

**République Algérienne Démocratique et Populaire**

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la

Recherche Scientifique

Université de Blida 1

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

**Mémoire de fin d'étude**

**En vue d'obtention du diplôme de Master**

**Domaine** : Sciences de la Nature et de la Vie.

**Filière** : Biologie.

**Spécialité** : Microbiologie.

**Thème** :

**Etude de l'activité antimicrobienne des nanoparticules  
biosynthétisées à l'aide d'un extrait de plante.**

**Réalisé par : BERKANI Ines.**

**BOUCHAM Lamia.**

Soutenu le 18/09/2023 devant le jury composé de :

<b>Pr. GUITARNI. D</b>	<b>Pr</b>	<b>Président</b>	<b>Université de Blida 1</b>
<b>Dr. BENHOUNA. I</b>	<b>MCB</b>	<b>Examineur</b>	<b>Université de Blida 1</b>
<b>Dr. LAASSAMI. A</b>	<b>MAB</b>	<b>Promoteur</b>	<b>ENS de Kouba.</b>
<b>Dr. CHELGHOUM. H</b>	<b>MCB</b>	<b>Co- promoteur</b>	<b>Université de Blida.</b>

**Année universitaire: 2022/2023.**

## Remerciement

D'abord, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à *Allah* pour son soutien inestimable tout au long de notre parcours. Le bon Dieu a été la source de notre force et de notre inspiration.

Nous souhaitons également adresser nos remerciements les plus sincères aux membres du jury, Monsieur *GUITARNI* et Madame *BENHOUNA*, qui ont évalué notre travail. Étant donné que nous avons également été vos étudiants, c'est l'occasion pour nous de vous remercier pour votre expertise et vos commentaires constructifs qui ont grandement contribué à notre développement académique. Nous sommes honorés d'avoir pu bénéficier de votre temps et de votre expertise.

Ensuite, nous tenons à exprimer notre reconnaissance envers Madame *CHELGHOU*M et Madame *LAASSAMI*. Votre disponibilité, votre dévouement, votre expertise et votre soutien constant ont été essentiels pour mener à bien nos recherches. Votre encouragement et vos conseils ont été inestimables. Vous avez été pour nous plus que des promoteurs, vous êtes des mentors. Merci pour tout.

Nous souhaitons également exprimer notre reconnaissance envers le personnel du laboratoire des systèmes microbiens, notamment l'ingénieur du laboratoire, Madame *Sounia*, et la doctorante *Fella*, ainsi que tout le staff. Nous tenons également à remercier Monsieur *Youcef*, Madame *Houria* et Madame *Hassina*, les ingénieurs de laboratoire au niveau des laboratoires pédagogiques de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie à l'université de Blida. Merci d'avoir offert aux étudiants votre sourire et votre gentillesse.

Enfin, nous tenons à remercier notre chef d'option, Madame *HAMAIDI*, qui a été une mère pour nous tous pendant ces 3 années de spécialité, ainsi que notre *Promotion de Microbiologie 2018*. Vous êtes les meilleures.

Nous sommes sincèrement reconnaissants envers chacun d'entre vous. Votre soutien et votre contribution ont été essentiels pour notre parcours académique, et nous sommes honorés de pouvoir compter sur vous.

Avec une gratitude sincère,

*Ines & Lamia..♥♥*

## **Dédicace**

*Toutes les lettres ne sauraient trouver*

*Les mots qu'il faut...*

*Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect*

*Et la reconnaissance*

*... Aussi, c'est tout simplement que*

**Je dédie ce mémoire à ...**

**Mon héros : papa**

*A celui qui m'a aidé à découvrir le 'savoir' le trésor inépuisable.*

*De tous les pères, tu as été le meilleur, tu as su m'entourer*

*D'attention, m'inculquer les valeurs nobles de la vie, m'apprendre le sens du travail, de l'honnêteté et de la responsabilité.*

*Merci d'avoir été toujours là pour moi, un grand soutien tout au long de mes études.*

*Je te dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester ta fierté et ne jamais te décevoir.*

*Que Dieu te garde pour moi mon roi que j'aime énormément.*

**Mon soleil, ma mère**

*Le Symbole de la tendresse, du courage, de la responsabilité et de l'amour*

*Tu as su m'inculquer le sens de la responsabilité et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie .Tu as toujours été présente à mes cotés pour me consoler quand il faillait.*

*Que Dieu te garde pour nous maman et qu'il m'aide à te récompenser pour tous tes sacrifices.*

**Mon binôme et ma chère amie, Ines**

*A tous nos souvenirs de faculté, de rires et parfois de larmes...*

*Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour t'exprimer mon affection et mes pensées, t'es pour moi une sœur et une amie sur qui je peux compter. En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je te souhaite une vie pleine de santé, bonheur et de succès.*

*J'espère que notre amitié reste à jamais.*

**Lamia**

## Dédicace

*To my beloved mother, father, two wonderful sisters, caring grandmother, extended family, and friends, I wanted to take a moment to express my deepest gratitude and appreciation for all that you are in my life. Each of you holds a special place in my heart, and i'm truly blessed to have such incredible individuals surrounding me.*

***My mother**, you are my guiding light, my source of strength, and my constant support. Your unwavering love and selflessness have shaped me into the person i'm today. Your nurturing nature and endless sacrifices inspire me to reach for the stars and never give up. I am forever grateful for your presence in my life.*

***My father**, you are my role model, my mentor, and my rock. Your wisdom, guidance, and unwavering belief in me have given me the confidence to pursue my dreams. Your unconditional love and unwavering support have provided me with a solid foundation. I am eternally grateful for everything you have done for me.*

*To my two sisters **Chanez** and **Malek**, my wings that lift me higher. I cannot imagine my life without the two of you by my side. Together, you both complete me, providing the love, support, and friendship that I cherish. I am forever grateful to have you*

*To my incredible friend **Nina**, you have become an essential part of my life. Your unwavering loyalty, laughter, and companionship have filled my days with joy and happiness. Your presence in my life is a true blessing, and I am grateful for the countless memories we have created together.*

*To my binome **Lamia**, I am grateful for the opportunity to work alongside you. Your dedication, talent, and support have made this experience truly remarkable. Our partnership has brought out the best in both of us, and I am thankful for your contributions. Together, we have accomplished great things. Thank you for being an amazing binome.*

*In dedicating these words to all of you, I want to express my profound gratitude and love. You have shaped my journey, supported my dreams, and brought immense joy and happiness into my life. Without each of you, I would not be the person I am today. Thank you for everything you do and for being a part of my life's beautiful tapestry.*

**With all my love**

**Ines**

## Résumé

Les nanoparticules d'oxyde d'étain (SnO<sub>2</sub>NPs) sont devenues l'objet d'une attention croissante en raison de leur utilisation potentielle en tant qu'agents antimicrobiens. La méthode de synthèse verte utilisant des extraits de plantes a séduit les scientifiques en raison de son respect de l'environnement et de sa simplicité.

Dans notre étude, deux extraits hydro-éthanoliques ont été préparés à partir des feuilles et du zeste de *Citrus limon*, puis leur rendement d'extraction a été déterminé. Les résultats obtenus ont montré que le rendement d'extraction était plus élevé pour l'extrait hydro-éthanolique du zeste (12,18 %), suivi par le rendement de l'extrait hydro-éthanolique des feuilles (5,6 %).

Par la suite, les SnO<sub>2</sub>Nps ont été biosynthétisées en utilisant les extraits hydro-éthanoliques des feuilles ou du zeste de *C. limon* comme des agents réducteurs. Nous avons remarqué un changement de couleur des deux solutions au cours de la biosynthèse, passant du blanc au jaune pâle, ce qui indique la réduction des Sn<sup>2+</sup> en Sn<sup>0</sup>. L'activité antimicrobienne des deux types de nanoparticules de SnO<sub>2</sub> a été déterminée par la méthode de diffusion de puits, avec des concentrations allant de 1 à 100 mg/ml, vis-à-vis de quatre souches bactériennes, y compris *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*. Les résultats de cette activité ont montré des zones d'inhibition significatives contre deux souches bactériennes à Gram négatif (*E. coli* et *P. aeruginosa*), ainsi que contre une souche à Gram positif (*B. subtilis*). De plus, nos résultats ont mis en évidence que les nanoparticules de SnO<sub>2</sub> issues de l'extrait des feuilles de *C. limon* ont démontré une activité antibactérienne plus puissante que celles synthétisées à partir du zeste. Cependant, *S. aureus*, *L. monocytogenes* ont présenté une résistance envers les deux types de nanoparticules de SnO<sub>2</sub>. Nos résultats suggèrent que les nanoparticules de SnO<sub>2</sub> ont une utilité plus importante en tant qu'agents antibactériens.

**Mots clés :** nanoparticules de SnO<sub>2</sub>, biosynthèse, *Citrus limon*, antibactérienne.

## Abstract

Tin oxide nanoparticles (SnO<sub>2</sub>NPs) have garnered increasing attention due to their potential use as antimicrobial agents. The green synthesis method using plant extracts has attracted scientists due to its environmental friendliness and simplicity.

In our study, two hydro-ethanolic extracts were prepared from the leaves and zest of *Citrus limon*, and their extraction yields were determined. The results showed that the extraction yield was higher for the hydro-ethanolic extract of the zest (12.18%), followed by the extraction yield of the hydro-ethanolic extract from the leaves (5.6%).

Subsequently, SnO<sub>2</sub>NPs were biosynthesized using the hydro-ethanolic extracts from the leaves or zest of *C. limon* as reducing agents. We observed a color change in both solutions during biosynthesis, transitioning from white to pale yellow, indicating the reduction of Sn<sup>2+</sup> to Sn<sup>0</sup>. The antimicrobial activity of the two types of SnO<sub>2</sub> nanoparticles was determined using the well diffusion method, with concentrations ranging from 1 to 100 mg/ml, against four bacterial strains, including *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*. The results of this activity showed significant inhibition zones against two Gram-negative bacterial strains (*E. coli* and *P. aeruginosa*), as well as one Gram-positive strain (*B. subtilis*). Furthermore, our results highlighted that SnO<sub>2</sub> nanoparticles derived from the leaves of *C. limon* demonstrated stronger antibacterial activity than those synthesized from the zest.

However, *S. aureus*, *L. monocytogenes* exhibited resistance to both types of SnO<sub>2</sub> nanoparticles. Our findings suggest that SnO<sub>2</sub> nanoparticles have a more significant utility as antibacterial agents.

**Keywords:** SnO<sub>2</sub> nanoparticles, biosynthesis, *Citrus limon*, antibacterial.

## ملخص

كسبت جسيمات أكسيد القصدير  $\text{SnO}_2$  اهتمامًا متزايدًا بسبب إمكانية استخدامها كمواد مضادة للميكروبات. وتعتبر طريقة التركيب الخضراء باستخدام مستخلصات نباتية طريقة مثيرة للاهتمام من طرف العلماء بسبب احترامها للبيئة وبساطتها. في دراستنا هذه، تم تحضير مستخلصين هيدرو إيثانوليين من أوراق وقشر الليمون (*Citrus limon*)، ثم تم تحديد عائد استخراجهما. أظهرت النتائج أن عائد الاستخراج كان أعلى لمستخلص قشر الليمون هيدرو إيثانولي (12.18%)، تلاه عائد مستخلص أوراقه هيدرو إيثانولي (5.6%). بعد ذلك تم تحديد النشاط المضاد للأكسدة للمستخلصين هيدرو إيثانولي باستخدام طريقة اصطياد DPPH. أشارت النتائج إلى أن مستخلص قشر الليمون هيدرو إيثانولي أظهر نشاطًا مضادًا للأكسدة أقوى  $\text{IC}_{50} = 0.115$  ملغ/مل من مستخلص الأوراق  $\text{IC}_{50} = 0.872$  ملغ/مل.

بعد ذلك، تم تركيب جسيمات  $\text{NpsSnO}_2$  باستخدام مستخلصين هيدرو إيثانوليين من أوراق أو قشر الليمون *Citrus limon* كعوامل مختزلة. لاحظنا تغييرًا في لون المحلولين خلال عملية التركيب، انتقالًا من اللون الأبيض إلى اللون الأصفر الفاتح، مما يشير إلى انخفاض أيون القصدير  $\text{Sn}^{2+}$  إلى  $\text{Sn}^0$ . تم تحديد النشاط المضاد للميكروبات للنوعين السابقين من الجسيمات النانوية بتراكيز تتراوح بين 1 و100 ملغ/مل  $\text{SnO}_2$  باستخدام طريقة انتشار البئر، ضد أربعة سلالات بكتيرية: *Pseudomonas aeruginosa* و *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* أظهرت نتائج هذا النشاط أن هنالك تثبيط لسلالتين بكتيريتين ذات سالبية الجرام *E. coli* و *P. aeruginosa* بالإضافة إلى سلالة واحدة موجبة الجرام *B. subtilis*. بالإضافة إلى ذلك، أبرزت نتائجنا أن جسيمات  $\text{SnO}_2$  المستمدة من مستخلص أوراق الليمون *Citrus limon* أظهرت نشاطًا مضادًا للبكتيريا أقوى من تلك التي تم تركيبها من القشور. أظهرت هذه النتائج أيضًا مقاومة من قبل السلالات البكتيرية *S. aureus* و *L. monocytogenes* اتجاه كلا أنواع جسيمات  $\text{NpsSnO}_2$ .

**الكلمات المفتاحية:** نانوجسيمات  $\text{SnO}_2$ ، التركيب الحيوي، حامض الليمون، مضاد للبكتيريا.

## Table des matières

Remerciement.....	1
<i>Dédicace</i> .....	2
Dédicace .....	3
Résumé.....	4
Abstract.....	5
ملخص .....	6
<i>Table des matières</i> .....	7
<i>Liste des figures</i> .....	9
<i>Liste de tableaux</i> .....	10
<i>Liste d'abréviations</i> .....	11
Introduction.....	1
I. Synthèse bibliographique .....	3
I.1. Nanomatériaux.....	3
I.1.1. Définition des nanomatériaux .....	3
I.1.2. Classification des nanomatériaux .....	3
I.2. Nanoparticules .....	5
I.2.1. Définition des nanoparticules .....	5
I.2.2. Classification des nanoparticules .....	5
I.2.3. Méthode de synthèse des nanoparticules .....	7
I. 2.3.1. La méthode Top down .....	7
I.2.3.2. La méthode Bottom-UP .....	8
I.2.4. Les nanoparticules de SnO <sub>2</sub> .....	9
I.2.4.1. Application biologique des nanoparticules de SnO <sub>2</sub> .....	9
I.2.4.2. Mécanisme antimicrobien des nanoparticules de SnO <sub>2</sub> .....	10
I.3. Présentation de la plante étudiée .....	12
II. Matériel et méthodes.....	13
II.1. Matériel .....	13
II.2. Méthodes .....	13

II.2.1. Préparation des poudres des feuilles et des fruits de <i>C. limon</i> : .....	13
II.2.2. Préparation de l'extrait hydro-éthanolique des feuilles de <i>Citrus limon</i> .....	14
II.2.3. Préparation de l'extrait hydro-éthanolique du zeste de <i>Citrus limon</i> .....	15
II.2.4. Biosynthèse des nanoparticules d'oxyde d'étain (SnO <sub>2</sub> ).....	17
II.2.5. Evaluation de l'activité antimicrobienne des nanoparticules de SnO <sub>2</sub> biosynthétisées à l'aide des extraits hydro-éthanoliques des feuilles et du zeste de <i>Citrus limon</i> .....	18
II.2.5.1. Evaluation de l'activité antibactérienne des nanoparticules de SnO <sub>2</sub> .....	18
Résultats et discussion.....	21
III.1. Évaluation du rendement de l'extraction hydro-éthanolique des feuilles et du zeste de <i>C. limon</i> .....	21
III.3. Activité antimicrobienne des nanoparticules de SnO <sub>2</sub> .....	23
III.3.1. Activité antibactérienne des nanoparticules de SnO <sub>2</sub> .....	23
Conclusion .....	32
Références bibliographique .....	34

### *Liste des figures*

<b>Figure 1 : Classification des nanomatériaux selon leurs dimensions .....</b>	<b>4</b>
<b>Figure 2 : La synthèse des Nps par BOTTOM UP et TOP DOWN . .....</b>	<b>7</b>
<b>Figure 3 : Mécanisme d'action des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> . .....</b>	<b>11</b>
<b>Figure 4 : Feuilles de <i>Citrus limon</i> après séchage et broyage en poudre fine. ....</b>	<b>13</b>
<b>Figure 5 : Zeste de <i>Citrus limon</i> après séchage et broyage en poudre fine. ....</b>	<b>14</b>
<b>Figure 6 : Agitation de l'extrait hydro-éthanolique des feuilles de <i>Citrus limon</i>. ....</b>	<b>14</b>
<b>Figure 7 : Filtration et conservation de l'extrait hydro-éthanolique des feuilles de <i>Citrus limon</i>. ....</b>	<b>15</b>
<b>Figure 8 : Agitation de l'extrait hydro-éthanolique du zeste de <i>Citrus limon</i>. ....</b>	<b>16</b>
<b>Figure 9 : Filtration et conservation de l'extrait hydro-éthanolique du zeste de <i>C.limon</i>. ....</b>	<b>16</b>
<b>Figure 10 : Protocole de la synthèse des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> à l'aide des extraits hydro-éthanoliques des feuilles et du zeste de <i>Citrus limon</i>. ....</b>	<b>17</b>
<b>Figure 11 : Les résultats des différentes étapes de la biosynthèse des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> à partir : (A) extrait des feuilles (B) extrait de zeste de <i>C.limon</i>. ....</b>	<b>22</b>
<b>Figure 12 : Activité antibactérienne des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> synthétisées à l'aide de l'extrait hydro-éthanolique du zeste de <i>C. limon</i>. ....</b>	<b>25</b>
<b>Figure 13 : Activité antibactérienne des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> synthétisées à l'aide de l'extrait hydro-éthanolique des feuilles de <i>C. limon</i>. ....</b>	<b>25</b>

*Liste des tableaux*

**Tableau 1 : Classification des nanoparticules en fonction de leur composition. .... 6**  
**Tableau 2 : Résultats de l'activité antibactérienne de NPs SnO<sub>2</sub> et de la gentamycine... 24**

### *Liste d'abréviations*

**NPs** : Nanoparticules.

**SnO<sub>2</sub>** : Nanoparticules d'oxyde d'étain.

**ISO** : Organisation International de Normalisation.

**EC** : Commission européenne.

**ROS** : Espèces réactives de l'oxygène.

**Sn<sup>4+</sup>** : Ions d'étain.

**Co<sup>2+</sup>** : Ions de dioxyde de carbone.

**Sn<sup>0</sup>** : étain dans son état d'oxydation.

**R** : Rendement.

**GEN** : Gentamicine.

**FT-IR** : Spectroscopie infrarouge à transformée de fourier.

**DRX** : Diffraction des Rayons X.

**MEB** : Microscopie électronique à balayage.

# *Introduction*

## **Introduction**

L'émergence des maladies infectieuses constitue l'une des principales causes de décès à travers le monde, malgré la disponibilité de nombreux médicaments sur le marché. Cela est dû au fait que de nombreux microorganismes sont devenus multi-résistants, ce qui nécessite une intensification de la thérapie antibiotique et le développement de nouvelles molécules antimicrobiennes, dont les nanoparticules (**Bismillah et al., 2021**). La nanotechnologie offre de nouvelles possibilités d'applications biologiques en modifiant les propriétés physiques et chimiques des substances naturelles. Ce domaine scientifique émergent implique l'utilisation de matériaux à l'échelle nanométrique, c'est-à-dire dont la taille varie de 1 à 100 nm. À cet égard, de nombreuses nanoparticules se sont révélées efficaces contre divers agents pathogènes, y compris les micro-organismes résistants aux antibiotiques (**Murat et Sumeyra, 2022**). En raison de leur petite taille, ces nanoparticules (NPs) possèdent des propriétés physicochimiques uniques et présentent une activité extraordinaire avec le potentiel de résoudre la plupart des problèmes de santé dans le monde (**Sohail et al., 2022**). Les nanoparticules de métaux et d'oxydes métalliques sont très demandées dans les industries chimiques, électroniques et pharmaceutiques. Parmi les nano-oxydes métalliques, l'oxyde d'étain (IV) joue un rôle très important dans les domaines de la détection de gaz, de la catalyse et en tant qu'oxyde conducteur transparent. Les différentes applications des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> sont attribuées à leur structure globale, à leurs propriétés de surface et d'interface. De nombreuses méthodes de synthèse sont disponibles pour la production d'oxyde d'étain (IV) à l'échelle nanométrique, mais la méthode de synthèse verte à partir d'extraits de plantes a séduit les chercheurs en raison de son approche simple et respectueuse de l'environnement (**Merlin et al., 2018**).

Notre travail vise à évaluer l'activité antimicrobienne des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> synthétisées à partir des extraits de feuilles et de zeste de *Citrus limon*, dans le but de proposer de nouvelles molécules présentant des effets antimicrobiens.

***Chapitre I:***  
***Synthèse bibliographique***

## **I. Synthèse bibliographique**

### **I.1. Nanomatériaux**

#### **I.1.1. Définition des nanomatériaux**

La nanotechnologie, également appelée nanoscience, est une discipline scientifique innovante qui vise à manipuler et à contrôler des matériaux à l'échelle atomique ou moléculaire, dans l'ordre de grandeur allant de 1 à 100 nm. Ces nanostructures présentent des propriétés physiques, catalytiques et optiques améliorées qui ont des impacts dans de nombreux secteurs, tels que l'électronique, la biotechnologie, la biologie et l'agriculture (**Koul *et al.*, 2021**).

Les nanomatériaux constituent l'élément fondamental de la nanotechnologie, la commission européenne a défini un nanomatériau comme : « un matériau naturel, accidentel ou manufacturé contenant des particules à l'état non lié ou sous la forme d'un agrégat ou d'un agglomérat et dans lequel 50 % ou plus des particules ont une dimension externe comprise entre 1 nm et 100 nm » (**EC, 2022**). L'organisation internationale de normalisation (ISO) classe les nanomatériaux en deux grandes familles : les matériaux nanostructurés, qui comprennent les matériaux ayant une structure interne ou externe à l'échelle nanométrique, et les nano-objets, dont au moins une des dimensions externes est à l'échelle nanométrique (**ISO, 2015**).

#### **I.1.2. Classification des nanomatériaux**

Selon les recherches menées par **Barhoum *et al.*, (2022)** et **Lobnik *et al.*, (2010)**, les nanomatériaux se distinguent par leur taille, leur forme, leur composition, leur porosité et leur uniformité, ce qui permet de les classer de différentes manières. En fonction de leur provenance, les nanomatériaux peuvent être soit naturels, accidentels ou synthétiques. En ce qui concerne leur taille, la réduction des dimensions d'un matériau à l'échelle nanométrique modifie qualitativement ses propriétés physico-chimiques, dont leur réactivité chimique, leur conductivité électrique, leur propriété optique et mécanique en raison de l'augmentation du rapport surface/volume. D'où on trouve les quatre principales classes : des nanomatériaux à 0 dimension (0D), les nanomatériaux unidimensionnels (1D), les nanomatériaux bidimensionnels (2D) et les nanomatériaux tridimensionnels (3D).

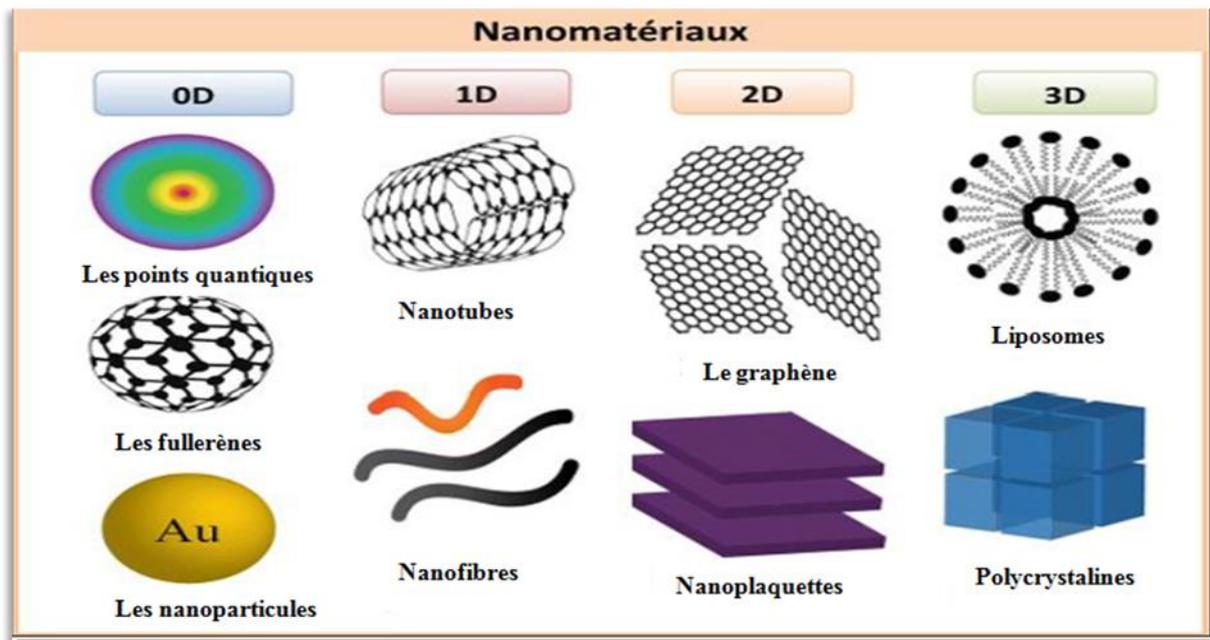
**-Nanomatériaux à 0 dimension (0D) :** sont des matériaux qui possèdent les trois dimensions dans l'échelle nanométrique. Ils comprennent des nanoparticules, des fullerènes et des points

quantiques qui ont des applications optoélectroniques et biomédicales significatives en raison de leur stabilité optique, photoluminescence et perméabilité cellulaire.

- **Nanomatériaux unidimensionnels (1D)** : ces matériaux n'ont qu'une seule dimension en dehors de l'échelle nanométrique. Cela inclut les nanofibres, les nanotubes. Grâce à leur rapport d'aspect supérieur et à leur grande surface, ils sont utiles pour les nanocomposites.

- **Nanomatériaux bidimensionnels (2D)** : les nanomatériaux de cette classe ont deux dimensions en dehors de l'échelle nanométrique. Le graphène, les nanofilms, les nanofeuillets, les nanoplaquettes et les nanoclays sont des exemples de nanomatériaux avec 2D qui présentent des caractéristiques physiques, chimiques, optiques et biologiques uniques en raison de leurs formes uniformes, de leur rapport surface/volume élevé et de leur charge de surface.

- **Nanomatériaux tridimensionnels (3D)** : les trois dimensions des matériaux concernés par cette classe sont en dehors de la gamme des nanomètres. Elles ont toutes des dimensions supérieures à 100 nm. Ces structures de 3D complexes peuvent avoir des caractéristiques particulières et sont des composants importants des systèmes micro-électromécaniques, des dispositifs biomédicaux, de la robotique et des cellules solaires.



**Figure 1 : Classification des nanomatériaux selon leurs dimensions (Barhoum *et al.*, 2022).**

## **I.2. Nanoparticules**

### **I.2.1. Définition des nanoparticules**

Les nanoparticules (NPs) sont le noyau des nanomatériaux, définis comme des objets dont les trois dimensions sont à l'échelle nanométrique. Les nanoparticules ont des formes, des tailles et des structures différentes, elles peuvent être sphériques, cylindriques, tubulaires, coniques, à noyau creux, en spirale et plate. Leur surface peut être uniforme ou irrégulière avec des variations de surface. En raison de leur rapport surface/volume élevé, les nanoparticules ont des propriétés physiques, chimiques et biologiques uniques qui ont mené à leur utilisation dans différentes applications (Anu Mary et Saravanakumar, 2017 ; Mustapha *et al.*, 2022).

### **I.2.2. Classification des nanoparticules**

Les nanoparticules (NPs) font partie des structures qui présentent plusieurs applications possibles en fonction de leur diversité en termes de propriétés physiques (dimensions, morphologie), chimiques (leur composition de base) et de leur origine, bien qu'elles partagent en commun leur taille réduite, qui est liée à leur rapport surface/volume élevé. Les nanoparticules peuvent être classées selon leur origine en 3 catégories : les Nps naturelles, accidentelles et synthétiques. Mais en général, elles sont classées en fonction de leur composition de base en : Nps organiques, à base de carbone et inorganiques (**tableau I**) (Joudeh et Linnk, 2022 ; Vassal *et al.*, 2022).

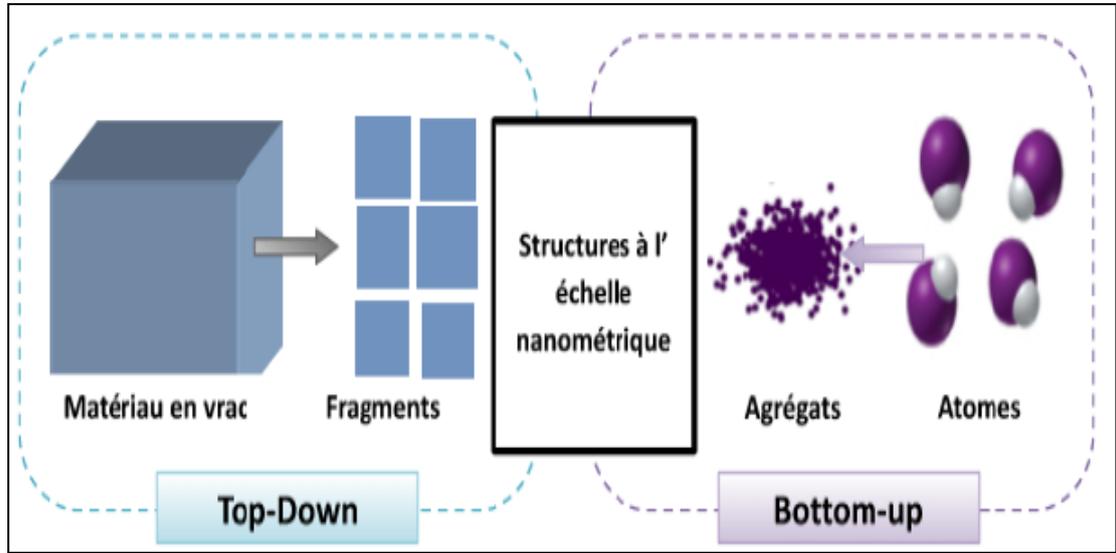
Tableau 1 : Classification des nanoparticules en fonction de leur composition.

Nanoparticules	Composition	Caractéristiques	Exemple	Application
<b>Nps organiques</b>	Protéines, lipides ou de tout autre composé organique.	-Non toxiques. -Biodégradables. -Sensibles aux rayonnements thermiques et électromagnétiques.	Dendrimères, liposomes et complexes protéiques.	-Le domaine biomédical pour l'administration ciblée des médicaments et le traitement du cancer.
<b>Nps à base du carbon</b>	Uniquement d'atomes de carbone.	-Une bonne affinité électronique. - Haute résistance.	-Les fullerènes.	-Le stockage d'énergie. -La bio-imagerie. -Les applications environnementales.
<b>Nps inorganique</b>	Composées inorganiques et non carbonées.	- Grande stabilité. - Propriétés optiques et propriétés thermiques, magnétiques et biologiques uniques.	-Nps métalliques. -Nps semi-conducteurs. -Nps céramiques.	-Le domaine biomédical. -Photocatalyseurs. -Dégradation des colorants.

(Joudeh et Linnk, 2022).

### I.2.3. Méthode de synthèse des nanoparticules

Selon **Rawat, (2015)**, les Nps peuvent être d'origine synthétique, dont la synthèse est basée sur deux approches différentes : la méthode TOP-DOWN et la méthode Bottom-UP (**Figure 02**).



**Figure 2 : La synthèse des Nps par BOTTOM UP et TOP DOWN (Rawat, 2015).**

#### I. 2.3.1. La méthode Top down

Cette méthode vise à dégrader le matériau en vrac en molécules plus petites qui seront transformées en nanoparticules par différentes approches physiques telles que : le broyage à billes, l'évaporation thermique, la pyrolyse par pulvérisation, les techniques lithographiques par ablation laser (**Ijaz et al., 2020**). La synthèse des nanoparticules métalliques par cette méthode est souvent lente et nécessite une forte consommation d'énergie, en particulier pour les techniques d'ablation au laser et au plasma. De plus, les larges distributions granulométriques, les sous-produits inutiles, la consommation d'énergie élevée et le temps de production lent rendent la plupart des méthodes physiques extrêmement coûteuses pour une application commerciale pratique. Par conséquent, même si cette méthode peut générer une grande quantité des nanoparticules, elle ne convient pas toujours à une utilisation commerciale car il existe un risque que les nanoparticules soient endommagées lors du processus de fabrication, ce qui peut altérer leurs propriétés optiques et physico-chimiques dépendantes de leur architecture de surface (**Patil et Rajkuberan, 2020**).

### **I.2.3.2. La méthode Bottom-UP**

Contrairement à TOP-DOWN, les nanoparticules dans le BOTTOM-UP sont souvent formées à partir de substances relativement simples, comme des ions métalliques. Ces substances sont ensuite soumises à des approches chimiques et biologiques pour former des Nps (Ijaz *et al.*, 2020). Les deux approches peuvent être caractérisées de la manière suivante :

**a - Méthode chimique :** Les méthodes de synthèse chimique ont été couramment utilisées dans la synthèse des nanoparticules. Parmi ces méthodes on cite : la réduction chimique, pyrolyse, méthode sol-gel, microémulsion, synthèse de polyols, synthèse thermique de l'eau, dépôt chimique en phase vapeur... Ce processus de synthèse implique l'utilisation des produits chimiques et des réactifs dangereux ce qui conduit à la génération de sous-produits nocifs pour l'homme et l'environnement. Par conséquent, ce type de nanoparticules est particulièrement limité aux applications biologiques comme l'administration ciblée des médicaments et le traitement du cancer (Patil et Rajkuberan, 2020).

**b- Méthode biologique :** La synthèse des NPs par une voie biologique constitue une méthode alternative aux méthodes chimiques et physiques en raison de ses avantages écologiques et économiques. Cette méthode est considérée comme simple, propre, durable et économique. Elle permet de produire des NPs avec une haute densité, une bonne stabilité et solubilité dans l'eau, grâce à une grande variété de ressources biologiques telles que des bactéries, des champignons, des extraits de plante, des vitamines et des acides aminés en utilisant des filtrats de culture contenant des microorganismes capables de tolérer les métaux et de se développer dans des conditions environnementales extrêmes, à la fois extracellulaires et intracellulaires, en tant qu'agents réducteurs (Patil et Rajkuberan, 2020 ; Ferdous et Abderrahim, 2020). Selon Ijaz *et al.*, (2020), les enzymes réductases qui sont présentes dans le micro-organisme jouent un rôle vital dans la réduction des sels métalliques en nanoparticules, grâce auxquelles ces microorganismes ont la capacité d'accumuler et de détoxifier les métaux lourds.

- **Utilisation des plantes dans la synthèse des NPs :** récemment, la phytotechnologie offre de nombreux avantages à la synthèse des NPs par rapport aux microorganismes. Commenant par l'abondance des plantes et leur disponibilité dans le monde entier et qui sont souvent plus économiques que les microorganismes en termes de coûts de production, car elles ne nécessitent pas d'ingrédients coûteux pour leur culture. De plus, les plantes sont relativement inoffensives et ne présentent généralement pas de risque de contamination, alors que les microorganismes peuvent être potentiellement

dangereux. La synthèse des nanoparticules métalliques peut se faire à partir de différentes parties des plantes : les feuilles, les fruits, les tiges, les racines et leurs extraits. La diversité des métaboliques dans les plantes telles que : les antioxydants, les protéines, les vitamines, les alcaloïdes et les flavonoïdes joue un rôle important dans le processus de la réduction des sels métallique en nanoparticules (**Jebril et al., 2021 ; Ijaz et al., 2020**). Plusieurs facteurs peuvent influencer le taux de production des nanoparticules, leur quantité et leurs caractéristiques notamment : la nature de l'extrait végétal, sa concentration, la concentration du sel métallique, le pH de la synthèse, la température et le temps de contact de l'extrait avec les sels métallique (**Mittal et al., 2013**).

#### **I.2.4. Les nanoparticules de SnO<sub>2</sub>**

Les nanoparticules de SnO<sub>2</sub> ont connu une popularité croissante ces derniers temps. Ces NPs métalliques du groupe 14 peuvent se présenter sous plusieurs formes, telles que la phase tétragonale de rutile sous forme de cristallite ou des quasi-sphéroïdales et sphériques. En raison de leurs propriétés physiques, chimiques, optiques et médicinales intéressantes, ces nanoparticules sont largement utilisées dans de nombreux domaines (**Ahmad et al., 2021**).

##### **I.2.4.1. Application biologique des nanoparticules de SnO<sub>2</sub>**

Il a été rapporté que les NPs de SnO<sub>2</sub> synthétisées par la méthode verte présentaient des propriétés antimicrobiennes, antioxydantes, et antibiofilm (**Gebreslassie et Henok, 2021**).

**Activité antioxydante :** l'activité antioxydante des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> est basée sur la réduction du 1,1-diphényl-2-picrylhy-drazyl (DPPH). Les chercheurs ont rapporté l'activité antioxydante des Nps de SnO<sub>2</sub> biosynthétisées en utilisant l'extrait de feuilles de *Cleistanthus Collinus*. L'activité antioxydante des Nps de SnO<sub>2</sub> a augmentée avec l'augmentation de la concentration des Nps de SnO<sub>2</sub> et le temps de réaction. Ces chercheurs ont également suggéré que l'activité antioxydante présentée par SnO<sub>2</sub> peut être attribuée à la capacité des Nps de SnO<sub>2</sub> à transférer les électrons vers les radicaux libres situés au niveau de l'atome d'azote du DPPH (**Gebreslassie et Henok, 2021**).

**Activité antibiofilm :** les communautés microbiennes encapsulées dans une matrice de substances polymères extracellulaires (EPS) forment des biofilms très complexes. Sur le plan clinique, ces biofilms constituent une préoccupation majeure en raison de leur résistance naturelle aux antibiotiques courants et aux systèmes de défense de l'hôte. Ils sont considérés comme étant responsables de 80 % des infections microbiennes chroniques.

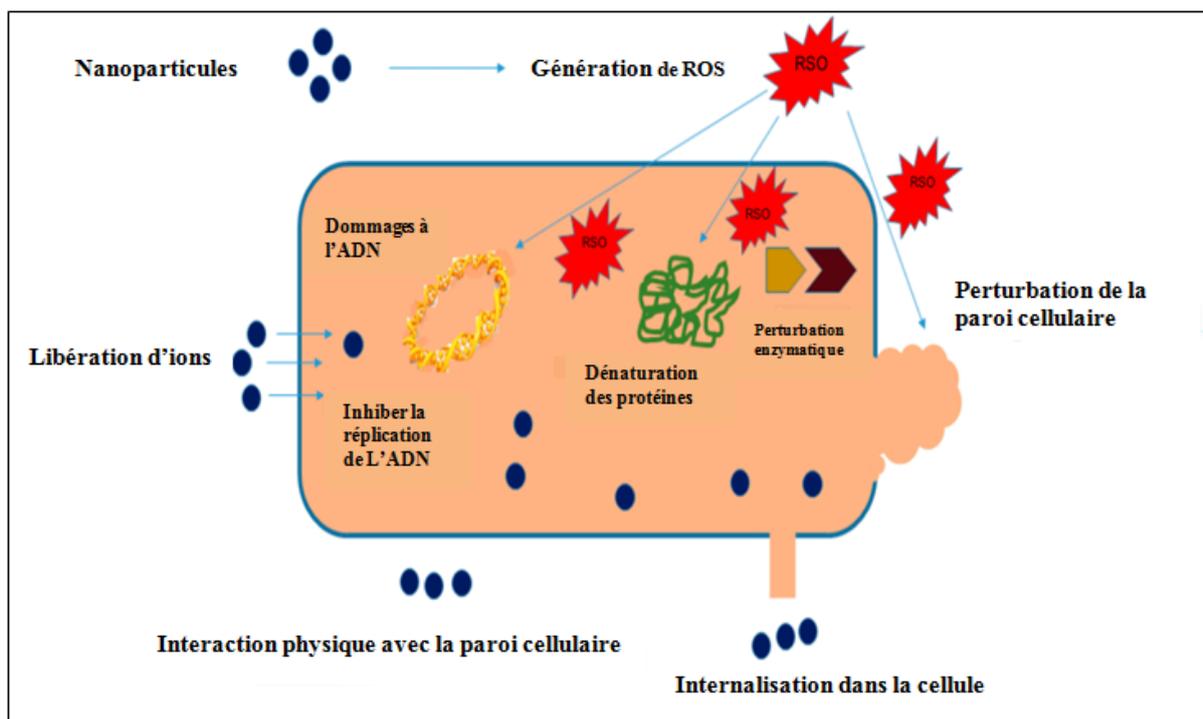
Les nanoparticules présentent une grande promesse dans le traitement des biofilms, principalement parce qu'elles semblent ne pas être affectées par les mécanismes de résistance aux antibiotiques. Diverses nanoparticules métalliques ont été démontrées pour avoir des activités antibactériennes et antibiofilm contre différents microorganismes en raison de leur petite taille à l'échelle nanométrique et leur grande surface. Les ratios volumétriques peuvent être utilisés pour réguler les propriétés physiques et chimiques des microorganismes (**Park et al., 2023**).

**Activité anti-microbienne** : les nanoparticules de SnO<sub>2</sub> présentent une activité antimicrobienne prometteuse contre divers micro-organismes. Des recherches ont révélé leur capacité à entraver la croissance et la survie de bactéries et de champignons tels que : *Escherichia coli* et *Candida albicans*. L'efficacité des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> varie selon le type d'organisme ciblé, nécessitant une concentration plus élevée pour inhiber l'activité des levures par rapport aux bactéries. La taille des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> influence leur activité antimicrobienne en permettant une plus grande surface de contact avec les micro-organismes visés. Cette augmentation de la surface facilite une interaction plus étroite avec les micro-organismes, permettant ainsi aux nanoparticules de déployer leur effet antimicrobien de manière plus efficace (**Gebreslassie et Henok, 2021 ; Sagadevan et al., 2021**).

#### **I.2.4.2. Mécanisme antimicrobien des nanoparticules de SnO<sub>2</sub>**

Le mécanisme exact par lequel les nanoparticules ont un effet létal sur les bactéries est encore l'objet de discussions. Toutefois, les propriétés physiques des nanoparticules, notamment leur petite taille, leurs différentes formes et leur grande surface spécifique, ont conduit à des études sur leur potentiel antibactérien en raison de leur capacité à interagir efficacement avec les bactéries (**Sharmin et al., 2021**). Les nanoparticules de SnO<sub>2</sub> ont été démontrées comme étant efficaces contre une large gamme de micro-organismes tels que les bactéries, les champignons et les virus. L'activité antibactérienne des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> peut être influencée par différents paramètres, notamment la taille des particules, l'agent de protection utilisé pendant la synthèse et la morphologie des nanoparticules. L'effet bactéricide de ces agents peut être attribué à leur grande surface de contact avec les bactéries, laquelle est proportionnelle à la concentration de nanoparticules dans la solution. Cette propriété leur permet d'interagir plus efficacement avec la membrane cellulaire et d'inactiver les bactéries (**Matussin et al., 2020 ; Sagadevan et al., 2021**). Trois mécanismes d'action des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> ont été proposés pour expliquer leur activité antimicrobienne (**Figure 3**):

- **La formation d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) :** l'accumulation des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> à la surface de la membrane cellulaire des bactéries crée des conditions propices à la génération de ROS (radicaux libres oxygénés) qui interagissent avec la membrane cellulaire, perturbent sa perméabilité et entraînent la mort cellulaire des bactéries (**Gebreslassie et Henok, 2021**).
- **L'interaction des nanoparticules avec les bactéries :** les nanoparticules de SnO<sub>2</sub> ont la capacité de pénétrer à travers la membrane externe et la paroi cellulaire des bactéries grâce à une interaction électrostatique. Une fois à l'intérieur de la cellule, elles peuvent inactiver les fonctions cellulaires nécessaires à la survie de la bactérie ce qui exprime leurs effet bactéricide (**Gebreslassie et Henok, 2021 ; Sagadevan et al., 2021**).
- **L'inactivation des enzymes bactériennes:** d'autres études ont également suggéré que les nanoparticules de SnO<sub>2</sub> peuvent interagir avec les enzymes bactériennes suite à leur adsorption sur la surface de la cellule bactérienne, ce qui entraîne une déshydrogénation et une production de peroxyde d'hydrogène qui inactivent les enzymes. Selon les travaux de **Khan et al., (2018)**, la libération d'ions Sn<sup>4+</sup> et Co<sup>2+</sup> est responsable des dommages infligés à l'ADN et aux mitochondries bactériennes, entraînant l'inactivation des enzymes et finalement la mort cellulaire (**Gebreslassie et Henok , 2021 ; Matussin et al., 2020**).



**Figure 3 : Mécanisme d'action des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> (Wahid et al., 2017).**

### **I.3. Présentation de la plante étudiée**

Au cours de la dernière décennie, les systèmes de médecine traditionnelle sont devenus un sujet d'importance mondiale. Les estimations actuelles suggèrent que, nombreux pays en développement dépendent fortement des plantes médicinales pour répondre aux besoins de soins de santé en raison de leur origine naturelle, de leurs faibles effets secondaires et leur efficacité dont, le genre *Citrus*. Ce genre appartient à la famille des *Rutaceae*, cultivée dans les climats tropicaux et subtropicaux d'Asie et dans la région méditerranéenne où elle fait partie des plantes médicinales les plus importantes (**Sania et al., 2020**). Le *Citrus limon* (citron) est un arbre atteignant 2,5-3 m de hauteur avec des feuilles de couleur vert foncé persistantes et lancéolées qui mesurent de 6,5 à 10 mm et sont disposées sur la tige de manière alternée. Les fleurs bisexuées sont blanches avec une teinte violette sur les bords des pétales, axillaires, rassemblées en petits groupes. Le fruit est une baie verte de différentes formes et tailles, à la surface lisse et spongieuse, qui devient jaune en mûrissant. Sa pulpe est acide, son écorce est épaisse et contient une essence à l'odeur caractéristique. Ce fruit est une source importante d'acide ascorbique (vitamine C), de minéraux, d'acide citrique, d'huiles essentielles et de flavonoïdes, ce qui en fait l'une des plus importantes sources de médicaments (**Goetz, 2014 ; Sania et al., 2020**).

***Chapitre II:***  
***Matériel et méthodes***

## II. Matériel et méthodes

### II.1. Matériel

**II.1.1. Matériel végétal :** la récolte des feuilles fraîches de *Citrus limon* a été effectuée en mois de Février d'un jardin privé situé dans la région de Ksar El Boukhari de la wilaya de Médéa. Tandis que, les fruits de citron ont été achetés à partir de la même région au mois de Mars 2023.

**II.1.2. Matériel microbiologique :** l'étude a été réalisée sur cinq souches bactériennes appartenant à la collection ATCC (American Type Culture Collection). Il s'agit de deux souches bactériennes à Gram négatif : *Escherichia coli* (ATCC 8739), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 9027) et trois souches bactériennes à Gram positif : *Bacillus subtilis*, *Listeria monocytogenes* (CIP 82110) et *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538) obtenue du groupement SAIDAL MEDEA.

### II.2. Méthodes

#### II.2.1. Préparation des poudres des feuilles et des fruits de *C. limon* :

Les feuilles de *Citrus limon* ont été préalablement rincées à trois reprises avec l'eau du robinet afin d'éliminer les impuretés telles que le sable et les débris, puis lavées avec de l'eau distillée. Elles ont ensuite été séchées à l'air libre pendant 20 jours à une température ambiante avant d'être broyées en poudre (**Figure 04**).



**Figure 4 :** Feuilles de *Citrus limon* après séchage et broyage en poudre fine.

Les fruits de *Citrus limon* ont été soigneusement nettoyés en les rinçant trois fois avec de l'eau du robinet pour éliminer les impuretés telles que le sable et les débris, puis lavés avec de l'eau distillée. Ensuite, la partie jaune des écorces a été râpée puis séchée à l'air libre pendant 10 jours à une température ambiante avant d'être broyée en une fine poudre (Figure 05).



### II.2.2. Préparation de l'extrait hydro-éthanolique des feuilles de *Citrus limon*

Pour préparer l'extrait hydro-éthanolique des feuilles de *Citrus limon*, nous avons mélangé 80 g de poudre de feuilles avec 400 ml d'éthanol 70°. Le mélange a été agité à l'abri de la lumière pendant 24 heures à l'aide d'un agitateur à tige hélice (Figure 6).



Figure 6 : Agitation de l'extrait hydro-éthanolique des feuilles de *Citrus limon*.

Ensuite, la solution obtenue a été filtrée à l'aide d'un papier whatman N°1 pour éliminer tout résidu. L'extrait hydro-éthanolique obtenu a été conservé dans un flacon en verre bien emballé dans du papier d'aluminium et stocké au réfrigérateur (**Figure 7**).



**Figure 7 : Filtration et conservation de l'extrait hydro-éthanolique des feuilles de *Citrus limon*.**

### **II.2.3. Préparation de l'extrait hydro-éthanolique du zeste de *Citrus limon***

Pour préparer un extrait hydro-éthanolique du zeste de *Citrus limon*, nous avons mélangé 40 g de poudre de zeste avec 200 ml d'éthanol à 70 °. Le mélange a été agité pendant 24 heures à l'aide d'un agitateur à tige hélice (**Figure 8**).



**Figure 8 : Agitation de l'extrait hydro-éthanolique du zeste de *Citrus limon*.**

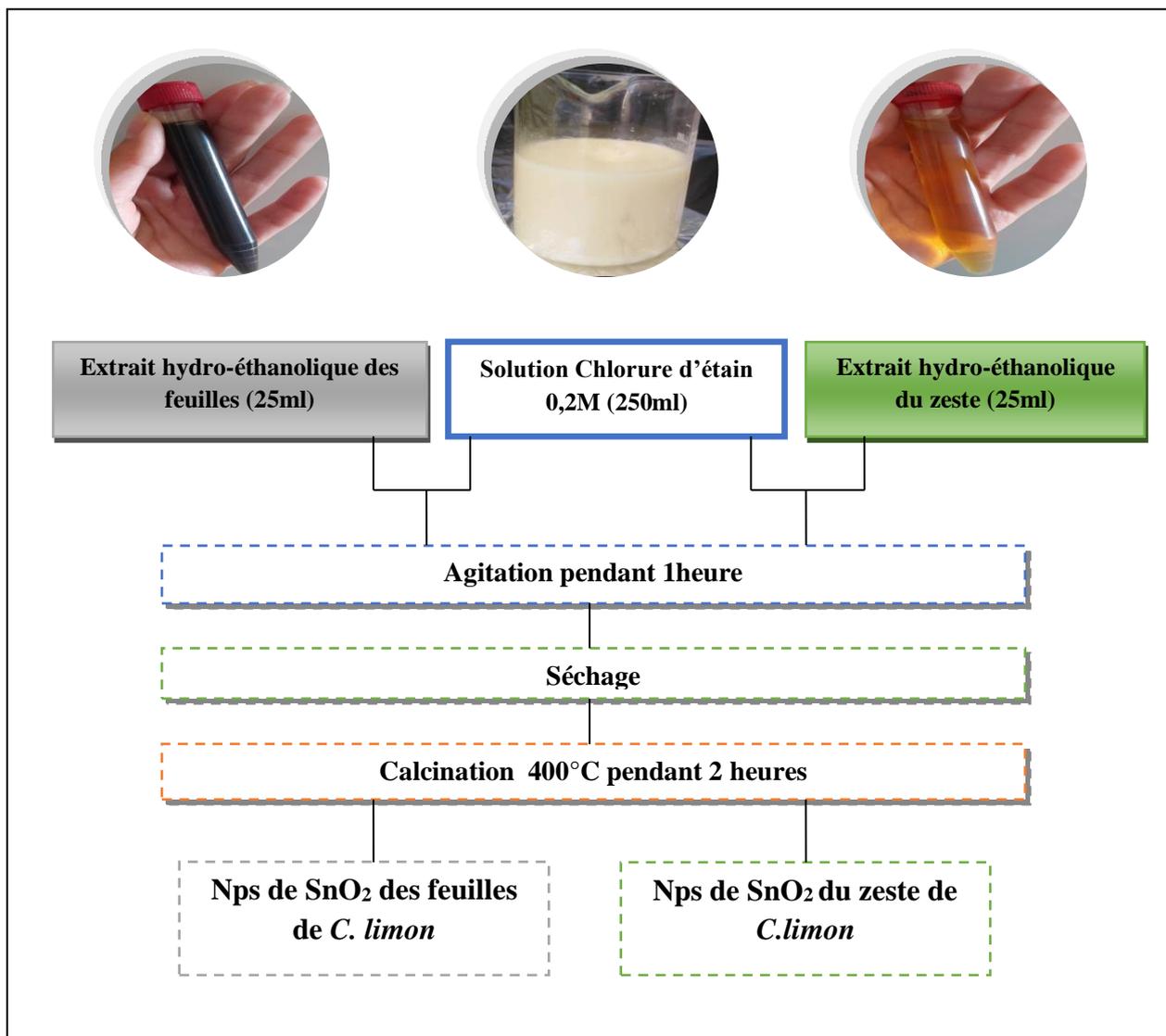
Ensuite, la solution obtenue a été filtrée à travers un papier whatman N°1 pour éliminer tout résidu. L'extrait hydro-éthanolique du zeste de *Citrus limon* obtenu a été conservé dans un flacon en verre soigneusement enveloppé avec du papier d'aluminium, puis stocké au réfrigérateur (**Figure 9**).



**Figure 9 : Filtration et conservation de l'extrait hydro-éthanolique du zeste de *C.limon*.**

#### II.2.4. Biosynthèse des nanoparticules d'oxyde d'étain (SnO<sub>2</sub>)

Les deux extraits hydro-éthanoliques des feuilles et du zeste de *Citrus limon* ont été utilisés pour la synthèse des nanoparticules de SnO<sub>2</sub>. Pour cela, un volume de 25 ml de chaque extrait hydro-éthanolique a été ajouté à 250 ml d'une solution de Chlorure d'étain SnCl<sub>2</sub> (0,2M) de couleur blanche. Puis, le mélange a été agité pendant une heure. Suivie par une ébullition jusqu'à un séchage total. En dernier temps une calcination à 400°C pendant 2 heures a été effectuée afin d'éliminer tous les résidus organique et inorganiques (**Figure 10**).



**Figure 10 :** Protocole de la synthèse des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> à l'aide des extraits hydro-éthanoliques des feuilles et du zeste de *Citrus limon*.

## **II.2.5. Evaluation de l'activité antimicrobienne des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> biosynthétisées à l'aide des extraits hydro-éthanoliques des feuilles et du zeste de *Citrus limon***

L'activité antimicrobienne des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> biosynthétisées utilisant des extraits hydro-éthanoliques des feuilles et du zeste de *Citrus limon*, a été réalisée par la méthode de diffusion en puits sur milieu gélosé. Cette technique consiste à déterminer les zones d'inhibition autour des puits.

### **II.2.5.1. Evaluation de l'activité antibactérienne des nanoparticules de SnO<sub>2</sub>**

L'activité antibactérienne des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> biosynthétisées à l'aide des extraits hydro-éthanolique a été évaluée *vis-à-vis* des souches bactériennes de référence. Il s'agit de deux souches bactériennes à Gram négatif: *Escherichia coli* (ATCC 8739), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 9027) et trois souches bactériennes à Gram positif : *Bacillus subtilis*, *Listeria monocytogenes* (CIP 82110) et *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538).

Pour cela, des cultures bactériennes pures ont été repiquées en bouillon Mueller-Hinton et incubées pendant 24 h à 37°C. A partir de ces suspensions bactériennes jeunes des suspensions d'une absorbance de 0,08-0,13 à 625 nm (équivalente à 0,5 McFarland) ont été préparées. Par la suite, un ensemencement par écouvillonnage, en tournant à chaque fois la boîte d'environ 60°, de telle sorte à assurer une distribution homogène de ces suspensions bactériennes, a été effectué sur des boîtes de Pétri préalablement coulée avec une gélose Muller-Hinton semi-solide. Ensuite, des puits de 6 mm de diamètres ont été introduits dans cette gélose à l'aide d'une pipette Pasteur stérile. Ces puits ont été remplis avec 40 µl de par des différentes concentrations de nanoparticules de SnO<sub>2</sub> (1, 2,5, 5, 10, 25, 50, 75 et 100 mg/ml). La gentamicine (GEN) a été utilisée comme un contrôle positif.

Ces boîtes de Pétri sont mises au réfrigérateur pendant 2 h, puis incubées à 37°C pendant 24 h. Après incubation les diamètres des zones d'inhibition autour des puits ont été mesurés.

***Chapitre III :***  
***Résultats et discussion***

## Résultats et discussion

Dans cette étude, nous avons tout d'abord préparé deux extraits hydro-éthanoliques des feuilles et du zeste de *Citrus limon*. En utilisant ces deux extraits, une biosynthèse des nanoparticules d'oxyde d'étain (SnO<sub>2</sub>) a été réalisée. Par la suite, l'activité antibactérienne et antifongique de ces nanoparticules a été étudiée.

### III.1. Évaluation du rendement de l'extraction hydro-éthanolique des feuilles et du zeste de *C. limon*

L'extraction hydro-éthanolique des feuilles et du zeste de *C. limon* est une étape indispensable pour la synthèse des nanoparticules de SnO<sub>2</sub>, car elle permet de récupérer les biomolécules présentes dans ces parties de la plante. Ces biomolécules jouent un rôle important dans la synthèse des nanoparticules de SnO<sub>2</sub>, car elles agissent en tant qu'agents réducteurs, facilitant la conversion des précurseurs en nanoparticules de SnO<sub>2</sub>. En tant qu'agents stabilisants, elles empêchent l'agrégation des particules et assurent leur stabilité tout au long du processus de synthèse (Jebril *et al.*, 2021 ; Ijaz *et al.*, 2020).

Le rapport de la masse de l'extrait brute obtenu sur la quantité de la poudre végétale utilisée est défini comme étant le rendement de l'extraction exprimé en pourcentage (R %).

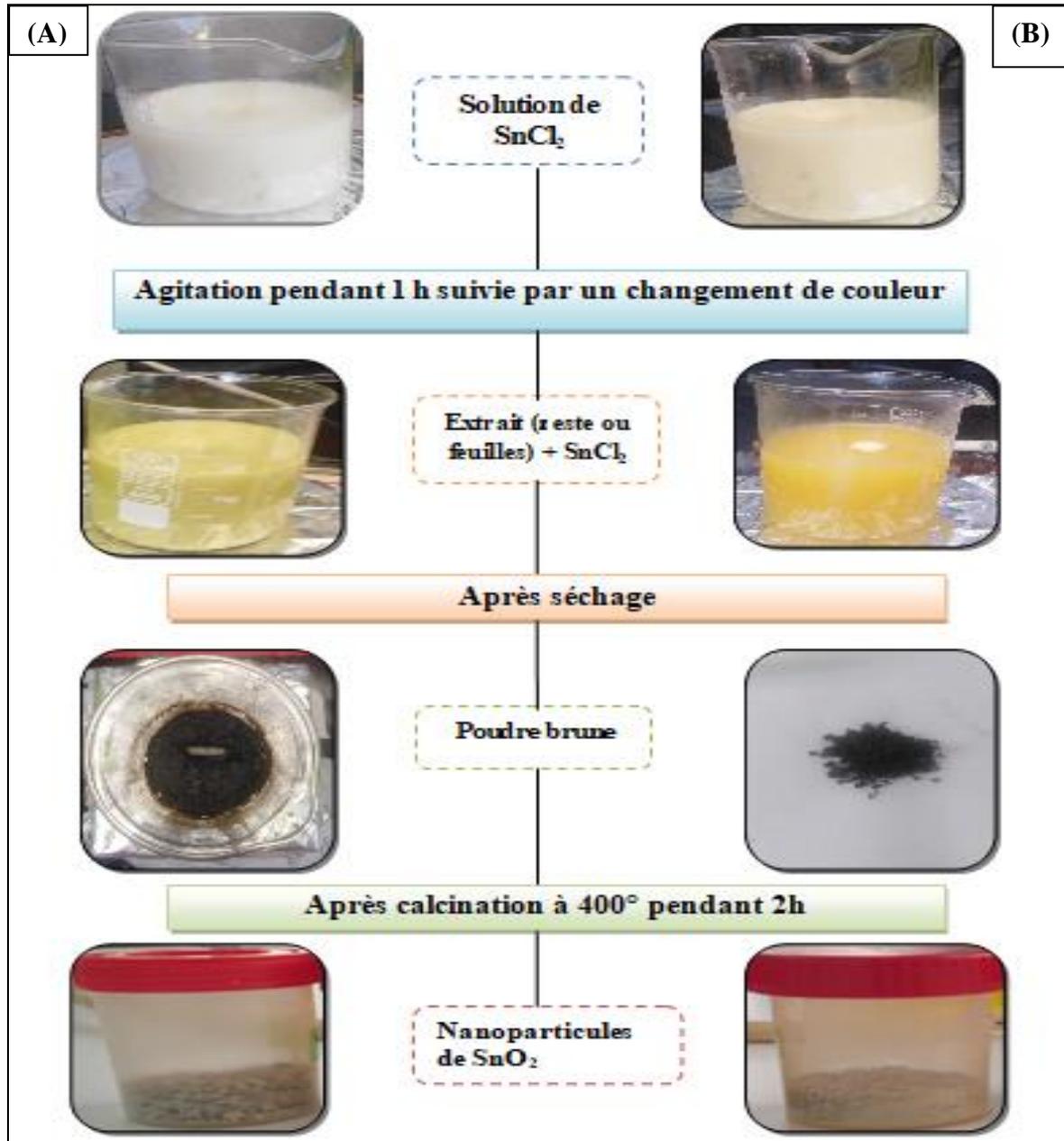
$$\text{Rendement (R \%)} = \frac{\text{Masse de la substance extraite}}{\text{Masse de la poudre végétale}} \times 100$$

L'extrait hydro-éthanolique des feuilles de *C. limon* a donné un rendement de 5,6 % tandis que, l'extrait hydro-éthanolique de zeste de *C. limon* a montré un rendement de 12,18 %. Les rendements de ces deux extraits hydro-éthanoliques sont inférieurs à ceux obtenus par Muthiah *et al.*, (2012) qui ont trouvé un rendement de 22,67 % pour l'extrait hydro-éthanolique des feuilles de *C. limon* et un rendement de 20,52 % pour l'extrait hydro-éthanolique du zeste de la même récoltée en juin en Inde. Cette différence peut être attribuée à plusieurs facteurs notamment les conditions environnementales, la technique d'extraction utilisée, la température du séchage, la période de la récolte et l'âge du matériel végétal (Mbarek *et al.*, 2011).

### III.2. Evaluation visuelle de la biosynthèse des nanoparticules de SnO<sub>2</sub>

La biosynthèse des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> a été réalisée avec succès en utilisant les extraits hydro-éthanoliques des feuilles ou de zeste de *C.limon*. Une solution jaunâtre a été

observée après l'ajout des extraits hydro-éthanoliques à la solution de  $\text{SnCl}_2$  qui était au départ d'une couleur blanchâtre (figure 11).



**Figure 11 :** Les résultats des différentes étapes de la biosynthèse des nanoparticules de  $\text{SnO}_2$  à partir : (A) extrait des feuilles (B) extrait de zeste de *C.limon*.

Dans une étude menée par **Bhosale et al., (2018)**, la variation de couleur de la solution de  $\text{SnCl}_2$  a été considérée comme un indice de la biosynthèse des nanoparticules de  $\text{SnO}_2$ . Ils ont démontré que ce changement de couleur était associé à la formation des nanoparticules. Dans une autre étude menée par **Siddique et al., (2022)**, la formation des nanoparticules de  $\text{SnO}_2$  en utilisant un extrait de graines de *Caesalpinia bonduc* et le sel de Chlorure d'étain ( $\text{SnCl}_2$ ) a été

confirmée par un changement de couleur de la solution, passant du vert pâle au marron foncé, accompagné d'une turbidité . De même, dans une étude menée par **Elamin *et al.*, (2023)**, la synthèse des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> a été confirmée par la formation d'un précipité jaune pâle. Par ailleurs, la synthèse des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> à partir d'un extrait aqueux des racines de *Chrysopogon zizanioides* a été confirmée dans l'étude de **Lingaraja *et al.*, (2023)** suite à un changement de la coloration de la solution, passant du blanc au marron.

Ces observations suggèrent que différents facteurs peuvent influencer la couleur résultante lors de la synthèse des nanoparticules de SnO<sub>2</sub>, tels que les réactifs utilisés, les conditions de réaction et les précurseurs spécifiques. Les extraits de plantes contenant des métabolites secondaires, tels que les phénols, les flavonoïdes, les tanins, les saponines, les terpénoïdes et les glucides, jouent un rôle essentiel en agissant comme agents réducteurs et stabilisants dans la biosynthèse des nanoparticules (**Gebreslassie et Henok, 2021**). Ces biomolécules peuvent réduire les ions métalliques d'étain (Sn<sup>2+</sup>) pour les transformer en étain métallique (Sn<sup>0</sup>). Ensuite, par un processus ultérieur d'oxydation, l'étain métallique (Sn<sup>0</sup>) peut être converti en nanoparticules d'oxyde d'étain (SnO<sub>2</sub>) (**Sagadevan *et al.*, 2021**).

### **III.3. Activité antimicrobienne des nanoparticules de SnO<sub>2</sub>**

Après avoir confirmée la synthèse des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> biosynthétisées à l'aide des extraits hydro-éthanoliques de feuilles et de zeste de *C. limon*, leur activité antimicrobienne a été évaluée *vis-à-vis* différentes souches bactériennes de référence.

#### **III.3.1. Activité antibactérienne des nanoparticules de SnO<sub>2</sub>**

L'activité antibactérienne des deux types de nanoparticules de SnO<sub>2</sub> biosynthétisées à l'aide des extraits hydro-éthanoliques de feuilles ou de zeste de *C. limon* a été évaluée par la méthode de diffusion en puits *vis-à-vis* de cinq souches bactériennes référencées, à savoir *Escherichia coli* (ATCC 8739) et *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 9027) en tant que bactéries à Gram négatif, ainsi que, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538), et *Listeria monocytogene* (CIP 82110) en tant que bactéries à Gram positif. La gentamycine a été utilisée comme un contrôle positif.

L'effet antibactérien des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> synthétisées utilisant l'extrait des feuilles était plus puissant que les nanoparticules de SnO<sub>2</sub> synthétisées à l'aide de l'extrait du zeste. Une activité antibactérienne des deux types de nanoparticules de SnO<sub>2</sub> a été enregistrée contre deux souches bactériennes à Gram négatifs à des concentrations allant de 1 à 100 mg/ml, notamment *P. aeruginosa* de 13 mm à 27 mm pour les nanoparticules de SnO<sub>2</sub> synthétisées à

partir de l'extrait hydro-éthanolique des feuilles et de 10 mm à 15 mm pour les nanoparticules de SnO<sub>2</sub> synthétisées à partir de l'extrait hydro-éthanolique du zeste. Pour *E. coli*, les diamètres d'inhibition étaient de 9 mm à 21 mm pour les nanoparticules de SnO<sub>2</sub> synthétisées à partir de l'extrait hydro-éthanolique des feuilles et de 17 mm à 21 mm pour les nanoparticules de SnO<sub>2</sub> synthétisées à partir de l'extrait hydro-éthanolique du zeste.

Une souche à Gram positif, *B. subtilis*, a montré une sensibilité au NPsSnO<sub>2</sub> synthétisées avec des diamètres d'inhibition de 18 mm à 25 mm pour les NPsSnO<sub>2</sub> synthétisées à partir de l'extrait hydro-éthanolique des feuilles et de 12 mm à 25 mm pour les nanoparticules de SnO<sub>2</sub> synthétisées à partir de l'extrait hydro-éthanolique du zeste. Tandis qu'aucune activité n'a été remarquée contre *S. aureus* et *L. monocytogenes* (Figures 12, 13 et tableau 2).

Les cinq souches bactériennes ont montré une sensibilité à la gentamycine. Les souches à Gram négatif étaient les plus sensibles avec des diamètres de 30 mm pour *E. coli* et de 34 mm pour *P. aeruginosa*, tandis que des diamètres de 36 mm, 30 mm et 28 mm ont été enregistrés respectivement chez *B. subtilis*, *S. aureus* et *L. monocytogenes*, respectivement. (Figure 14, tableau 2).

**Tableau 2 : Résultats de l'activité antibactérienne de NPs SnO<sub>2</sub> et de la gentamycine.**

Zones d'inhibitions (mm)												
	SnO <sub>2</sub> synthétisé à partir d'extrait des feuilles							SnO <sub>2</sub> synthétisé à partir d'extrait des de zeste				Gent
Concentration (µg/ml)	100	75	50	25	10	5	2.5	100	75	50	25	1
<i>E. coli</i>	21	21	20	15	9	/	/	21	20	17	/	34
<i>P. aeruginosa</i>	27	26	23	19	15	14	13	15	14	12.5	10	30
<i>B. subtilis</i>	25	22	20	18	/	/	/	25	22	20	12	36

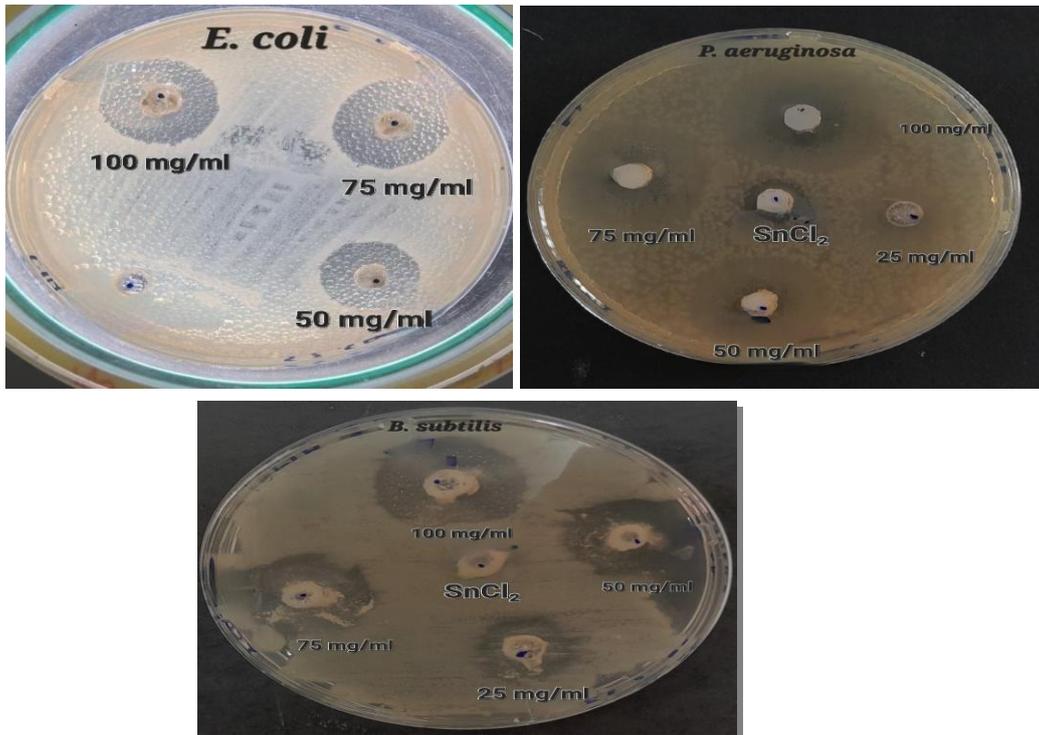


Figure 12 : Activité antibactérienne des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> synthétisées à l'aide de l'extrait hydro-éthanolique du zeste de *C. limon*.

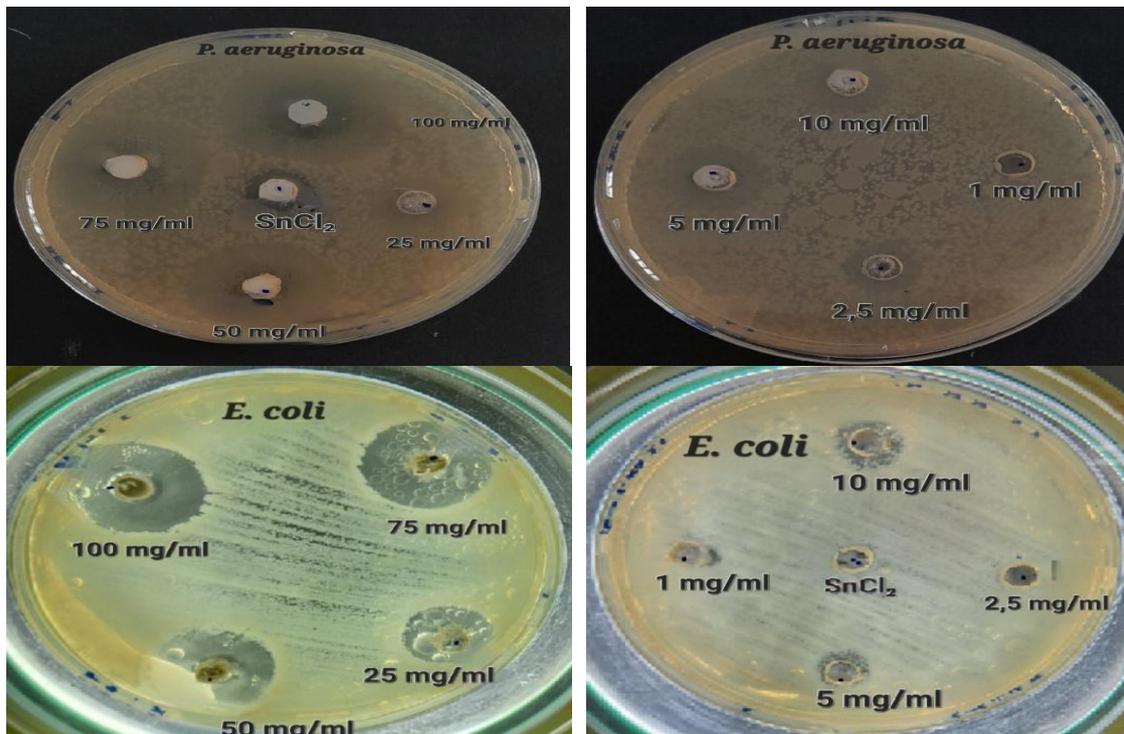


Figure 13 : Activité antibactérienne des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> synthétisées à l'aide de l'extrait hydro-éthanolique des feuilles de *C. limon*.

Les résultats de la présente étude, nous ont permis de suggérer l'existence d'une activité antibactérienne des Nps de SnO<sub>2</sub> vis-à-vis les souches bactériennes *E. coli*, *P. aeruginosa* et *B.*

*subtilis*. Dans une étude réalisée par **Merlin et al., (2018)**, il a été démontré que les nanoparticules de SnO<sub>2</sub> synthétisées par l'utilisation de l'extrait éthanolique de la plante *S. rebaudiana* présentaient une activité importante contre des bactéries à Gram positif dont *S. aureus* et contre les bactéries à Gram négatif dont *K. pneumoniae*. Une autre étude menée par **Rajeswari et al., (2019)** a signalé une activité antibactérienne des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> contre *E. coli* et *S. aureus*, avec des zones d'inhibition de 22 mm et 18 mm respectivement, à une dose de 100 µg/ml.

En revanche, **Nathan et al., (2018)** et **Htoo et al., (2021)** ont constaté que les NPs de SnO<sub>2</sub> présentaient une bonne activité antibactérienne contre les bactéries à Gram positif par rapport aux bactéries à Gram négatif.

Nos résultats sont en accord avec les résultats obtenus par **Siraj et al., (2021)** et **Nuha et al., (2023)**, où les NPs de SnO<sub>2</sub> se sont révélées plus performantes contre les bactéries à Gram négatif (*E. coli* et *P. aeruginosa*) que contre les bactéries à Gram positif (*S. aureus*).

La différence dans la structure de la paroi cellulaire des bactéries est due à la composition de celle-ci. Les bactéries Gram-positives possèdent une couche épaisse de peptidoglycane qui contient des acides teichoïques et lipoteichoïques, les rendant plus résistantes à l'infiltration des nanoparticules de SnO<sub>2</sub>. En revanche, les bactéries Gram-négatives ont une fine couche de peptidoglycane et une membrane externe qui contient des lipopolysaccharides, des phospholipides et des protéines plus souples, facilitant ainsi l'entrée des nanoparticules (**Seyedeh et al., 2015**). L'efficacité accrue des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> contre les bactéries Gram-négatives peut être attribuée à la présence de phospholipides et de lipopolysaccharides, créant une surface fortement négative. Cette surface négative offre des sites de liaison pour les cations d'étain (Sn<sup>2+</sup>), favorisant ainsi l'accumulation d'une concentration plus élevée de Sn<sup>2+</sup> à la surface des bactéries. Cela entraîne des dommages à la membrane externe des bactéries et provoque la rupture des bactéries Gram-négatives (**Seyedeh et al., 2015 ; Sirajul et al., 2021**).

Selon **Sagadevan et al., (2021)**, plusieurs facteurs peuvent influencer l'activité antibactérienne des nanoparticules de SnO<sub>2</sub>, notamment la taille des nanoparticules, l'agent de revêtement utilisé lors de la synthèse des nanoparticules, ainsi que la morphologie des nanoparticules. La différence dans la puissance de l'effet antibactérien des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> entre les bactéries Gram-négatives et Gram-positives peut être attribuée aux variations dans la force électrostatique de leur surface, à la composition et à la structure de leur paroi cellulaire (**Din et al., 2022 ; Seyedeh et al., 2015**).

# *Conclusion*

## **Conclusion**

Notre étude qui porte sur la biosynthèse des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> en utilisant des extraits hydro-éthanoliques provenant des feuilles et du zeste de *Citrus limon*, ainsi que l'évaluation de leur activité antimicrobienne a révélée des résultats significatifs. L'extraction a été réalisée par la méthode de macération en utilisant l'éthanol comme solvant. Cette méthode d'extraction a montré un rendement du zeste plus élevé par rapport à celui des feuilles de *C. limon*.

La synthèse des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> a été couronnée de succès en utilisant les deux extraits hydro-éthanoliques, bien que l'extrait hydro-éthanolique du zeste de *C. limon* présente une activité antioxydante plus prononcée que celle des feuilles. Le changement de couleur du blanc au jaune au cours de la synthèse indique que les deux extrais sont capable de réduire les molécules de SnCl<sub>2</sub> en SnO<sub>2</sub>.

L'étude de l'activité antibactérienne des deux types de nanoparticules biosynthétisées a révélé la sensibilité des souches à Gram négatif *E. coli* et *P. aeruginosa*, ainsi que la souche à Gram positif *B. subtilis*, et la résistance de *S. aureus* et *L. monocytogenes*. Les nanoparticules de SnO<sub>2</sub> synthétisées à partir des feuilles ont démontré une activité antibactérienne plus robuste que celles synthétisées à partir du zeste.

Dans le cadre des perspectives futures, plusieurs aspects méritent d'être approfondis. Il serait ainsi pertinent de compléter cette étude en :

- Caractérisant les nanoparticules de SnO<sub>2</sub> (FT-IR, DRX, UV/vis solide, MEB...).
- Évaluant l'activité antiparasitaire, antivirale, antibactérienne et antifongique sur d'autres souches.
- Réalisant une évaluation de l'activité antibactérienne des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> *in vivo* et en évaluant leur toxicité, afin de déterminer leur potentiel en tant qu'alternative aux antibiotiques.
- Déterminant les tests de CMI (Concentration Minimale Inhibitrice) et de CMB (Concentration Minimale Bactéricide) sur différentes souches.
- Évaluant l'activité antibiofilm des souches testées.

En explorant ces aspects supplémentaires, une meilleure compréhension des propriétés des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> biosynthétisées et de leur potentiel en tant qu'agents antimicrobiens sera obtenue, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives dans le développement de traitements alternatifs aux antibiotiques, leur utilisation dans les domaines alimentaires comme des conservateurs, dans l'emballage et dans le domaine environnemental comme des détergents ou dans le traitement des eaux usées.

*Références  
bibliographique*

**Références bibliographique**

« A »

Anu Mary Ealia, S, et M P Saravanakumar. « A Review on the Classification, Characterisation, Synthesis of Nanoparticles and Their Application ». *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 263 (novembre 2017): 032019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/263/3/032019>.

Ahmad, Waseem, Agrima Pandey, Vishal Rajput, Vinod Kumar, Monu Verma, et Hyunook Kim. « Plant Extract Mediated Cost-Effective Tin Oxide Nanoparticles: A Review on Synthesis, Properties, and Potential Applications ». *Current Research in Green and Sustainable Chemistry* 4 (2021): 100211. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100211>.

Amininezhad, Seyedeh Matin, Alireza Rezvani, Mehdi Amouheidari, Sayed Mohamad Amininejad, et Sajjad Rakhshani. « The Antibacterial Activity of SnO<sub>2</sub> Nanoparticles against Escherichia Coli and Staphylococcus Aureus ». *Zahedan Journal of Research in Medical Sciences* 17, n° 9 (26 septembre 2015). <https://doi.org/10.17795/zjrms-1053>.

« B »

Barhoum, Ahmed, María Luisa García-Betancourt, Jaison Jeevanandam, Eman A. Hussien, Sara A. Mekkawy, Menna Mostafa, Mohamed M. Omran, Mohga S. Abdalla, et MikhaelBechelany. « Review on Natural, Incidental, Bioinspired, and Engineered Nanomaterials: History, Definitions, Classifications, Synthesis, Properties, Market, Toxicities, Risks, and Regulations ». *Nanomaterials* 12, n° 2 (6 janvier 2022): 177. <https://doi.org/10.3390/nano12020177>.

Barczewski, Mateusz, Joanna Aniśko, Aleksander Hejna, Olga Mysiukiewicz, Paulina Kosmela, Kamila Sałasińska, Anna Boczkowska, Anna Przybylska-Balcerek, et Kinga Stuper-Szablewska. « Ground Lemon and Stevia Leaves as Renewable Functional Fillers with Antioxidant Activity for High-Density Polyethylene Composites ». *Clean Technologies and Environmental Policy*, 3 juillet 2023. <https://doi.org/10.1007/s10098-023-02565-5>.

Bhosale, T. T., H. M. Shinde, N. L. Gavade, S. B. Babar, V. V. Gawade, S. R. Sabale, R. J. Kamble, B. S. Shirke, et K. M. Garadkar. « Biosynthesis of SnO<sub>2</sub> Nanoparticles by Aqueous Leaf Extract of Calotropis Gigantea for Photocatalytic Applications ». *Journal of Materials*

Science: Materials in Electronics 29, n° 8 (avril 2018): 6826-34.  
<https://doi.org/10.1007/s10854-018-8669-0>.

« C »

Cruz-Luna, Aida R., Heriberto Cruz-Martínez, Alfonso Vásquez-López, et Dora I. Medina. « Metal Nanoparticles as Novel Antifungal Agents for Sustainable Agriculture: Current Advances and Future Directions ». *Journal of Fungi* 7, n° 12 (1 décembre 2021): 1033.  
<https://doi.org/10.3390/jof7121033>.

« C\_2022229FR.01000101.xml ». Consulté le 10 septembre 2023. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A32022H0614%2801%29>.

« D »

Din, Salah Ud, Sabah Hanif Kiani, Sirajul Haq, Pervaiz Ahmad, Mayeen Uddin Khandaker, Mohammad Rashed Iqbal Faruque, Abubakr M. Idris, et M. I. Sayyed. « Bio-Synthesized Tin Oxide Nanoparticles: Structural, Optical, and Biological Studies ». *Crystals* 12, n° 5 (26 avril 2022): 614. <https://doi.org/10.3390/cryst12050614>.

« E »

Elamin, Nuha Y., T. Indumathi, et E. Ranjith Kumar. « Evaluation of Physicochemical and Biological Properties of SnO<sub>2</sub> and Fe Doped SnO<sub>2</sub> Nanoparticles ». *Ceramics International* 49, n° 2 (janvier 2023): 2388-93. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.09.211>.

Elamin, Nuha Y., T. Indumathi, et E. Ranjith Kumar. « Evaluation of Physicochemical and Biological Properties of SnO<sub>2</sub> and Fe Doped SnO<sub>2</sub> Nanoparticles ». *Ceramics International* 49, n° 2 (janvier 2023): 2388-93. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.09.211>.

« F »

Ferdous, Zannatul, et Abderrahim Nemmar. « Health Impact of Silver Nanoparticles: A Review of the Biodistribution and Toxicity Following Various Routes of Exposure ». *International Journal of Molecular Sciences* 21, n° 7 (30 mars 2020): 2375.  
<https://doi.org/10.3390/ijms21072375>.

Fakhri, Ali, Sajjad Behrouz, et Melika Pourmand. « Synthesis, Photocatalytic and Antimicrobial Properties of SnO<sub>2</sub>, SnS<sub>2</sub> and SnO<sub>2</sub>/SnS<sub>2</sub> Nanostructure ». *Journal of*

Photochemistry and Photobiology B: Biology 149 (août 2015): 45-50.  
<https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2015.05.017>.

« G »

Gebreslassie, Yemane Tadesse, et Henok Gidey Gebretnsae. « 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, n° 1 (décembre 2021): 97. <https://doi.org/10.1186/s11671-021-03555-6>.

Goetz, P. « Citrus limon (L.) Burm. f. (Rutacées) citronnier ». *Phytothérapie* 12, n° 2 (avril 2014): 116-21. <https://doi.org/10.1007/s10298-014-0854-6>.

« H »

Haq, Sirajul, Pervaiz Ahmad, Mayeen Uddin Khandaker, M R I Faruque, Wajid Rehman, Muhammad Waseem, et Salah Ud Din. « Antibacterial, Antioxidant and Physicochemical Investigations of Tin Dioxide Nanoparticles Synthesized via Microemulsion Method ». *Materials Research Express* 8, n° 3 (1 mars 2021): 035013. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/abed8a>.

Haraoui, Nacera, Rachida Allem, Tarik Mohammed Chaouche, et Ahmed Belouazni. « In-Vitro Antioxidant and Antimicrobial Activities of Some Varieties Citrus Grown in Algeria ». *Advances in Traditional Medicine* 20, n° 1 (mars 2020): 23-34. <https://doi.org/10.1007/s13596-019-00379-9>.

Htoo, Khine Yee, Yee Mun Than, et Khin Mar Cho. « GREEN SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF TIN(IV) OXIDE NANOPARTICLES AND STUDY ON ITS ANTIMICROBIAL ACTIVITY », 2021.

Haq, Sirajul, Nadia Shahzad, Muhammad Imran Shahzad, Khaled Elmnasri, Manel Ben Ali, AlaaBaazeem, Amor Hedfi, et Rimsha Ehsan. « Investigations into the Antifungal, Photocatalytic, and Physicochemical Properties of Sol-Gel-Produced Tin Dioxide Nanoparticles ». *Molecules* 27, n° 19 (10 octobre 2022): 6750. <https://doi.org/10.3390/molecules27196750>.

Haq, Sirajul, Wajid Rehman, Muhammad Waseem, Amreen Shah, Abdul Rehman Khan, Mahfooz Ur Rehman, Pervaiz Ahmad, Basharat Khan, et Ghazanfar Ali. « Green Synthesis and Characterization of Tin Dioxide Nanoparticles for Photocatalytic and Antimicrobial Studies ». *Materials Research Express* 7, n° 2 (1 février 2020): 025012. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/a>.

« I »

Ijaz, Irfan, Ezaz Gilani, Ammara Nazir, et Aysha Bukhari. « Detail Review on Chemical, Physical and Green Synthesis, Classification, Characterizations and Applications of Nanoparticles ». *Green Chemistry Letters and Reviews* 13, n° 3 (2 juillet 2020): 223-45. <https://doi.org/10.1080/17518253.2020.1802517>.

« ISO/TS 12025:2021(fr), Nanomatériaux — Quantification de la libération de nano-objets par les poudres par production d'aérosols ». Consulté le 10 septembre 2023. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:ts:12025:ed-2:v1:fr>.

« J »

Joudeh, Nadeem, et Dirk Linke. « Nanoparticle Classification, Physicochemical Properties, Characterization, and Applications: A Comprehensive Review for Biologists ». *Journal of Nanobiotechnology* 20, n° 1 (7 juin 2022): 262. <https://doi.org/10.1186/s12951-022-01477-8>.

Jebril, Siwar, Alaeddine Fdhila, et Chérif Dridi. « Nanoengineering of Eco-Friendly Silver Nanoparticles Using Five Different Plant Extracts and Development of Cost-Effective Phenol Nanosensor ». *Scientific Reports* 11, n° 1 (11 novembre 2021): 22060. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01609-4>.

« K »

Koul, Bhupendra, Anil Kumar Poonia, Dhananjay Yadav, et Jun-O Jin. « Microbe-Mediated Biosynthesis of Nanoparticles: Applications and Future Prospects ». *Biomolecules* 11, n° 6 (15 juin 2021): 886. <https://doi.org/10.3390/biom11060886>.

Khan, Shakeel Ahmad, Sadia Kanwal, Komal Rizwan, et Sammia Shahid. « Enhanced Antimicrobial, Antioxidant, in Vivo Antitumor and in Vitro Anticancer Effects against Breast Cancer Cell Line by Green Synthesized Un-Doped SnO<sub>2</sub> and Co-Doped SnO<sub>2</sub> Nanoparticles

from *Clerodendrum Inerme* ». *Microbial Pathogenesis* 125 (décembre 2018): 366-84.  
<https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.09.041>.

Khettal, Bachra, Nabil Kadri, Karim Tighilet, Ahmed Adjebli, Farid Dahmoune, et Fadila Maiza-Benabdeslam. « Phenolic Compounds from Citrus Leaves: Antioxidant Activity and Enzymatic Browning Inhibition ». *Journal of Complementary and Integrative Medicine* 14, n° 1 (24 mai 2017): 20160030. <https://doi.org/10.1515/jcim-2016-0030>.

« L »

Lobnik, Aleksandra, MatejkaTurel, ŠpelaKorentUrek, et AljošaKošak. « Nanostructured Materials Use in Sensors: Their Benefits and Drawbacks ». In *Carbon and Oxide Nanostructures*, par Noorhana Yahya, 307-54. *Advanced Structured Materials*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010. [https://doi.org/10.1007/8611\\_2010\\_21](https://doi.org/10.1007/8611_2010_21).

Lingaraja, D., S. Praveen Kumar, T. Aravind, T. K. Srinivasan, S. Ramya, et G. Dinesh Ram. « Green synthesis of SnO<sub>2</sub> nanoparticles using *Chrysopogon Zizaniodes* root extract to degrade the methylene blue dye ». *Materials Today: Proceedings*, 12 janvier 2023. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.029>.

« M »

**Merlin M , Chitra S et Nalini Jayanthi** « Synthesis and Characterization of Tin Oxide Nanoparticles Using Plant Extract ». Consulté le 17 août 2023. <https://www.derpharmachemica.com/pharma-chemica/synthesis-and-characterization-of-tin-oxide-nanoparticles-using-plant-extract-13407.html>.

Mubeen, Bismillah, Aunza Nayab Ansar, Rabia Rasool, Inam Ullah, Syed Sarim Imam, Sultan Alshehri, Mohammed M. Ghoneim, Sami I. Alzarea, Muhammad Shahid Nadeem, et Imran Kazmi. « Nanotechnology as a Novel Approach in Combating Microbes Providing an Alternative to Antibiotics ». *Antibiotics* 10, n° 12 (30 novembre 2021): 1473. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10121473>.

Mustapha, Tijjani, NorashiqinMisni, Nur Raihana Ithnin, Abdullahi Muhammad Daskum, et Ngah ZasmyUnyah. « A Review on Plants and Microorganisms Mediated Synthesis of Silver Nanoparticles, Role of Plants Metabolites and Applications ». *International Journal of*

## Références bibliographique

Environmental Research and Public Health 19, n° 2 (7 janvier 2022): 674.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph19020674>.

Mittal, Amit Kumar, Yusuf Chisti, et Uttam Chand Banerjee. « Synthesis of Metallic Nanoparticles Using Plant Extracts ». *Biotechnology Advances* 31, n° 2 (mars 2013): 346-56.  
<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.01.003>.

Matussin, Shaidatul, Mohammad HilniHarunsani, Ai Ling Tan, et Mohammad Mansoob Khan. « Plant-Extract-Mediated SnO<sub>2</sub> Nanoparticles: Synthesis and Applications ». *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 8, n° 8 (2 mars 2020): 3040-54.  
<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06398>.

PI, Muthiah. « IN VITRO ANTIOXIDANT ACTIVITIES OF LEAVES, FRUITS AND PEEL EXTRACTS OF CITRUS ». *International Journal of Phytopharmacy* 2, n° 1 (1 mars 2012): 13-20. <https://doi.org/10.7439/ijpp.v2i1.293>.

M'barek, BOURKHISS, HNACH Mohamed, LAKHLIFI Tahar, BOUGHADAD Ahmed, et FARAH Abdallah. « Effet de l'Age et du Stade Vegetatif sur la Teneur et la Composition Chimique des Huiles Essentielles de Thuya de Berbere » 6 (2011).

### « N »

Nathan, M.G.T., et P. Myvizhi. « Green synthesis and characterization of tin oxide nanoparticles using plant extract ». *International Journal of Pure and Applied Mathematics* 119 (1 janvier 2018): 6439-48.

### « O »

Ozidal, Murat, et SumeyraGurkok. « A Recent Advances in Nanoparticles as Antibacterial Agent ». *ADMET and DMPK*, 2 février 2022. <https://doi.org/10.5599/admet.1172>.

### « P »

Patil, Sunita, et Rajkuberan Chandrasekaran. « Biogenic Nanoparticles: A Comprehensive Perspective in Synthesis, Characterization, Application and Its Challenges ». *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology* 18, n° 1 (décembre 2020): 67.  
<https://doi.org/10.1186/s43141-020-00081-3>.

P, Sumathi . « Synthesis, Characterization and Antimicrobial Studies Of SnO<sub>2</sub> Nanoparticles ». *International Journal of ChemTech Research* 13, n° 3 (2020): 203-9. <https://doi.org/10.20902/IJCTR.2019.130317>.

Park, Inji, Afreen Jailani, Jin-Hyung Lee, Bilal Ahmed, et Jintae Lee. « The Antibiofilm Effects of Antimony Tin Oxide Nanoparticles against Polymicrobial Biofilms of Uropathogenic Escherichia Coli and Staphylococcus Aureus ». *Pharmaceutics* 15, n° 6 (8 juin 2023): 1679. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15061679>.

« R »

Rawat, R S. « Dense Plasma Focus - From Alternative Fusion Source to Versatile High Energy Density Plasma Source for Plasma Nanotechnology ». *Journal of Physics: Conference Series* 591 (24 mars 2015): 012021. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/591/1/012021>.

S. Rajeswari, . J. UmaMaheswari, . D. Muthuraj, . E. Kumar, et .V. Veeraputhiran. « Synthesis and Investigation of Antimicrobial Activity of Tin Oxide Nanoparticles by Microwave Assisted Solution Method ». *Journal of Nanoscience and Technology* 5, n° 1 (31 mars 2019): 637-39. <https://doi.org/10.30799/jnst.214.19050115>.

« S »

Simon, Sohail, Nicole Remaliah Samantha Sibuyi, Adewale Oluwaseun Fadaka, Samantha Meyer, Jamie Josephs, Martin Opiyo Onani, Mervin Meyer, et Abram Madimabe Madiehe. « Biomedical Applications of Plant Extract-Synthesized Silver Nanoparticles ». *Biomedicines* 10, n° 11 (2 novembre 2022): 2792. <https://doi.org/10.3390/biomedicines10112792>.

Sharmin, Shabnam, Md. Mizanur Rahaman, Chandan Sarkar, Olubunmi Atolani, Mohammad Torequl Islam, et Oluyomi Stephen Adeyemi. « Nanoparticles as Antimicrobial and Antiviral Agents: A Literature-Based Perspective Study ». *Heliyon* 7, n° 3 (mars 2021): e06456. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06456>.

Sagadevan, Suresh, J Anita Lett, Is Fatimah, Yogeswaran Lokanathan, Estelle Léonard, Won Chun Oh, M A Motalib Hossain, et Mohd Rafie Johan. « Current Trends in the Green Syntheses of Tin Oxide Nanoparticles and Their Biomedical Applications ». *Materials Research Express* 8, n° 8 (1 août 2021): 082001. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ac187e>.

Sania, Rafique, Hassan Syeda Mona, Mughal Shahzad Sharif, Hassan Syed Khurram, Shabbir Nageena, Pervez Sumaira, Mushtaq Maryam, et Farman Muhammad. « Biological Attributes

of Lemon: A Review ». *Journal of Addiction Medicine and Therapeutic Science* 6, n° 1 (22 mai 2020): 030-034. <https://doi.org/10.17352/2455-3484.000034>.

Saleem, Muhammad, Arjumand Iqbal Durani, Asnuzilawati Asari, Mahmood Ahmed, Muhammad Ahmad, Numan Yousaf, et Muhammad Muddassar. « Investigation of Antioxidant and Antibacterial Effects of Citrus Fruits Peels Extracts Using Different Extracting Agents: Phytochemical Analysis with in Silico Studies ». *Heliyon* 9, n° 4 (avril 2023): e15433. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15433>.

Siddique, Mohsin, Wagma Subhan, Falak Naz, et Arif Nawaz. « Biosynthesis of Highly Porous Ag/Bi/SnO<sub>2</sub> Nanohybrid Material Using Seeds Extract of *Caesalpinia Bonduc* and Their Photocatalytic Activity ». *PhysicaB: Condensed Matter* 644 (novembre 2022): 414209. <https://doi.org/10.1016/j.physb.2022.414209>.

« V »

Vassal, Mariana, Sandra Rebelo, et Maria De Lourdes Pereira. « Metal Oxide Nanoparticles: Evidence of Adverse Effects on the Male Reproductive System ». *International Journal of Molecular Sciences* 22, n° 15 (28 juillet 2021): 8061. <https://doi.org/10.3390/ijms22158061>.

« W »

Wahid, Fazli, Cheng Zhong, Hai-Song Wang, Xiao-Hui Hu, et Li-Qiang Chu. « Recent Advances in Antimicrobial Hydrogels Containing Metal Ions and Metals/Metal Oxide Nanoparticles ». *Polymers* 9, n° 12 (23 novembre 2017): 636. <https://doi.org/10.3390/polym9120636>



