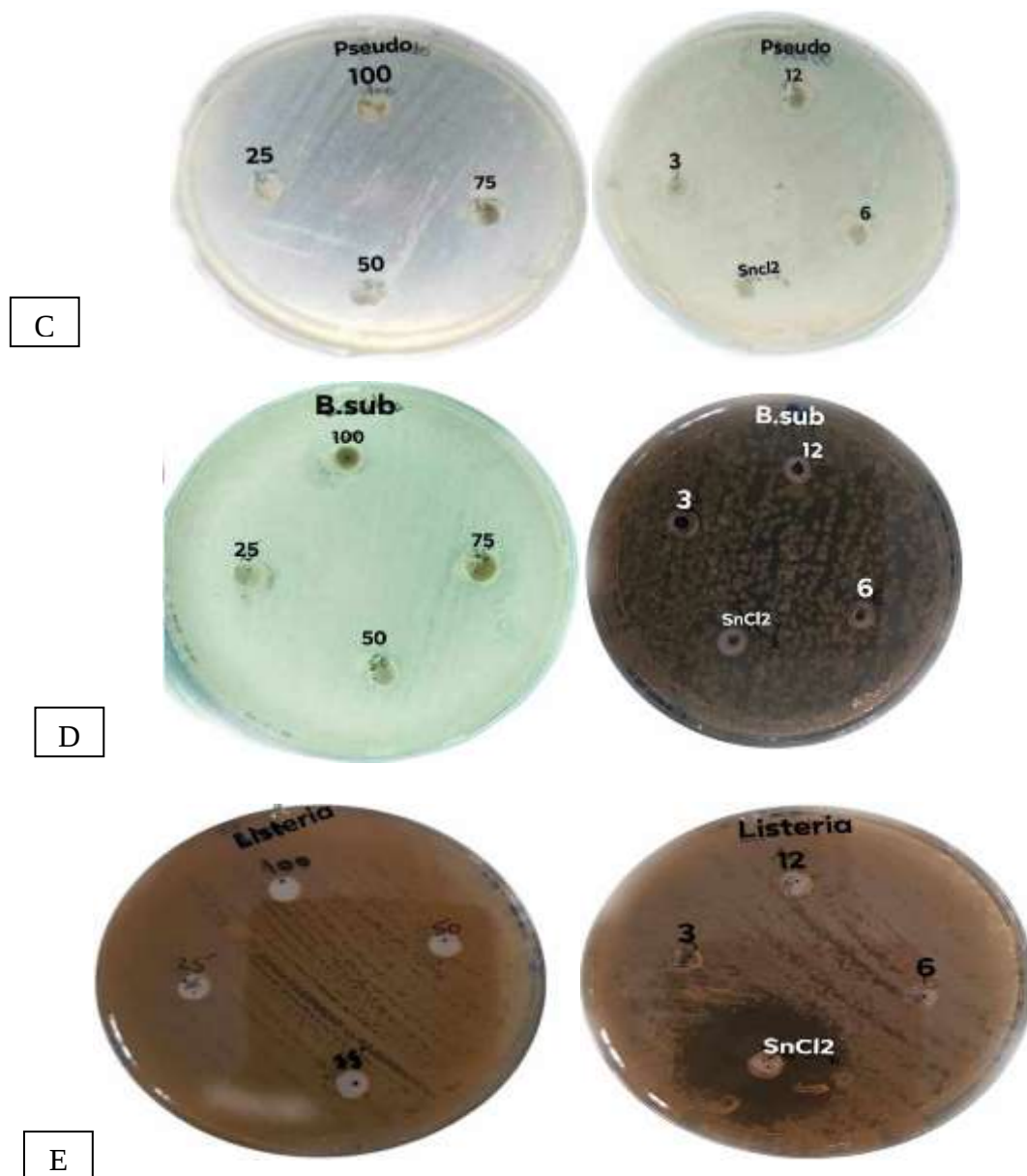


Figure 19 : Effet des Nps SnO_2 sur la croissance les bactéries.

Tableau 2: Les résultats de l'activité antibactérienne des Np SnO_2 .

Concentrations des NpSnO ₂ en mg/ml	Diamètres des zones d'inhibition contre les bactéries				
	Gram positif			Gram négatif	
	<i>S. aureus</i>	<i>L. monocytogenes</i>	<i>B. subtilis</i>	<i>E. coli</i>	<i>P.aeruginosa</i>
100	<6	<6	14 mm (R)	13 mm	7 mm
75	<6	<6	13 mm	12 mm	7 mm
50	<6	<6	11 mm	8 mm	<6
25	<6	<6	8 mm	7 mm	<6
12	<6	<6	<6	8 mm (R)	12 mm (R)
6	<6	<6	<6	<6	11 mm
3	<6	<6	<6	<6	14 mm (R)
Le témoin SnCl ₂ (10 mg/ml)	10 mm	15 mm	<6	9 mm	10mm

Nous suggérons qu'il y'a probablement une relation proportionnelle entre la zone d'inhibition et la concentration des NpSnO₂.

Nous avons remarqué la sensibilité des souches bactériennes à Gram négatif testées (*E. coli* et *P. aeruginosa*) et d'une seule souche à Gram positif (*B. subtilis*) aux NpSnO₂. Nos résultats sont en accord avec les résultats obtenus par **Haq et al., (2018)**, qu'ils ont signalé une forte activité antibactérienne des nanoparticules de SnO₂ contre des souches bactériennes à gram négatif (*E. coli* et *P. aeruginosa*) par rapport aux souches bactériennes à gram positif (*S. aureus*). Ces résultats s'expliquent par les différences dans la structure chimique de la paroi des deux types de bactéries (**Haq et al., 2018**) .

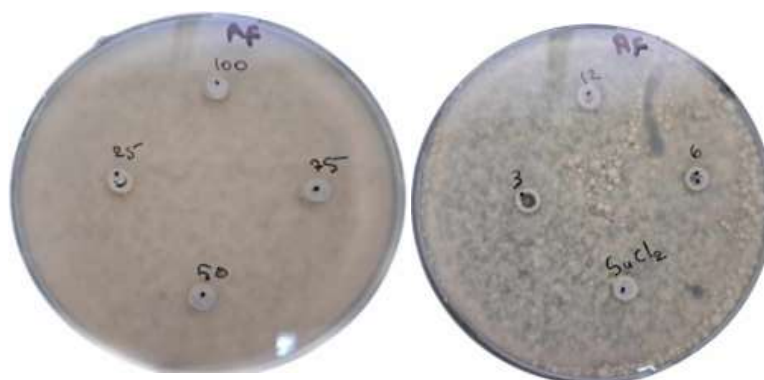
Des résultats de l'activité antibactérienne des NpSnO₂ synthétisées à base d'extrait aqueux des feuilles de *Morinda citrifolia* ont montré une sensibilité des souches *E. coli* et *S. aureus* à ces NpSnO₂ (**Elamin et al., 2023**). Dans une autre étude présentée par **Kumari et Philip,**

(2015), des NpSnO₂ préparées par l'utilisation d'un extrait aqueux des graines de grenade ont présenté une forte activité antibactérienne contre *E. coli*. **Abirami et al., (2023)** ont également obtenu une activité antibactérienne des NpSnO₂ synthétisées à partir des feuilles de *P. lentiscus* contre les souches bactériennes *E. coli*, *P. aeruginosa* et *B. subtilis*. Des NpSnO₂ synthétisées à l'aide d'argile montmorillonite activée par l'acide (AT-Mont.) ont montré également des activités antibactériennes contre *S. aureus* et *P. vulgaris* (**Phukan et al., 2017**).

Nous suggérons que l'effet des NpSnO₂ varie selon la concentration utilisée et la souche bactérienne testée. Selon **Vidhu et Philip, 2015**, les NpSnO₂ interagissent efficacement avec la membrane cellulaire et détruisent les bactéries. L'action biocide de ces NpSnO₂ implique une perturbation membranaire avec un taux élevé de production d'espèces réactives d'oxygènes à la surface, ce qui conduit finalement à la mort de l'agent pathogène (**Abirami et al., 2023**). Cette action a également une relation avec la taille des NpSnO₂, plus leur taille est petite, plus leur activité antibactérienne augmente. La taille réduite des NPs leur permet de traverser la paroi cellulaire puis détruire les structures internes des bactéries (**Fatimah et al., 2021**).

II.5.2. Evaluation de l'activité antifongique des NpSnO₂

L'évaluation de l'activité antifongique des NpSnO₂ synthétisées à l'aide d'un extrait hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus* a été réalisée par la méthode de diffusion des puits sur un milieu PDA semi solide contre *Candida albicans*, *Aspergillus flavus*, *Penicillium expansum* et *Umbelopsis ramanniana*.



A

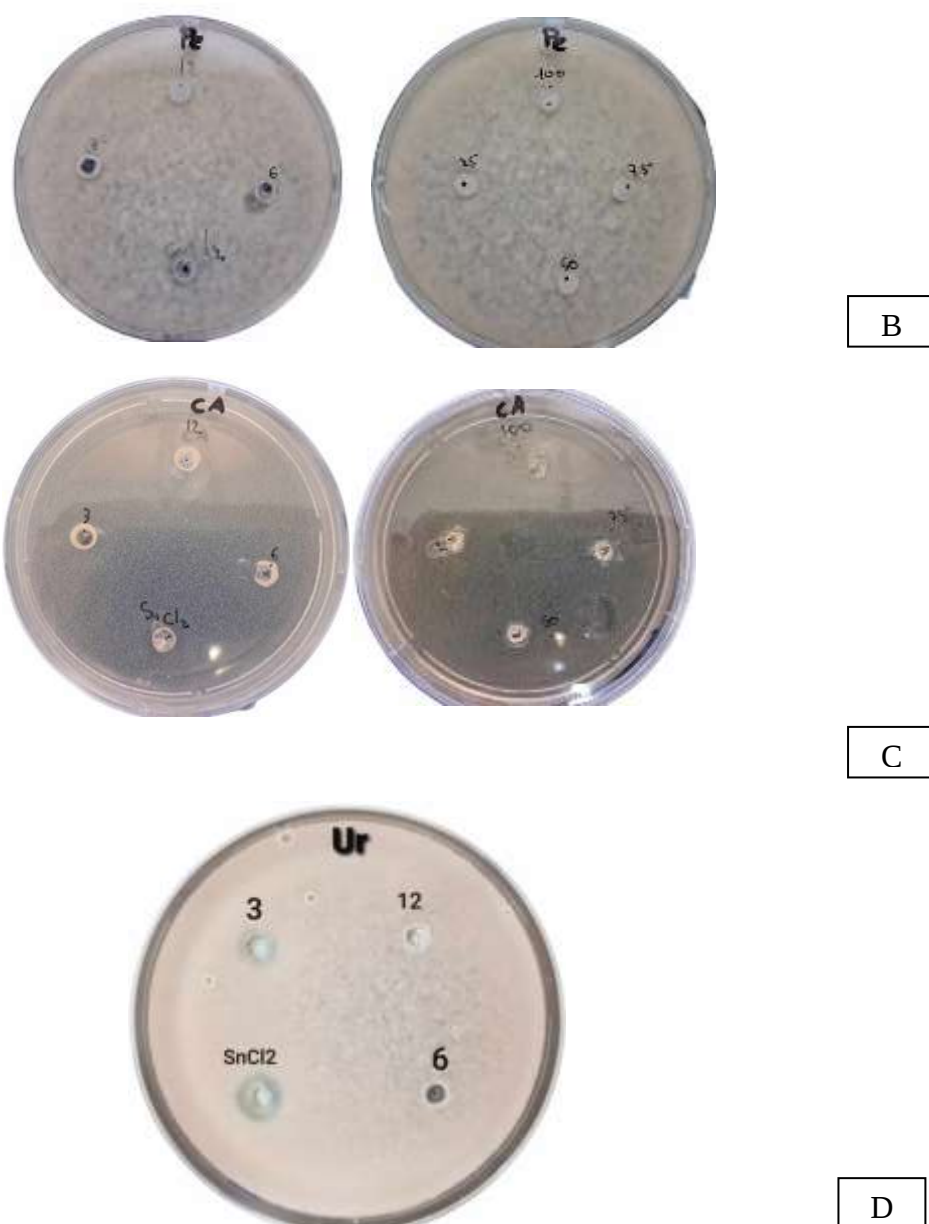


Figure 20 : Effet des NpSnO₂ sur la croissance des souches fongique.

Tableau 3 : Les résultats de l'activité antifongique des NpSnO₂.

[NpSnO ₂](mg/ml)	Diamètres des zones d'inhibition contre les bactéries			
	<i>A. flavus</i>	<i>U. ramanniana</i>	<i>P.expansum</i>	<i>C. albicans</i>
100	<6	<6	<6	<6

75	<6	<6	<6	<6
50	<6	<6	<6	<6
25	<6	<6	<6	<6
12	<6	<6	<6	<6
6	<6	<6	<6	<6
3	<6	9 mm	<6	<6
SnCl ₂	<6	17 mm	<6	<6

Les résultats de l'activité antifongique montrent que les NpSnO₂ n'ont présenté aucune activité antifongique contre les champignons testés (figure 20 et tableau 3) à l'exception de la souche *U. ramanniana* qui a manifesté une sensibilité pour de ces NpSnO₂ à une concentration de 3 mg/ml donnant une zone d'inhibition avec un diamètre de 9 mm.

Ces résultats sont différents aux résultats trouvés par **Fakhri et al., (2015)** et **Dheyab et al., (2022)** qui ont trouvé une activité antifongique des Nps de SnO₂ vis-à-vis la souche fongique *C. albicans*. Ces NpSnO₂ ont montré également une activité contre *A. niger*, *A. flavus* et *C. albicans* dans d'autre travaux menés par **Gebreslassie et Gebretnsae, 2021** et **Haq et al., 2022**.

III.5.3. Evaluation de l'activité antioxydante des NpSnO₂

L'activité antioxydante des NpSnO₂ synthétisés à partir d'un extrait hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus* a été évaluée par la méthode de piégeage du radical libre de DPPH).

Après une incubation de 30 min, la couleur de DPPH reste violette à la présence des NpSnO₂ et même à des fortes concentrations mais nous avons remarqué que l'intensité de la couleur violet a diminué. Nos résultats sont différents à ceux trouvés par **Gorai, (2018)** qui a observé un changement de couleur de DPPH du violet foncé au jaune pâle en présences des NpSnO₂.

La figure 21 représente une courbe des variations du pourcentage d'inhibition en fonction des différentes concentrations des NpSnO₂.

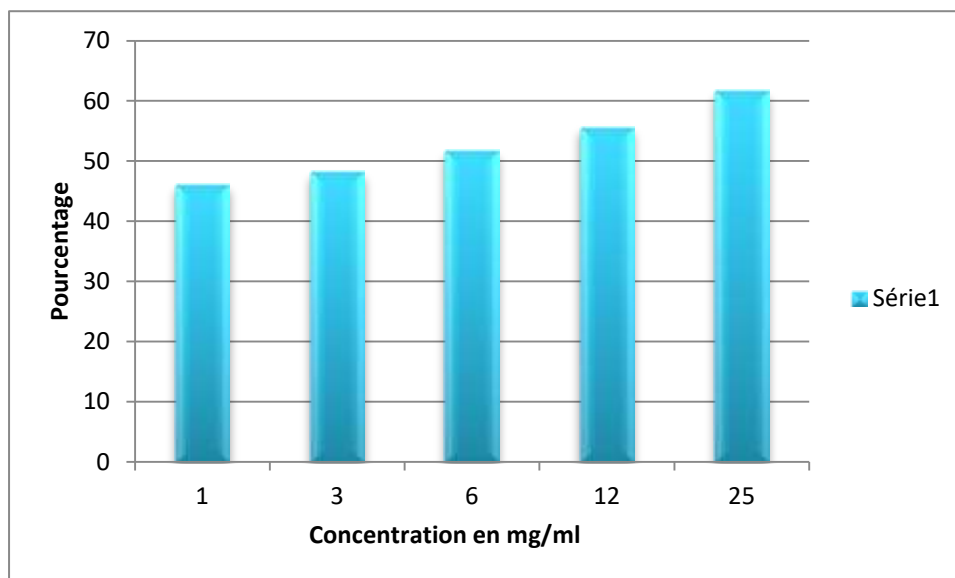


Figure 21 : Variations du pourcentage d’inhibition en fonction des différentes concentrations des NpSnO₂.

D’après les résultats représentés dans la figure 21, nous remarquons que ces NpSnO₂ ont montré une activité antioxydante moyenne et atteint son maximum d’activité à 25 mg/ml avec un pourcentage d’inhibition de 61,8 % et une IC₅₀ de 5 mg/ml; nous remarquons également que l’activité antioxydante augmente avec l’augmentation de la concentration des NpSnO₂.

L’étude menée par **Haq et al., (2021)**, a montré que les NpSnO₂ synthétisées en utilisant la méthode de microémulsion se sont révélés être de puissants inhibiteurs des radicaux libres DPPH, avec une valeur de l’IC₅₀ de 1,50 µg/ml. Dans une autre étude réalisée par **Hong et Jiang, 2017**, les chercheurs ont constaté que l’activité antioxydante des NpSnO₂ préparés à partir d'extrait de fruit de *Litsea cubeba* augmente avec l’augmentation de leur concentration et que l’ IC₅₀ était de 2257,4 µg/ml.

Selon **Vidhu et Philip, 2015**, les différences dans la puissance des NP à piéger des radicaux dépend de divers facteurs telles que la taille des particules, la morphologie, etc.

Conclusion

Conclusion

Dans ce mémoire nous avons élaboré des nanoparticules de dioxyde d'étain (NpSnO_2) en utilisant un procédé de synthèse verte à base d'extrait hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus*. L'extrait hydroéthanolique de cette plante médicinale était riche en biomolécules actives telles que les polyphénols et les flavonoïdes, ce qui explique sa forte activité antioxydante avec une IC_{50} de 0,0568 mg/ml.

La synthèse verte des nanoparticules de dioxyde d'étain à l'aide d'extrait hydroéthanolique des feuilles de *P. lentiscus* a été réalisée avec succès ce qui confirme l'effet antioxydant de cet extrait.

L'activité antibactérienne des NpSnO_2 a été plus forte contre *B. subtilis* et contre les souches bactériennes à gram négatif (*P. aeruginos*, *E. coli*) par rapport aux souches bactériennes à gram positif (*L. monocytogenes*, *S. aureus*). L'effet antibactérien dépend de la dose des NpSnO_2 et de la souche bactérienne ce qui nous laisse suggérer que le mode d'action des nanoparticules dépend de la composition de la paroi cellulaire de ces bactéries. Les NpSnO_2 n'ont présenté aucune activité antifongique contre les souches fongiques testées (*Candida albicans*, *Aspergillus flavus*, *Penicillium expansum*, *Umbelopsis ramanniana*) à l'exception de la souche *U. ramanniana* qui a manifesté une sensibilité à faible concentration. Les NpSnO_2 ont présenté une activité antioxydante modérée, qui augmente avec l'augmentation de la concentration des NpSnO_2 .

D'après ces résultats, ces nanoparticules peuvent être proposées pour être utilisées comme des agents antibactériens ou antioxydant dans les traitements, les détergents, les emballages, etc.

Enfin, comme suite à ce travail, nous proposons de caractériser ces NP par l'analyse spectrale UV-Visible, l'analyse de diffraction des rayons X, l'analyse FESEM et EDAX dans le but de déterminer la taille, la structure et la morphologie de ces Nps et confirmer expérimentalement les résultats trouvés sur des modèles animaux, tester ces Nps contre autres souches microbiennes et étudier l'activité anti-inflammatoire et anti biofilm de ces Nps.

***Références
bibliographique***

Références *bibliographique*

- Abdeldjelil M., Bensegueni A., Messaï A., Agabou A., Benazzouz H. Medicinal use of Pistacia lentiscus fixed oil in Constantine province, north-east Algeria. *J. Nat. Prod. Plant Resour* 4 (2014) :48-51.
- Anandan, C., & Rajendran, N. (2015). Electrochemical behavior and effect of heat treatment on morphology, crystalline structure of self-organized TiO₂ nanotube arrays on Ti–6Al–7Nb for biomedical applications. *Materials Science and Engineering: C*, 50, 394-401.
- Banu, A., Barman, S., Sinha, B., & Sikdar, S. (2023). Synthesis of tetragonal SnO₂ photocatalyst for Micro-structural analysis and visible light driven Fenton-like degradation of Methylene Blue. *ChemistrySelect*, 8(18), e202204796.
- Berra, D. (2020). *Synthèse verte et caractérisation de nanoparticules métalliques par l'extrait des feuilles de Phoenix Dactylifera L et leur activités biologiques*. Thèse de doctorat Université de Eloued.
- Boizot N., Charpentier J.-P. (2006) Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. Le Cahier des Techniques de l'INRA, In: Numéro spécial:79-82.
- Bouaziz, A., Bentahar, A., Djidel, S., Dahamna, S., & Khenouf, S. (2020). In vitro antioxidant activity and gastroprotective effect of ethanolic extract from Cucumis melo L. var. inodorus fruit on ethanol-induced gastric ulcer in rats. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 10(5-s), 302-307.
- Boudjelal, A., Napoli, E., Benkhaled, A., Benazi, L., Bey, R., Gentile, D., & Ruberto, G. (2022). In vivo wound healing effect of Italian and Algerian Pistacia vera L. resins. *Fitoterapia*, 159, 105197.
- Chauvel R. (2018) Application des nanoparticules d'argent en thérapeutique. Thèse de doctorat. Université Claude Bernard - Lyon 1.
- Cheurfa, M., & Allem, R. (2015). Study of hypocholesterolemic activity of Algerian Pistacia lentiscus leaves extracts in vivo. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 25, 142-144.
- Chouard C.-H., Cabanis E.-A., Chambron J., Milgrom E., Adolphe M., Ardaillou R., Aurengo A., Bach J.-F., Battin J., Baulieu É.-É. (2008) Nanosciences et médecine. Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine 192:1253-1259.
- Chuto G., Chaumet-Riffaud P. (2010) Les nanoparticules. *Médecine Nucléaire* 34:370-376.
- Dheyab, M. A., Aziz, A. A., Jameel, M. S., & Oladzadabbasabadi, N. (2022). Recent advances in synthesis, modification, and potential application of tin oxide nanoparticles. *Surfaces and Interfaces*, 28, 101677.
- Djedaia, M. S. (2017). Etude physico-chimique et caractérisation du fruit de la plante lentisque (Pistacia Lentiscus L.). Thèse de doctorat en Sciences Option : chimie Analytique et Physique. *Université Badji Mokhtar-Annaba*.
- Djeghboub W., Keghouche N. (2010) Nanoparticules d'or et d'argent déposées sur oxyde de cérium synthétisées sous irradiation. Magister en Physique Option: Semi Conducteurs. Université Mentouri-Constantine.
- Djerrou Z., Djaalab H., Riachi F., Serakta M., Chettou A., Maameri Z., Boutobza B., Hamdi-Pacha Y. (2013) Irritantcy potential and sub acute dermal toxicity study of Pistacia lentiscus fatty oil as a topical traditional remedy. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines* 10:480-489.
- Dominique C.H., Yves H. (2004) Etude prospective sur les nanomatériaux. DIGITIP synthèse, France.
- EALIA, S. Anu Mary et SARAVANAKUMAR, Manickam Puratchiveeran. A review on the classification, characterisation, synthesis of nanoparticles and their application. In

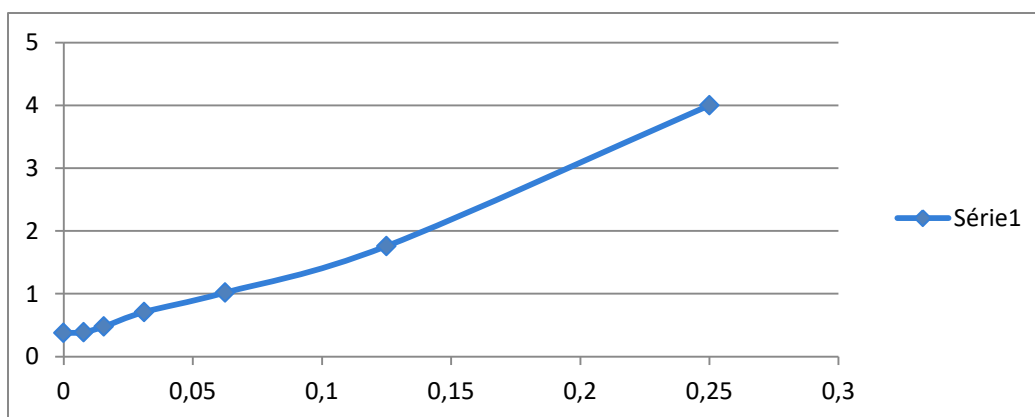
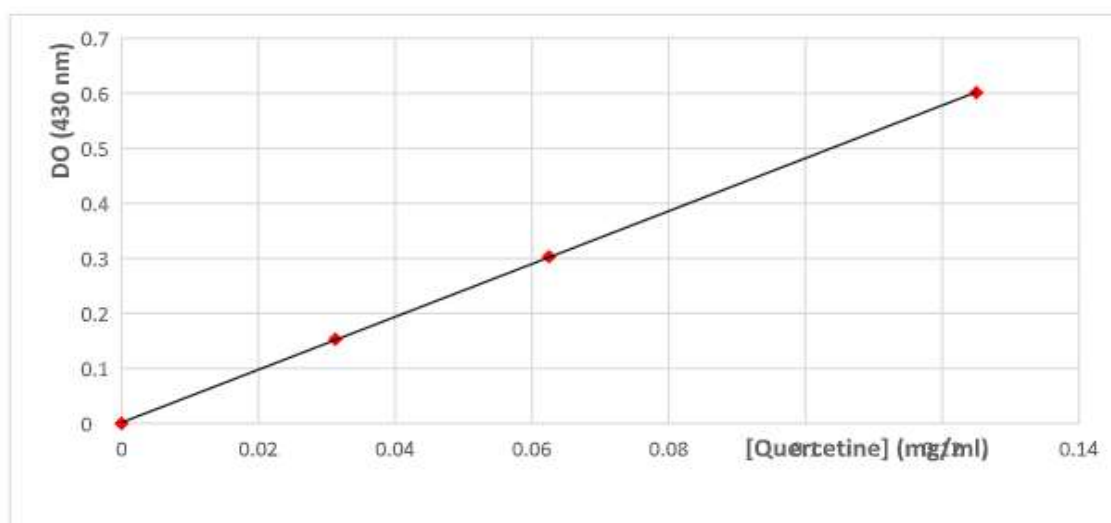
- : *IOP conference series: materials science and engineering*. IOP Publishing, 2017. p. 032019.
- Elamin, N. Y., Indumathi, T., & Kumar, E. R. (2023). Evaluation of physicochemical and biological properties of SnO₂ and Fe doped SnO₂ nanoparticles. *Ceramics International*, 49(2), 2388-2393.
- Elango G., Kumaran S.M., Kumar S.S., Muthuraja S., Roopan S.M. (2015) Green synthesis of SnO₂ nanoparticles and its photocatalytic activity of phenolsulfonphthalein dye. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 145:176-180.
- Fakhri, A., Behrouz, S., & Pourmand, M. (2015). Synthesis, photocatalytic and antimicrobial properties of SnO₂, SnS₂ and SnO₂/SnS₂ nanostructure. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 149, 45-50.
- Fatimah, I., Purwiandono, G., Hidayat, H., Sagadevan, S., Ghazali, S. A. I. S. M., Oh, W. C., & Doong, R. A. (2021). Flower-like SnO₂ nanoparticle biofabrication using *Pometia pinnata* leaf extract and study on its photocatalytic and antibacterial activities. *Nanomaterials*, 11(11), 3012.
- Ferradji A. (2018) Activités antioxydante et anti-inflammatoire des extraits alcooliques et aqueux des feuilles et des baies de pistacia lentiscus. Magister en biochimie: biochimie appliquée. Université Ferhat Abbas –Sétif.
- Gaffet E. (2008) Nanomatériaux: différentes voies de synthèse, propriétés, applications et marchés. *Actualité et dossier en santé publique* 64:183.
- Gebreslassie Y.T., Gebretnsae H.G. (2021) Green and cost-effective synthesis of tin oxide nanoparticles: a review on the synthesis methodologies, mechanism of formation, and their potential applications. *Nanoscale research letters* 16:97.
- Gorai S. (2018) Bio-based synthesis and applications of SnO₂ nanoparticles-an overview. *J. Mater. Environ. Sci* 9.
- Gowri, S., Gandhi, R. R., & Sundrarajan, M. (2013). Green synthesis of tin oxide nanoparticles by aloe vera: structural, optical and antibacterial properties. *Journal of nanoelectronics and optoelectronics*, 8(3), 240-249.
- Haq S., Ahmad P., Khandaker M.U., Faruque M., Rehman W., Waseem M., Din S.U. (2021) Antibacterial, antioxidant and physicochemical investigations of tin dioxide nanoparticles synthesized via microemulsion method. *Materials Research Express* 8:035013.
- Haya S., Halimi O. (2018) Elaboration des nanostructures de semi-conducteur SnO₂ dopé au Strontium et étude de leurs propriétés structurales, optiques et photocatalytiques. Thèse de doctorat en sciences en physique: Cristallographie. Université Frères Mentouri-Constantine 1.
- Hemma, R., Belhadj, S., Ouahchia, C., & Saidi, F. (2018). antioxidant activity of Pistacia lentiscus methanolic extracts. *Revue agrobiologia*, 8(1), 845-852.
- Hong G.-B., Jiang C.-J. (2017) Synthesis of SnO₂ nanoparticles using extracts from Litsea cubeba fruits. *Materials Letters* 194:164-167.
- Ijaz I., Gilani E., Nazir A., Bukhari A. (2020) Detail review on chemical, physical and green synthesis, classification, characterizations and applications of nanoparticles. *Green Chemistry Letters and Reviews* 13:223-245.
- ISO/TR. (2017) Nanotechnologies - Eplication en langage simple des termes choisis de la séries de normes ISO/IEC 80004.
- Kedare S.B., Singh R. (2011) Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. *Journal of food science and technology* 48:412-422.
- Kumari, M. M., & Philip, D. (2015). Synthesis of biogenic SnO₂ nanoparticles and evaluation of thermal, rheological, antibacterial and antioxidant activities. *Powder Technology*, 270, 312-319.

- Maameri-Habibatni Z. (2014) *Pistacia lentiscus* L.: Evaluation pharmacotoxicologique, Thèse de Doctorat en Sciences. Université Constantine 1, Algérie.
- Maameri Z., Djerrou Z., Habibatni S., Riachi F., Djaalab H., Pacha Y.H. (2016) Physicochemical characteristics and sub chronic oral toxicity of *Pistacia lentiscus* L. vegetable oil in rabbits. *OnLine Journal of Biological Sciences* 16:43-48.
- Phukan, A., Bhattacharjee, R. P., & Dutta, D. K. (2017). Stabilization of SnO₂ nanoparticles into the nanopores of modified Montmorillonite and their antibacterial activity. *Advanced Powder Technology*, 28(1), 139-145.
- Rauf A., Patel S., Uddin G., Siddiqui B.S., Ahmad B., Muhammad N., Mabkhot Y.N., Hadda T.B. (2017) Phytochemical, ethnomedicinal uses and pharmacological profile of genus *Pistacia*. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 86:393-404.
- Ren E., Zhang C., Li D., Pang X., Liu G. (2020) Leveraging metal oxide nanoparticles for bacteria tracing and eradicating. *View* 1:20200052.
- Rogé V. (2015) Etude, fabrication et caractérisation de nanostructures catalytiques de type ZnO/SnO₂ intégrées à des membranes modèles pour la dépollution de l'eau. Thèse de doctorat en chimie. Université de Strasbourg.
- Tayeb M.B. (2017) Contribution à la connaissance de l'effet bactéricide et la cytotoxicité des oxydes nanocristallins. Thèse de doctorat en chimie. Université Badji Mokhtar-Annaba.
- THAKUR, Preeti et THAKUR, Atul. Nanomaterials, their types and properties. In : *Synthesis and Applications of Nanoparticles*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. p. 19-44.
- Vidhu, V. K. et Philip, Daizy. Phytosynthesis and applications of bioactive SnO₂ nanoparticles. *Materials Characterization*, 2015, vol. 101, p. 97-105.
- Wang X., Fan H., Ren P. (2012) UV light-assisted synthesis of coral SnO₂: characterization and its enhanced photocatalytic properties. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 402:53-59.

Annexe

Tableau 4: tableau des matériels utilisés.

Milieux de culture	Produits chimiques
Muller Hinton liquide et semi solide , PDA(potato dextrose agar) semi solide, Sabouraud	Ethanol 70%, Méthanol, DMSO, acide ascorbique, $AlCl_3$, DPPH, Acide gallique, carbonate de sodium , quercétine, MTT,..etc.

**Figure 22 :Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.****Figure 23: courbe de l'absorbance de la quercétine en fonction de ses concentrations.**