

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE CHIMIE

OPTION : CHIMIE ORGANIQUE

N° :



**Mémoire présenté pour l'obtention**

**Du diplôme de Master Académique**

Par: Djaidja Saadia

Mechegueg Loubna

**Intitulé**

**Contribution à l'étude de la Synthèse biogénique des nanoparticules de ZnO à partir de plante de *Camellia Sminensis* et ses applications pharmacologiques**

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. Ammar DJERIOUI      Université Mohamed Boudiaf M'sila    Président

Dr. Ghania BENAICHE    Université Mohamed Boudiaf M'sila    Promotrice

Dr.Houcine BOULEGHLEM    Université Mohamed Boudiaf M'sila    Examineur

Année universitaire : 2023/2024

## **DEDICACE**

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude,

L'amour le respect et la reconnaissance.

Je dédie ce travail :

À celle qui m'a arrosé de tendresse et d'espoirs,

À ma source de force "Ma mère".

À mon support dans ma vie,

Qui m'a appris et m'a dirigé vers la gloire "Mon père".

Un grand merci pour tous vos sacrifices, votre amour, votre encouragement, votre soutien et vos prières tout au long de mes études. Cette aventure n'aurait certainement pas existé sans vous, en témoigne de mon éternelle reconnaissance, que Dieu vous protège et vous prête bonne santé et longue vie.

À toute ma famille et mes amis Pour leur soutien moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

**Mechegueg loubna**

***Dédicace***

*J'adresse mes remerciements par un grand respect et gratitude  
à mes trèschersparentsqui sontlalumière de ma  
vie, quionttantsouffertetsesont sacrifiéspourquejesoisheureuse,  
Pourleursconseils, leursaffections, etleursencouragements.*

***Etjeledédieà:***

*Mon marie, pour ses encouragements, son soutien infaillible et sa présence  
permanente*

***Etjeledédieà:***

*Mes enfants : **Feriel, Anes Alaa Elddine, Anfel, Mohamed Elamine***

***Etjeledédieà:***

*Meschersfrères : **Hamid , AbdElhak et Nabile** ma chère sœur **Amira**  
À toute ma famille*

*À notre promotrice : **Benaïche Ghania** pour avoir accepté de nous  
encadrer, sa bonne humeur et sa patiencequinous a données la volontéà  
accomplir cetravail.*

*À mon binôme **Loubna**, À tous mes amis et plus  
spécialement,*

***Fouzia, Kalthoume, Nassira, Sabah***

*À tous ceux qui ont reçu de près oude loin à ce travail*

**Djaidja Saadia**

## **REMERCIEMENTS**

Avant tout, je remercie ALLAH, le Tout Puissant et le Miséricordieux, de nous avoir donné la santé, la volonté et la patience, pour surmonter toutes les difficultés de ce mémoire.

Nous tenons par la suite à remercier Dr. Benaïche Ghania en sa qualité d'encadreuse, pour toute l'orientation, l'aide, le soutien, ces Conseils, contrôles, suivis, sa patience extrême et ses encouragements qu'elle nous a apporté lors de la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions sincèrement Dr. H. BOULEGHLEM et Dr. A. DJERIOU pour avoir accepté de faire partie de notre jury.

## Sommaire

Résumé

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction Générale..... 01

### Chapitre I : Revue bibliographique

#### Partie 1 : Généralités sur les nanoparticules

I- Introduction.....02

I-1-Définition des nanoparticules.....02

I-2-Classificationdesnanoparticules.....03

I-2-1- Classification de nanoparticules en fonction de leurs sources..03

I-2-1-1-Origine naturelle.....03

I-2-1-2-Origine humaine.....03

I-2-2 -Classification de nanomatériaux selon leurs formes

d'utilisation.....04

I-2-2-1-Matériaux de dimension 0.....04

I-2-2-2-Matériaux de dimension 1.....04

I-2-2-3- Matériaux de dimension 2 .....04

I-2-2-4-Matériaux de dimension 3 .....04

I-2-3 -Classification des nanomatériaux selon leur localisation au sein du composant / objet /produit considéré.....06

<b>I-3-Propriétés des nanomatériaux .....</b>	<b>06</b>
<b>I-3-1- Propriétés mécaniques.....</b>	<b>06</b>
<b>I-3-2- Propriétés électriques et magnétiques.....</b>	<b>07</b>
<b>I-3-3- Propriétés optiques.....</b>	<b>07</b>
<b>I-3-4- Propriétés de transfert thermique.....</b>	<b>07</b>
<b>I-3-5-Propriétés catalytiques .....</b>	<b>07</b>
<b>I-4-Paramètres caractéristiques physiques des nanoparticules.....</b>	<b>07</b>
<b>I-4-1- Taille .....</b>	<b>07</b>
<b>I-4-2- Diamètre équivalent.....</b>	<b>08</b>
<b>I-4-2-1-Le diamètre équivalent en masse.....</b>	<b>08</b>
<b>I-4-2-2- Le diamètre équivalent en volume .....</b>	<b>08</b>
<b>I-4-3 -Forme des particules .....</b>	<b>08</b>
<b>I-4-3-1-Facteur de forme dynamique.....</b>	<b>08</b>
<b>I-4-3-2- Morphologie fractale des particules.....</b>	<b>08</b>
<b>I-4-4- Propriétés de surface .....</b>	<b>08</b>
<b>I-4-5-Méthodesdesynthèdesdesnanoparticules.....</b>	<b>09</b>
<b>I-4-5-1-SynthèdesdesNPparSol-Gel .....</b>	<b>09</b>
<b>I-4-5-2- Synthèse par processus hydrothermal .....</b>	<b>10</b>
<b>I-4-5-3- Synthèse verte.....</b>	<b>10</b>
<b>I-5- Application de nanoparticules .....</b>	<b>12</b>
<b>I-6-Nanoparticules d'oxyde de zinc (ZnO).....</b>	<b>13</b>
<b>I-7-Propriétés physico chimique de ZnO .....</b>	<b>14</b>
<b>I-8-Caractérisation des nanoparticules de ZnO.....</b>	<b>15</b>

<b>I-9-Les applications de ZnO.....</b>	<b>16</b>
---	-----------

## **Partie 2 : Présentation de Plante *Camellia Sinensis***

<b>I-1-Historique .....</b>	<b>18</b>
<b>I-2-Définition du thé vert .....</b>	<b>18</b>
<b>I-3-Pays producteurs du thé.....</b>	<b>20</b>
<b>I-4- Composition chimique des feuilles de thé.....</b>	<b>20</b>
<b>I-5-Nomenclature et taxonomie .....</b>	<b>21</b>
<b>I-6-Descriptionbotanique .....</b>	<b>22</b>
<b>I-7- Métabolites secondaire du thé.....</b>	<b>23</b>
<b>I-8-les effets thérapeutiques du thé vert.....</b>	<b>23</b>

## **Chapitre II : Matériels et méthodes**

<b>II-1-Matériels.....</b>	<b>26</b>
<b>II-1-1-Matériel Végétal.....</b>	<b>26</b>
<b>II-1-2- Les produits chimiques.....</b>	<b>26</b>
<b>II-1-3- Appareillages.....</b>	<b>26</b>
<b>II-1-4- Matériels de laboratoire.....</b>	<b>26</b>
<b>II-2- Synthèse verte .....</b>	<b>27</b>
<b>II-2-1- Préparation d'extraitaqueux de plantecamilliasinensis .....</b>	<b>27</b>
<b>II-2-2-PréparationdesNPsd'OxydedeZinc.....</b>	<b>28</b>
<b>II-3-Characterisation des nanoparticulesde ZnO.....</b>	<b>29</b>
<b>II-3-1- Spectroscopie UV-Visible (UV-Vis) .....</b>	<b>30</b>
<b>II-3-1-1-Principe.....</b>	<b>30</b>
<b>II-3-1-2-Mode opératoire.....</b>	<b>30</b>
<b>II-3-2- Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier(ATR-FTIR).....</b>	<b>31</b>

II-3-2-1-Principe.....	31
II-3-2-2-Mode opératoire.....	31
II-4-Diffraction des rayons X (DRX).....	31
II-4-1-Principe.....	31
II-4-2-Mode opératoire.....	32
II-5-L'activitéantioxydantedes nanoparticulesd'oxydedezinc.....	34
II-5-1-Principe.....	34
II-5-2-Mode opératoire.....	34

### Chapitre III. Résultats et discussion

III-Introduction.....	37
III-1-Characterisations des nanoparticules de ZnO.....	37
III-1-Les résultats de spectrophotomètre (UV-Vis) .....	37
III-1-1-Effetdeconcentrationd'acétatede zinc dihydrate.....	37
III-1-2-Effetdutempsurlaformationde NPs ZnO.....	38
III-2-Les résultats de Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier(FTIR) .....	39
III-3- Les résultats de diffraction de rayonnement X (DRX).....	40
Conclusion .....	46
Références bibliographiques .....	46

## **Résumé:**

Le développement des nanotechnologies verte sa suscité l'intérêt des chercheurs pour la biosynthèse écologique des nanoparticules. Dans cette étude, la synthèse biogénique de nanoparticules d'oxyde de zinc stables a été réalisée à l'aide d'extraits de la plante *Camellia Sinensis*. Ces nanoparticules biosynthétique sont été caractérisées à l'aide d'un spectrophotomètre UV-vis , la diffraction des rayons X (DRX).La stabilité des nanoparticules d'oxyde de zinc bio-réduites a été analysée à l'aide de spectres d'absorption UV-vis .Il a été observé que l'extrait de *Camellia Sinensis* peut réduire les ions zinc dans les nanoparticules d'oxyde de zinc , la diffraction des rayons X (DRX) a également confirmé que la synthèse des NPs d'oxyde de zinc est due au plan cristallin de la phase cristalline ZnO. Par conséquent, cette méthode peut être utilisée pour la biosynthèse rapide et écologique de nanoparticules d'oxyde de zinc stables de taille 26-38 nm. D'autre part, les effets antioxydants des formes d'extrait et de nanoparticules sont été évalués par la méthode : test 2,2-diphényl-1-picryl hydrazyl (DPPH)

.Les résultats de l'activité antioxydante ont révélé que les nanoparticules d'oxyde de zinc ont une réduction et un piégeage importants des radicaux libres.

**Mots clés** : Nanoparticules ; Synthèse biogénique ;*Camellia Sinensis* ; activité antioxydant

## ملخص

لقد أدى تطوير تقنيات النانو الخضراء إلى إثارة اهتمام الباحثين عن التخليق الحيوي للجسيمات النانوية.

في هذه الدراسة، تم تحقيق التوليف الحيوي لجسيمات أكسيد الزنك النانوية باستخدام خلاصة نبات الكاميليا سينينسيس

تتميز هذه الجسيمات النانوية المصطنعة باستخدام مقياس الطيف الضوئي للأشعة فوق البنفسجية، وامتصاص الأشعة السينية (DRX) وقد لاحظت أن خروج كاميليا سينينسيس يمكن أن يقلل أيونات الزنك في الجسيمات النانوية لأكسيد الزنك، أكد DRX أيضاً أن تخليق الجسيمات النانوية من الزنك يرجع إلى خطة بلورية من طور البلوري ZnO لذلك، يمكن استخدام هذه الطريقة في عملية التخليق الحيوي السريع والبيئية لجسيمات أكسيد الزنك النانوية ذات الطول 26-38 نانومتر . من ناحية أخرى، تم تقييم تأثيرات مضادات الأكسدة من أشكال الخلاصات والجسيمات النانوية وفقاً للطريقة: اختبار (DPPH) تظهر نتائج النشاط المضاد للأكسدة أن الجسيمات النانوية من أكسيد الزنك تقوم بالاختزال وتخفيض نشاط الجذور الحرة.

**الكلمات المفتاحية:** الجسيمات النانوية؛ التوليف الحيوي، كاميليا سينينسيس؛ نشاط مضاد للأكسدة

## **Abstract**

The development of green nanotechnologies has aroused the interest of researchers in the ecological biosynthesis of nanoparticles. In this study, the biogenic synthesis of stable zinc oxide nanoparticles was carried out using extracts from the *Camellia Sinensis* plant. These biosynthetic nanoparticles were characterized using an UV–vis spectrophotometer, X-ray diffraction (XRD). The stability of the bio-reduced zinc oxide nanoparticles was analyzed using UV-vis absorption spectra. It was observed that the extract of *Camellia Sinensis* could reduce the zinc ions in the zinc oxide nanoparticles within, the XRD also confirmed that the synthesis of the NPs of zinc oxide is due to the crystal plane of the ZnO. Therefore, this method can be used for the rapid and environmentally friendly biosynthesis of stable zinc oxide nanoparticles with a size of 26-38 nm. On the other hand, the antioxidant effects of the extract and nanoparticle forms were evaluated by the method test :2,2-diphényl-1-picryl hydrazyl (DPPH).

The results of the antioxidant activity revealed that the zinc oxide nanoparticles have a significant reduction and scavenging of free radicals.

**Key words:** Nanoparticles; biogenic synthesis; *Camellia Sinensis*; antioxidant activity



## Liste des abréviations :

**NPs** Nanoparticules

**NPs ZnO** Nanoparticules d'oxyde de Zinc

**UV-VIS** Spectroscopie ultra-violet visible

**FT-IR** Spectroscopie Infrarouge à Transformée De Fourier

**FWHM** Full width at half maximum

**DRX** Diffraction des rayons X

**Zn<sup>+2</sup>** Ion de Zinc

**Nm** Nanometer (1nm=10<sup>-9</sup> m)

**Å** Angstrom (1Å=10<sup>-10</sup> m).

**D** Diamètre.

**λ** Longueur d'onde.

**K** Facteur de correction (0,9).

**β** Longueur à mi-hauteur.

**2θ** L'angle de Bragg

**DPPH** 2,2-diphényl-1-picryl hydrazyl (DPPH)

**IC50** Concentrations d'inhibiteurs qui provoquent une inhibition de 50%

## Liste des figures

Figure I-1 : les nanoparticules à la microscopie biologiques.....	2
Figure I-2: tailles des nanoparticules comparées à celles des principales structures chimiques et biologiques.....	3
Figure I-3: Classification de nanomatériaux selon leurs formes d'utilisation .....	5
Figure I-4 : Nanoparticule et poudre de ZnO.....	14
Figure I-5 :Lestrois types dethé.....	19
Figure I-6: Lesdeuxespècesprincipalesd'arbredethé.....	20
Figure I-7 : Laplante <i>CamelliaSinensis</i> .....	22
Figure II-1: Extraction de l'extrait aqueux de plante ( <i>camelliaSinensis</i> ).....	28
Figure II-2: Schéma illustrant le protocole de préparation de nanoparticule de ZnO...	29
Figure II-3 :Spectrophotomètre UV-visible à double faisceau de type Shimadzu UV-2401PC.....	30
Figure II-4 : Spectromètre FT-IR de type Agilent Cary 630.....	31
Figure II-5 : Schéma illustrant la loi de Bragg.....	32
Figure II-6 : Diffractomètre des Rayons X (X'Pert PRO PANalytical) Spectromètre FT-IR de type Agilent Cary 630.....	33
Figure II-7 : MécanismederéductionderadicalDPPH(Décolorationdelasolutiondu DPPH du violet au jaune).....	34
Figure III-1 : Les spectres UV-Vis des NPsZnO des solutions au cours du temps différents.....	38
Figure III-2 :Les spectres UV-Vis des NPs ZnO des solutions au cours du Concentrations différents pendant 1 heure.....	38
Figure III-3 : LesspectresUV-VisdesNPs ZnO dessolutionsaucoursdes concentrations différents pendant 2 heure.....	38
Figure III-4 :Spectre FTIR d'extrait de <i>CamilliaSinensi</i> set NPs d'oxyde de zinc.....	39

Figure III-5 : Spectres DRX de la poudre synthétisée par la synthèse verte à concentration C <sub>1</sub> d'acétate de zin dans 100 ml d'extrait à 85°C pendant 1heure.....	42
Figure III-6 : Spectres DRX de la poudre synthétisée par la synthèse verte à concentration C <sub>2</sub> d'acétate de zinc dans 100ml d'extrait à 85°C pendant 1heure.....	42
Figure III-7 : Spectres DRX de la poudre synthétisée par la synthèse verte à concentration C <sub>3</sub> d'acétate de zinc dans 100 ml d'extrait à 85°C pendant 1heure.....	43
Figure III-8 :Pourcentages d'inhibition du DPPH• en fonction des concentrations des échantillons des nanoparticules d'oxyde de zinc synthétisés en utilisant l'extrait des feuilles de <i>Camellia Sinensis</i> .....	45

## Listes des tableaux

<b>Tableau I-1</b> :Classification des nanoparticules en fonction de leur composition chimique.....	6
<b>Tableau I-2</b> : Quelques nanoparticules et leurs applications majeures.....	13
<b>Tableau I-3</b> :Propriétés physicochimiques de ZnO.....	15
<b>Tableau I-4</b> :Position taxonomique de <i>Camellia Sinensis</i> .....	21
<b>Tableau III-1</b> :Résultats de Calcul de la taille de particules synthétisées par L'extrait de feuille de <i>Camellia Sinensis</i> .....	44

**Introduction**

**Générale**

### Introduction générale

Les nanomatériaux sont un domaine de recherche crucial, suscitant l'intérêt pour diverses applications dans les domaines industrie catalytique, de la santé, etc... [1].

L'oxyde de zinc (ZnO) est l'un des matériaux qui offre de nombreux avantages grâce à ses propriétés physiques très intéressantes [2].

De plus, il présente une excellente stabilité chimique et thermique. Par conséquent, la conception de nanostructures de ZnO de formes et de tailles différentes est très importante à la fois pour la recherche fondamentale et le développement de nouveaux dispositifs à l'échelle industrielle

Les méthodes physiques et chimiques de synthèse des nanoparticules de ZnO ont des limites. Les méthodes physiques sont coûteuses et difficiles à mettre à l'échelle, tandis que les méthodes chimiques sont également coûteuses et peuvent contaminer avec des produits chimiques toxiques, ce qui les rend inadaptées aux applications médicales.

Notre étude vise à produire des nanoparticules d'oxyde de zinc par synthèse verte, une méthode simple, rentable et reproductible, aboutissant à des matériaux d'origine végétale aux propriétés morphologiques, granulométries et formes variées, adaptés à diverses applications et respectueux de l'environnement. Notre travail se compose de trois chapitres :

**Le premier chapitre** : est divisé en deux parties une étude bibliographique sur les propriétés générales des nanoparticules et les méthodes physiques/chimiques/biologiques de synthèse des nanoparticules de ZnO, ainsi qu'une représentation botanique de *Camellia Sinensis* et sa classification phylogénétique.

**Le deuxième chapitre** : traite de la synthèse de nanoparticules de ZnO à l'aide d'extrait de *camellia Sinensis* et d'acétate de zinc à des concentrations variables, avec caractérisations par UV-VIS, IRTF, DRX et tests antioxydants.

**Le dernier chapitre** : réservé à la discussion des résultats.

Enfin, une conclusion générale résumant les principaux résultats obtenus au cours de travail et les perspectives de poursuite de cette étude.

# **Chapitre I**

## **Revue bibliographique**

**Partie1 :**  
**Généralités sur les**  
**nanoparticules**

## I- Introduction:

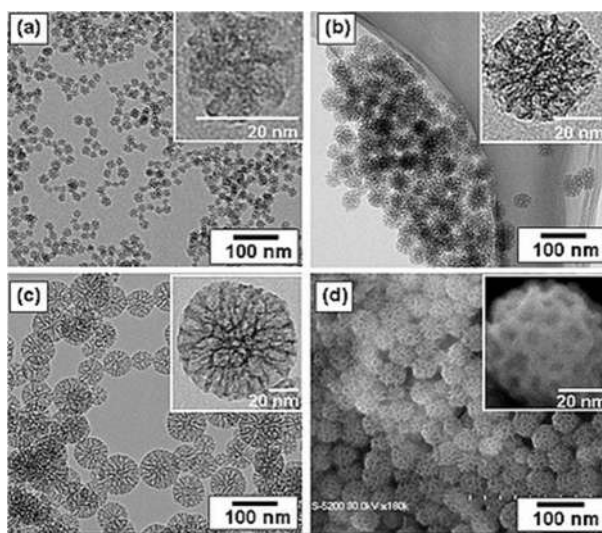
Depuis sa découverte, les nanoparticules ont ouvert la voie à de nouvelles avancées technologiques dans Divers secteurs industriels. Ce chapitre explore les propriétés des nanoparticules, les nanotechnologies associées, leur application pratique et leurs implications dans industrie [3].

### I-1-Définition des nanoparticules

Les nanoparticules sont des particules de taille nanométrique et sont généralement mesurées dans au moins 1 dimension comprise entre 1 et 100 nanomètres. Ils ont souvent des propriétés uniques en raison de leur petite taille, telles que de grandes surfaces spécifiques et des propriétés quantiques [4].

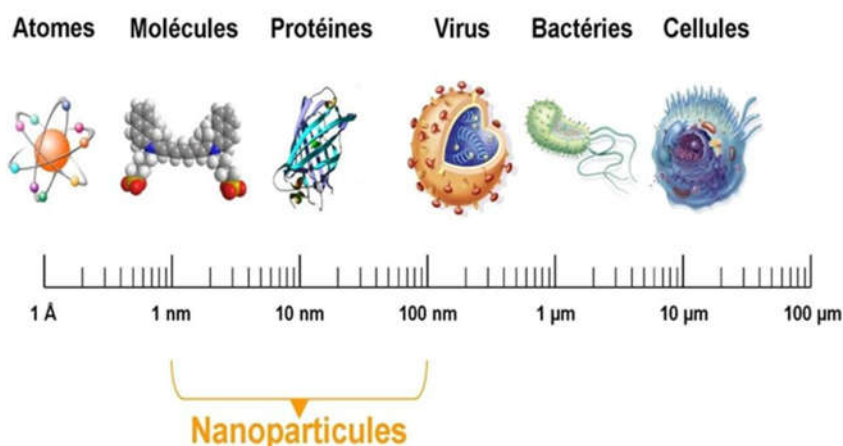
Les nanoparticules sont de minuscules structures composées de millions d'atomes, formant des molécules dont la taille se situe généralement entre 5 et 200 nanomètres (nm), comme mentionné par Faraji et Wipf en 2009. Plus généralement, on considère que les nanoparticules ont une taille inférieure à 1 micromètre (1  $\mu\text{m}$ ). Cette échelle de taille les place dans la même catégorie que les protéines et les virus, ce qui souligne à quel point elle sont minuscules et potentiellement influentes dans divers domaines, notamment en nanotechnologie, en médecine et en ingénierie des matériaux

(Figure I-1)[5].



**Figure I-1** : les nanoparticules à la microscopie biologiques [6].

Les nanoparticules peuvent être composées de divers matériaux, organiques ou inorganiques. Voici une description des nanoparticules les plus courantes



**Figure I-2** : tailles des nanoparticules comparées à celles des principales structures chimiques et biologiques [5].

## I-2-Classification des nanoparticules

### I-2-1-Classification de nanoparticules en fonction de leurs sources

#### I-2-1-1-Origine naturelle

##### a- Biologique

L'ADN, ou acide désoxyribonucléique, est une molécule biologique présente dans une cellule et qui contient des informations génétiques. Sa structure à la forme d'une double hélice et son diamètre est d'environ 2,5 nanomètres (nm). D'autre part, la taille des bactéries varie de 30 nanomètres à 10 micromètres (10 μm). Enfin, le virus est encore plus petit, avec une taille de 10 à 60 nanomètres [3].

##### b- Minérale ou environnementale

La fraction fine du sable de désert, les fumées originaires d'activité volcanique ou de feux de forêt et certaines poussières atmosphériques [7].

#### I-2-1-2-Origine humaine

Les nanoparticules manufacturées, également appelées "engineered nanoparticles", sont des particules fabriquées à des fins spécifiques, souvent dans le domaine de la technologie. Elles peuvent être utilisées dans divers produits tels que les peintures, les revêtements, les cosmétiques, les produits pharmaceutiques, etc. Les exemples que vous avez donnés, comme les particules d'oxyde de titane et les métaux ultrafins, sont des exemples courants de nanoparticules

manufacturées [8].

## **I-2-2 -Classification des nanomatériaux selon leurs formes d'utilisation**

### **I-2-2-1-Matériaux de dimension 0**

Les matériaux dispersés peuvent exister sous différentes formes, qu'ils soient aléatoires ou organisés. Dans le cas des cristaux colloïdaux, ils présentent une organisation particulière à l'échelle microscopique, ce qui leur confère des propriétés optiques uniques. Ces cristaux sont généralement constitués de particules colloïdales, comme des microsphères ou des nanoparticules, dispersées dans un milieu. Lorsque ces particules sont organisées de manière périodique, elles interfèrent avec la lumière de façon constructive ou destructive, ce qui donne lieu à des phénomènes optiques fascinants, tels que l'iridescence ou la photonic band gap [9].

### **I-2-2-2-Matériaux de dimension 1**

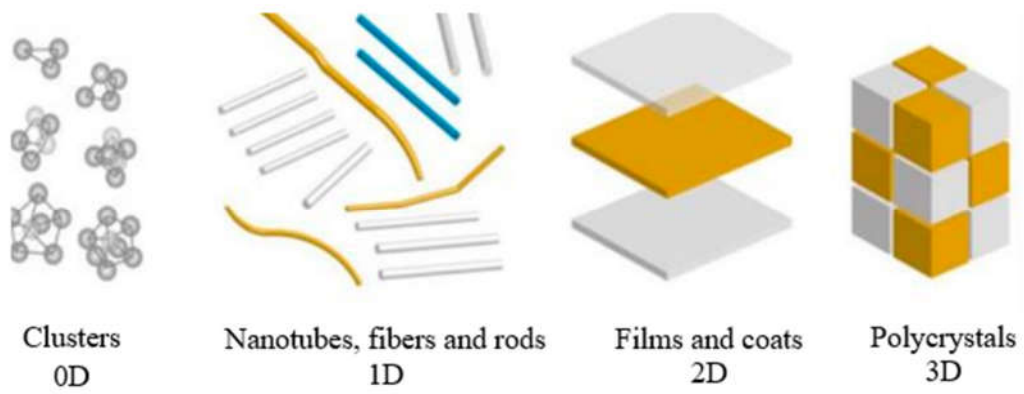
Les matériaux sous forme de nano-fils ou de nanotubes sont des matériaux qui présentent des dimensions à l'échelle nanométrique, c'est-à-dire des diamètres de l'ordre du nanomètre ( $10^{-9}$  m) ou des longueurs de l'ordre du micromètre ( $10^{-6}$  m) ou moins. Ces structures sont souvent fabriquées à partir de matériaux tels que le carbone, le silicium, ou des composés métalliques et peuvent avoir une gamme de propriétés intéressantes en raison de leur taille et de leur structure uniques [10].

### **I-2-2-3- Matériaux de dimension 2**

Un matériau sous la forme d'une couche mince, tels que des agrégats ou des dépôts de revêtement épais obtenus par projection plasma ou voies électrochimiques[10].

### **I-2-2-4-Matériaux de dimension 3**

Dans les céramiques, la structure atomique est ordonnée et régulière, ce qui leur confère des propriétés spécifiques telles que la dureté, la résistance à la chaleur et la résistance à la corrosion. Les céramiques nanostructures, qui ont une taille de grains nanométrique, peuvent afficher des performances améliorées par rapport aux céramiques traditionnelles en raison de leur surface spécifique accrue et de leur capacité à former des interfaces avec d'autres matériaux [11].



**Figure I-3** :Classification de nanomatériaux selon leurs formes d'utilisation [10].

### I-2-3 -Classification des nanomatériaux selon leur localisation au sein du composant / objet /produit considéré

**Tableau I-1:** Classification des nanoparticules en fonction de leur composition chimique [12].

Matériaux	Matériaux à base de carbone	Matériaux à base de métaux	Dendromètres	Matériaux Opposites
<b>Definitions</b>	Les matériaux à base de carbone qui ont une forme sphérique ou tubulaire sont souvent regroupés sous le terme de nanomatériaux carbonés.	Les matériaux contenant un élément chimique métallique sont très répandus et variés.	polymères ramifiés avec des cavités intérieures vides.	Les matériaux résultant de la combinaison entre des nanoparticules et un autre matériau à l'échelle nano sont souvent appelés nano composites.

### I-3-Propriétés des nanomatériaux

Les nanomatériaux ont de nombreuses propriétés spéciales, notamment les suivantes, comme décrit dans le rapport "Nanomatériaux : Impact sur la santé humaine et l'environnement

Les principales sont les suivantes :

#### I-3-1- Propriétés mécaniques

Les structures à l'échelle nanométrique ont souvent des propriétés physiques et mécaniques uniques en raison de leur plus petite taille. En termes de résistivité mécanique, l'introduction d'une structure à l'échelle nanométrique peut améliorer

la résistance aux contraintes, la ductilité, l'élasticité et d'autres propriétés mécaniques du matériau[13].

### **I-3-2-Propriétés électriques et magnétiques**

Certains nanomatériaux présentent des propriétés électriques et magnétiques uniques en raison de leur structure à l'échelle nanométrique. Ces propriétés peuvent être utilisées dans des domaines tels que l'électronique, la spintronique et le stockage de données [14].

### **I-3-3-Propriétés optiques**

Les nanoparticules peuvent améliorer la transparence de la matière en raison de leur taille par rapport aux longueurs d'onde de la lumière visible. Lorsque la taille des particules est inférieure à la longueur d'onde de la lumière visible (environ 400 à 700 nanomètres), elles peuvent interférer moins avec la lumière, ce qui peut rendre le matériau plus transparent [13].

### **I-3-4- Propriétés de transfert thermique**

Les nanoparticules peuvent en effet améliorer la conductivité thermique d'un matériau [15].

### **I-3-5-Propriétés catalytiques**

Il existe des nanomatériaux qui peuvent jouer le rôle d'un catalyseur pour une réaction

Spécifiée par exemple : les nanoparticules d'or avec la réaction d'oxydation du monoxyde de carbone (CO) [13].

## **I-4-Paramètres caractéristiques physiques des nanoparticules**

### **I-4-1-Taille**

Les nanomatériaux ont des dimensions à l'échelle nanométrique, ce qui signifie qu'ils sont extrêmement petits, souvent de l'ordre de quelques nanomètres à quelques centaines de nanomètres. Cette petite taille leur confère des propriétés uniques et des comportements différents de leurs homologues à plus grande échelle.

Ce sont des groupes de particules liées par des forces relativement faibles, comme les forces de Van der Waals, les forces électrostatiques ou encore les forces provoquées par les tensions de surface [14].

## **I-4-2-Diamètre équivalent**

Les nanoparticules peuvent prendre différentes formes et il est difficile de caractériser leur taille. Les diamètres équivalents de masse, de volume, d'optique, d'aérodynamique, de Stokes, de thermodynamique et de mobilité électrique sont des paramètres importants utilisés pour caractériser les nanoparticules selon différentes propriétés physiques et chimiques.[14].

Voici une brève explication des diamètres les plus couramment utilisés :

### **I-4-2-1-Le diamètre équivalent en masse :**

Correspond au diamètre d'une sphère de même densité et de même masse

### **I-4-2-2- Le diamètre équivalent en volume**

Correspond au diamètre d'une sphère ayant le même volume que la particule. C'est une mesure utile pour caractériser la taille des particules en suspension dans un fluide [16].

## **I-4-3-Forme des particules**

Caractérisation des nanoparticules va bien au-delà des diamètres équivalents. La forme des particules est un aspect crucial qui peut influencer leurs propriétés et leur comportement dans diverses applications. Les facteurs que vous avez mentionnés jouent un rôle important dans la caractérisation des nanoparticules et des agrégats de particules [16]

### **I-4-3-1-Facteur de forme dynamique**

Il prend en compte la manière dont la forme des particules peut changer en réponse à des forces externes, telles que l'agitation ou la déformation [17].

### **I-4-3-2- Morphologie fractale des particules**

La morphologie fractale décrit la complexité géométrique des particules à différentes échelles. Les nanoparticules peuvent présenter des structures fractales qui influent sur leur surface spécifique et leurs propriétés de transport [17].

## **I-4-4- Propriétés de surface**

Les réactions des nanoparticules avec leur environnement sont largement influencées par leur surface. La surface des nanoparticules est cruciale car elle représente l'interface entre la particule et son environnement, que ce soit un milieu liquide, gazeux ou solide.

La caractérisation des nanoparticules en fonction de leur surface exposée est donc essentielle pour comprendre et prédire leur comportement dans différents contextes. Comparer les nanoparticules sur la base d'une surface exposée équivalente permet de mieux évaluer et interpréter leurs interactions avec leur environnement [16].

### **I-4-5- Méthodes de synthèse des nanoparticules**

Les nanoparticules ont en effet été synthétisées dans une variété de compositions et de structures, allant du TiO<sub>2</sub> au ZnO en passant par le WO<sub>3</sub> et l' $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ainsi que leurs formes dopées. Le processus de fabrication a fait appel à diverses méthodes, notamment chimiques, physiques et mécaniques.

L'intérêt technologique réside principalement dans le contrôle de la taille des particules et de leur morphologie, une tâche souvent délicate. Les méthodes chimiques humides, telles que le sol-gel, l'hydro/solvothermal et le polyol, offrent un potentiel significatif pour la production de nanoparticules en raison de leur capacité à fournir une homogénéité chimique et une diversité morphologique supérieures par rapport aux méthodes physiques et mécaniques[16].

#### **I-4-5-1- Synthèse des NPs par Sol-Gel**

Le sol-gel est en effet une méthode fascinante de synthèse de matériaux, offrant une grande polyvalence dans la création de divers produits, notamment les nanoparticules d'oxyde. Cette technique permet de contrôler avec précision la structure et les propriétés des matériaux obtenus. La formation des nanoparticules d'oxyde par sol-gel implique généralement la préparation d'une solution homogène de précurseurs métalliques, suivie d'un traitement thermique pour obtenir l'oxyde désiré et favoriser la formation de cristaux.

Le choix des conditions de traitement thermique est crucial car il détermine la forme finale du matériau, qu'il s'agisse de poudres ou de xérogels. Ces conditions thermiques sont influencées par la nature des précurseurs utilisés et les objectifs spécifiques de la synthèse [17].

Bien que le sol-gel offre de nombreux avantages, tels que la simplicité, la rapidité et la facilité dans différents types de revêtements, il présente également des défis, notamment le coût élevé des précurseurs alcoxydes et la manipulation de grandes quantités de solvants.

Il existe deux principales méthodes de synthèse par voie sol-gel : la voie métal-organique et la voie de Pechini. Chacune de ces méthodes présente ses propres

avantages et inconvénients, et le choix entre elles dépend souvent des exigences spécifiques de la synthèse et des préférences du chercheur.

En résumé, le sol-gel offre une méthode puissante et polyvalente pour la synthèse de matériaux, en particulier de nanoparticules d'oxyde, avec un contrôle précis sur la structure et les propriétés des produits finaux [18][20].

#### **I-4-5-2- Synthèse par processus hydrothermal**

La méthode hydrothermale, développée par Roderick Murchison au 19ème siècle, est une technique de synthèse de matériaux qui implique des réactions chimiques réalisées dans un environnement aqueux à haute pression et haute température. Son mécanisme repose sur la dissolution de composés précurseurs dans l'eau à des conditions extrêmes, où ils sont généralement insolubles à température et pression ambiantes. Ensuite, ces composés précipitent et se cristallisent sous forme de particules solides à partir de la solution [21].

L'environnement hydrothermal offre des conditions idéales pour la formation de matériaux avec une certaine cristallinité et une morphologie contrôlée, en favorisant la nucléation et la croissance des particules solides. Cette méthode est largement utilisée dans divers domaines, tels que la synthèse de nanoparticules, la croissance de cristaux, la préparation de matériaux céramiques et la fabrication de catalyseurs. Elle permet d'obtenir des matériaux avec des propriétés spécifiques qui peuvent être ajustées en contrôlant les paramètres hydrothermaux tels que la température, la pression, le pH et la composition de la solution.

Dans le processus de formation des phases stables lors de la méthode hydrothermale, les liaisons iono-covalentes fortes sont essentielles pour la construction de la structure cristalline elle-même. Ces liaisons sont responsables de maintenir les atomes ensemble dans des arrangements spécifiques qui définissent la structure cristalline [22] [23] [25].

#### **I-4-5-3- Synthèse verte**

Biosynthèse de nanoparticules est devenue de plus en plus importante en raison de ses avantages économiques et environnementaux par rapport aux méthodes traditionnelles.

L'utilisation d'extraits de plantes et de microorganismes offre une approche écologiquement durable pour la fabrication de nanoparticules [26]. Ces méthodes, souvent appelées méthodes vertes, contribuent à réduire les coûts en minimisant l'utilisation de produits chimiques coûteux et en limitant la production de déchets. En exploitant les capacités naturelles des plantes et des microorganismes pour

synthétiser des nanoparticules, les chercheurs peuvent contourner les processus physiques et chimiques coûteux tout en maintenant un niveau élevé d'efficacité [27] [28]. De plus, en effectuant ces opérations dans des milieux aqueux, les scientifiques peuvent non seulement réduire les risques liés à l'utilisation de solvants organiques, mais aussi rendre les processus de synthèse plus compatibles avec des applications biologiques et médicales

En résumé, la biosynthèse de nanoparticules représente une avenue prometteuse pour répondre aux besoins croissants dans divers domaines, tout en promouvant des pratiques durables et respectueuses de l'environnement.

La synthèse verte offre une perspective prometteuse pour aborder les défis liés à la pollution et à la préservation de l'environnement. Contrairement aux méthodes traditionnelles de synthèse de nanoparticules de ZnO qui requièrent des conditions de haute pression et température, ainsi que des procédés énergivores, la synthèse verte offre une alternative plus écologique et économique.

Les méthodes de synthèse conventionnelles, qu'elles soient physiques ou chimiques, peuvent générer des déchets indésirables et impliquer l'utilisation de produits chimiques nocifs. En revanche, la synthèse verte utilise des ressources naturelles telles que des extraits de plantes ou des microorganismes, offrant ainsi une voie de production respectueuse de l'environnement [29] [31].

Les plantes offrent une solution particulièrement intéressante en raison de leur disponibilité, de leur sécurité d'utilisation et de leur capacité à transformer efficacement les métabolites, contribuant ainsi à la réduction des composés métalliques. Les phytochimiques végétaux et les enzymes microbiennes agissent souvent comme des agents de réduction dans ces processus, notamment les composés phénoliques qui jouent un rôle crucial.

En adoptant une approche ascendante, la synthèse verte se concentre sur la réduction et l'oxydation comme réactions principales. Elle favorise l'utilisation de précurseurs non toxiques, réduit la température de réaction et minimise les rejets de sous-produits indésirables, contribuant ainsi à la réduction de la pollution.

En résumé, la synthèse verte des nanoparticules offre une méthode innovante et respectueuse de l'environnement pour produire des matériaux précieux comme le ZnO, avec des avantages significatifs en termes de durabilité, d'économie d'énergie et de sécurité [32].

## **I-5- Application de nanoparticules**

Capacité à contrôler la composition, la structure, les propriétés et les fonctions de Les matériaux à l'échelle nanométrique peuvent leur donner une polyvalence d'application De nombreuses régions d'utilisation en constante expansion. Pas de liste Une utilisation exhaustive peut être conçue en fonction de leur composition chimique ou de nombreux domaines d'application. Les principaux domaines sont

### **(Tableau I-2)**

- Médical (imagerie, vectorisation de médicaments, dispositifs médicaux, etc.)
- Cosmétiques
- Transport et espace (peinture, pneumatiques, revêtements, etc.)
- Bâtiment (nouveaux matériaux, etc.)
- Agriculture (nanopesticides, nanocapteurs, etc.)
- Électronique ;
  - Textiles (antibactérien...)
  - Environnement (stockage pour batteries, traitement eaux...)
- Alimentation (additifs, emballage, nanocapteurs...)
- Loisir et sport (amélioration des équipements...)
- Défense nationale (nanorobots, exosquelettes...) [33].

**Tableau I-2 : Quelques nanoparticules et leurs applications majeures [34]**

<b>Nanoparticules</b>	<b>Applications</b>
<b>Oxyde d'aluminium</b>	Polissage optique, cosmétiques et vêtements.
<b>Céramique</b>	Électronique, antioxydants, et polissage automobile.
<b>Gold</b>	Étiquettes pour l'immunocytochimie et la détection des risques biologiques.
<b>Cuivre ou oxyde de cuivre</b>	Additif pour huile de lubrification, électronique et traitement informatique, revêtement conducteurs, encres pour imprimantes, additifs de frittage. Crème anti-âge et revitalisant pour la peau.
<b>Oxyde de fer</b>	Ultrafiltration et oxydation réduction catalysât.
<b>Argent</b>	Antibactérien utilisé dans le traitement de l'eau, adoucissant textile, vêtements, jouets mous, pansements.
<b>Oxyde de zinc</b>	Crème solaire, produits cosmétiques, pour le pied. Déodorant et cire pour voiture.

### **I-6- Nanoparticules d'oxyde de zinc (ZnO)**

Les nanoparticules d'oxyde de zinc (ZnO NPs) sont le deuxième oxyde métallique le plus abondant après le fer. Elles sont peu coûteuses, sûres et faciles à préparer [33]. Le NPs du ZnO est un Poudre blanche inodore d'un poids moléculaire de 81,38 g/mol. Ses nombreux Les applications sont dues aux propriétés optiques, magnétiques, morphologiques, électriques, Catalyse unique, mécanique et photochimique qui peut être facilement modifiée pour Si nécessaire : en changeant la taille, en se dopant avec des composés supplémentaires, ou En ajustant les conditions de synthèse. Plus la taille des particules sont réduite, plus Les propriétés requises n'ont été améliorées [36].



**Figure I-4 : Nanoparticule et poudre de ZnO [36]**

### **I-7-Propriétés physico chimique de ZnO**

L'oxyde de zinc est thermochromique et passe du blanc au jaune lorsqu'il est chauffé, Dans l'air, il redevient blanc lorsqu'il est refroidi. Ce phénomène est dû à de très faibles pertes d'oxygène à haute température.

**Tableau I-3 : Propriétés physicochimiques de ZnO [35].**

Formule brute	ZnO
Solubilité	-Il est presque insoluble dans l'eau et l'alcool. -Il est soluble dans l'acide chloridrique et forme ZnCl <sub>2</sub> . -Il est soluble dans l'acide acétique et forme l'acétate de zinc de forme Zn(C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>
Masse molaire	81,37
Temperature de fusion	1975°C
Densité	5,60 g/cm <sup>3</sup>
Force de liaison chimique	66 Kcal/mol
Temperature de vaporisation	1370°C-1400°C

### I-8-Caractérisation des nanoparticules de ZnO

Les propriétés optiques du Nps biosynthétique de ZnO ont été caractérisées en utilisant ce qui suit. Différentes techniques analytiques. Tout d'abord, la spectroscopie ultraviolet-visible (UV-Vis) est La technique de réduction utilisée pour la synthèse du NP de Zno a été contrôlée pour vérifier. La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier a été utilisée pour détecter la présence de biomolécules potentielles et groupes fonctionnels. La diffraction des rayons X est utilisée Afin de vérifier la formation, le comportement cristallin et la qualité de la poudre de ZnO NP, la poudre de ZnO NP est utilisée pour vérifier le comportement cristallin et la qualité de la poudre de ZnO NP Bio réduction [38].

---

## **I-9-Les applications de ZnO**

Les nanoparticules sont appliquées également dans :

- Peinture ;
- Diodes laser UV
- Cellules photovoltaïque
- Des traceurs biologiques
- L'alimentation du bétail
- L'industrie pharmaceutique
- L'industrie du caoutchouc et plastique
- Dispositif à onde acoustique de surface
- Capteurs à gaz conducteurs
- Diodes électroluminescentes
- Cellules solaires basé sur le Si-H
- Sondes de gaz
- Fenêtres optiques comme électrodes pour des piles solaires [39] [40].

# **Partie 2 :**

# **Présentation sur**

# **Le thé vert**

## I-1-Historique

Il existe de nombreuses légendes sur l'origine du thé, une boisson consommée depuis l'Antiquité. Selon les rumeurs, sanonne au corps d'homme et à la tête de vache aurait été la première à explorer ce "nectar". Un jour très chaud, allongé à l'ombre d'un arbuste, il aurait fait bouillir de l'eau et bu. Une brise fraîche souffle, 3feuilles sortent de l'arbre et se jettent dans l'eau bouillante, et c'est ainsi qu'est apparue la fameuse boisson .Père de la médecine chinoise, il affirma plus tard dans son "Traité sur les plantes" que "le thé vert soulage la fatigue, renforce la volonté, remplit l'âme et ravive la vision [40].

## I-2-Définition du thé vert

Le thé (*Camellia Sinensis*) est la boisson la plus consommée au monde après l'eau. Les théés d'activité contiennent très peu de calories et sont disponibles dans toutes les couleurs, et chaque couleur correspond à un certain type de thé vert, qui a un antioxydant plus important que les autres types de théés [42].

Le thé vert est une boisson à base de feuilles séchées de la plante *Camellia Sinensis*. En Occident, où le thé noir est souvent bu, le thé vert devient de plus en plus populaire. C'est l'ingrédient principal du thé à la menthe. Il existe 3 types de thé :

Le thé vert, le thé oolong et le thé noir.

Ces personnes proviennent de la même usine, mais sont traitées différemment

(Figure I-5).



Figure I-5: Lestrois types dethé[43] [44][45].

Les trois principales espèces de théiers :

C'est *Camellia Sinensis* var. *Sinensis* :

Les plus petits, même à l'état sauvage, leur taille ne dépasse pas 5 mètres. Les feuilles mesurent de 3 à 10 cm. Ce théier de "type chinois" supporte plus et a été exporté vers le Japon, la Russie, l'Iran, la Turquie, etc.

Le plus grand, originaire de la région de l'Assam en Inde, peut atteindre plus de 15 mètres. Ses feuilles mesurent 20 cm. *Assamica* et ses hybrides sont plus adaptés aux plaines et régions de mousson.

C'est *Camellia Sinensis* var. *Cambodge*

Intermédiaire entre *Sinensis* et *Assamica*, il est principalement utilisé pour l'accouplement [46].

(Figure I-6).



**A:** *Camellia Sinensis* var. *Sinensis*

**B :** *Camelliasinensis* var. *assamica*

**Figure I-6 :** Les deux espèces principales d'arbres de thé [46].

### **I-3- Pays producteurs du thé**

Le thé est cultivé principalement en Asie, en Afrique et en Amérique latine.

Mer Noire et mer Caspienne. Les 4 plus grands producteurs de thé aujourd'hui sont :

Chine, Inde, Kenya, Sri Lanka. Ensemble, ils représentent 75% de la production

Dans le monde entier [47]

#### **I-4-Composition chimique des feuilles de thé**

Dans la nature, les feuilles de thé contiennent des milliers de composés.

Une fois traité, il forme des complexes et de nouveaux composés. Lorsque nous injectons

Feuilles de thé, nos sens sont stimulés par des milliers de composés volatils et non volatils.

Les feuilles de thé sont essentiellement constituées d'eau et commencent dès qu'elles sont cueillies

Se fanent rapidement et perdent de l'eau. C'est fait, et cette paroi cellulaire commence à Dans cette réaction d'oxydation, l'ingrédient actif entre en contact ensemble avec de l'oxygène les uns aux autres.

L'ingrédient actif et sa concentration varient considérablement d'un thé à l'autre, également en fonction de son stade de traitement ou de perfusion et des méthodes de mesure être utilisées. À titre informatif, voici les pourcentages relatifs par liste et poids, garrot, roulement Séchage Fermentation dépiquetage thé vert, séchage tamisage thé rouge thé noir.

Le principal ingrédient actif du thé impliqué dans son goût, sa texture et son apparence effets sur le corps [48] :

- Polyphénols : 30 %
- Glucides : 25%
- Protéines (acides aminés, enzymes) : 15 %
- Alcaloïdes : 3 %
- Minéraux : 3 %
- Pigments : 0,5 %
- Substances volatiles : 0,1 %

#### **I-5-Nomenclature et taxonomie**

Le thé vert (*Camellia Sinensis*) a été décrit par Linné et inclus dans sa classification en 1773. Voici les classifications créées par Cronquist en 1981 [49].

**Tableau I-4** : Position taxonomique de *Camellia Sinensis*.

<b>Règne</b>	Plante
<b>Division</b>	Magnoliophyta
<b>Classe</b>	DicotylédonesouMagnoliopsida
<b>Order</b>	Theales
<b>Famile</b>	Theaceae
<b>Genre</b>	<i>Camellia</i>
<b>Espèce</b>	<i>Camellia Sinensis(L.)</i> .

### I-6-Description botanique

Beaucoup de gens pensent que le théier est un buisson, à cause de sa coupe rase du sol pour faciliter la cueillette dans les plantations. Mais le théier est un arbre à part entière, pouvant atteindre, selon l'espèce, 5 à 15 mètres. (Certains théiers sauvages du Yunnan ; province en Chine, ont près de 2000 ans et dépassent les 25m). Le théier, de son vrai nom « *Camellia Sinensis* » est donc littéralement un « *Camélia Chinois* ». Cet arbre à feuilles persistantes, pousse à l'état sauvage dans les régions d'Asie au niveau du tropique nord, sous un climat de mousson. On situe son berceau 60 millions d'années avant notre ère aux sources du fleuve Irrawaddy au pied de l'Himalaya, entre la Chine et l'Inde[50] [52].(Figure I-7)



**Figure I-7 :** La plante *Camellia Sinensis* [52].

### *Camellia Sinensis*

#### **Théier**

**Famille:** Theaceae (Théacées)

**Autres nom:** tcha, thé vert, thé de Chine, thé noir

**Origine:** Chine et Inde

**Taille:** arbre pouvant mesurer jusqu'à 10m

**Caractéristiques:** Feuilles dentées et coriaces et fleurs odoriférantes

#### **I-7-Métabolites secondaires du thé vert :**

Le thé vert est particulièrement riche en un très grand nombre de métabolites secondaires. Actuellement, de nombreuses études scientifiques montrent que le thé est une source d'antioxydants qui renforcent les défenses naturelles. Parmi eux se trouvent des phénols (composés amers contenant des tanins, des catéchines), des saponines, des huiles essentielles, des acides aminés (L-théanine), des vitamines, des minéraux, des oligo-éléments, des alcaloïdes (y

compris la caféine). La particularité du thé *Camellia Sinensis* est que, parce que les composants chimiques contenus sont très solubles, ces derniers sont extraits dans l'eau et sont biologiquement disponibles, en particulier par le corps humain, et sont similaires [53]

En d'autres termes, si vous prenez des feuilles de thé sans les infuser d'eau chaude, la plupart des ingrédients ne seront plus absorbés par le système digestif. Cette découverte distingue le thé vert d'un certain nombre de plantes médicinales qui ont un effet limité lorsqu'elles sont consommées sous forme soluble. Par conséquent, comptez les composants solubles dans les corps gras, tels que la vitamine A (rétinol), la vitamine D, la vitamine E, la vitamine K. Mais il existe un processus d'extraction du thé vert et de réduction en poudre pour les catéchines qui sont bonnes pour la santé et tolèrent bien le corps sous cette forme [54].

### **I-8-Les effets thérapeutiques du thé vert**

Le thé vert est une plante médicinale naturelle très puissante. Elle a des applications dans la prévention et le traitement d'un très grand nombre de maladies. Voici quelques-unes de

Ses propriétés médicinales : [43]

- Un des plus puissants antioxydants (neutralise les radicaux libres).
- Puissant désintoxiquant.
- Baisse du cholestérol dans le sang.
- Active le métabolisme.
- Stimule la brûlure des graisses.
- Augmente la sensibilité à l'insuline (baisse du risque de diabète de type 2).
- Aide à la prévention de différents cancers, de l'artériosclérose, des maladies cardiovasculaires.
- Effet anti-inflammatoire.
- Effet antiviral, antibactérien, antifongique.
- Effet anti-angiogénique (détruit l'arrivée d'oxygène vers les tumeurs).

- Effet anti-hypertenseur (réduction de la tension artérielle).
- Aide à la digestion.

# Chapitre II

## Matériel

## et Méthodes

## **Chapitre II Matériel et Méthodes**

---

Dans ce chapitre, la méthodologie a été utilisée pour la synthèse des nanoparticules d'oxyde de zinc à partir de thé vert

### **II-1 – Matériel**

#### **II-1-1-Matériel végétal**

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est la plante de :

- *Camellia Sinensis* (thé vert).

#### **II-1-2-Les produits chimiques**

- L'eau distillée
- L'acétate de zinc dihydrate
- Éthanol absolu
- 2,2-diphényl-1-picryl hydrazyl (DPPH)

#### **II-1-3-Appareillages**

- Balance électrique
- Agitateur magnétique
- L'étuve statique.
- Centrifugeuse
- Four à moufle
- Dessiccateur
- Spectroscopie Ultra-violet UV
- Diffractométrie de rayons X
- Spectroscopie infrarouge à transformé de fourrier (FT-IR).

#### **II-1-4-Matériels de laboratoire**

- Béchers.
- Verre de montre.
- Spatule
- Entonnoir
- Erlenmeyer

- Barreau magnétique.
- Tubes à essais
- Papier filtre.

### II-2-Synthèse verte

#### II-2-1-Préparation d'extrait aqueux de plante *Camellia Sinensis*

Les feuilles de plante sont bien lavées à l'eau du robinet, puis à l'eau distillée, puis laissez bien sécher pendant quelques jours à température ambiante

Après le séchage le matériel végétal a été broyée jusqu'à l'obtention d'une poudre fine.

L'extrait aqueux a été préparée en agitation de 30g de matériel végétal (*camellia Sinensis*) dans 300ml de l'eau distillée dans un Erlenmeyer de verre de 500ml. de plus on fait une agitation magnétique de 350 tr/min à une température ambiante pendant 24 heures. L'extrait a été filtré avec un papier filtre.

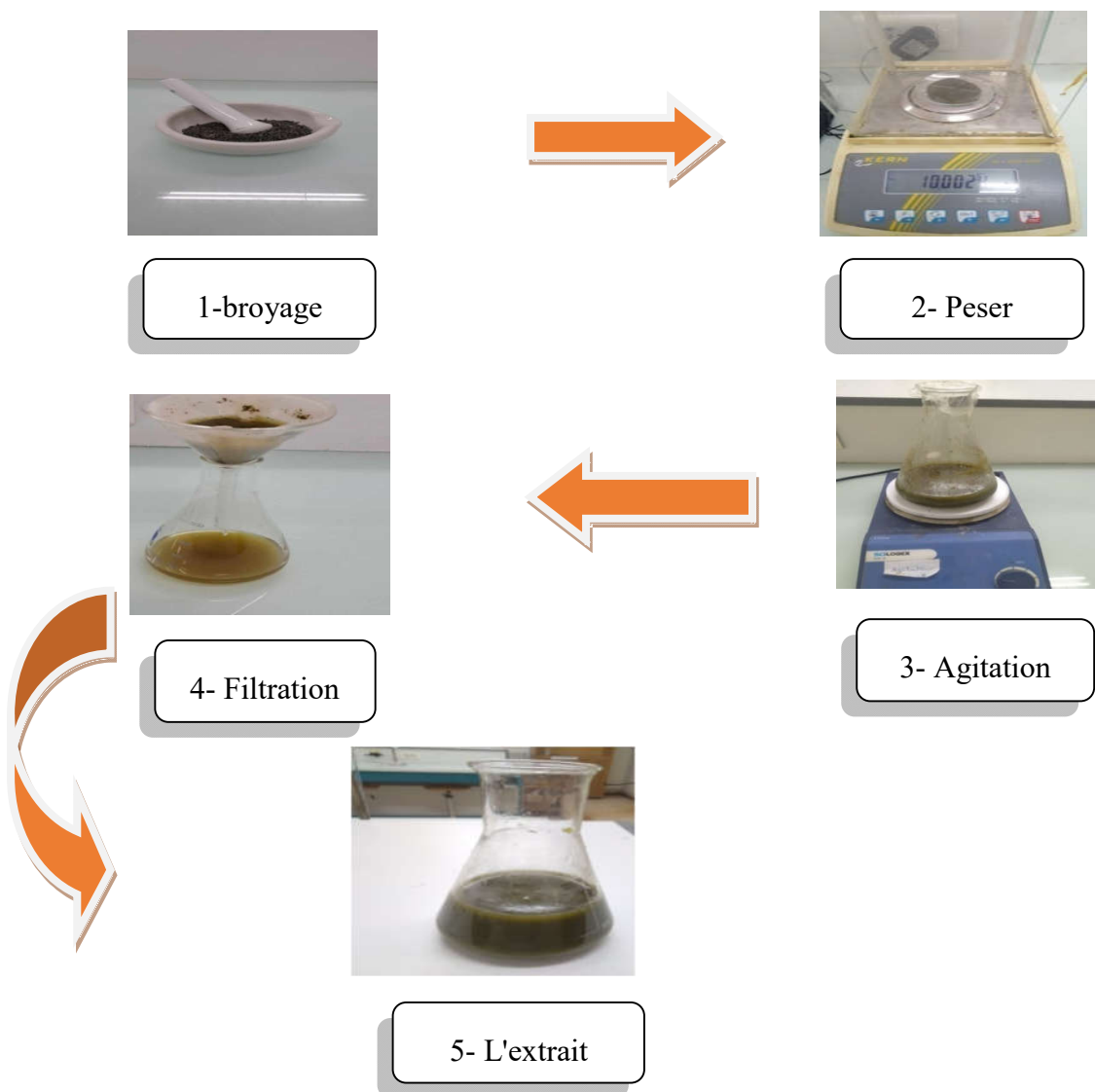
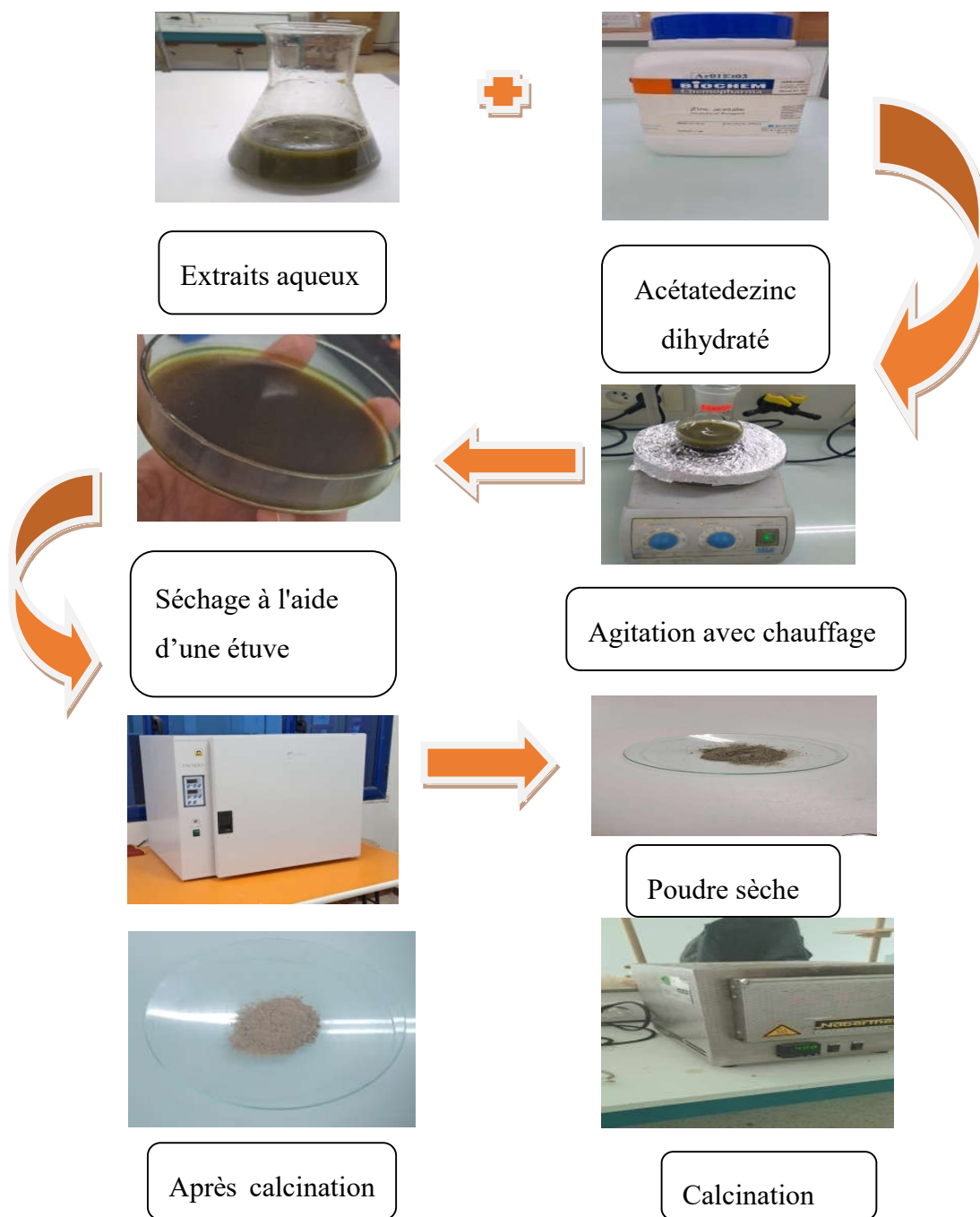


Figure II-1 : Extraction de l'extrait aqueux de plante (*camellia Sinensis*).

### II-2-2-Préparation des NPs d'Oxyde de Zinc

Préparation des échantillons de concentrations massiques respectivement 0.4g d'acétate de Zinc dihydrate/100 ml d'extrait, 0.8g d'acétate de Zinc dihydrate/100 ml d'extrait et 1g d'acétate de Zinc dihydrate/100 ml d'extrait à température ambiante et Chauffage à (85 °C) avec une agitation pendant 30min / 1 heure / 2 heures et séchage à (100°C) pendant un jour dans l'étuve statique. Ensuite, on place la poudre dans un creuset et on la met dans un four à moufle à une température 450°C pendant une heure et 30min. On sort notre creuset et on le laisse refroidir dans un dessiccateur, par la suite on broie la poudre à l'aide d'un mortier. La poudre obtenue est conservée dans un flacon étanche



**Figure II-2** : Schéma illustrant le protocole de préparation des nanoparticules de ZnO.

### II-3- Caractérisation des nanoparticules de ZnO

Compte tenu du caractère nanométrique et cristallin des matériaux synthétisés dans

cette étude, l'utilisation de nombreuses méthodes expérimentales a été nécessaire. Cette partie a pour but de décrire les conditions sous lesquelles les caractérisations ont été réalisées.

### II-3-1-Spectroscopie UV-Visible (UV-Vis)

#### II-3-1-1-Principe

La spectroscopie ultraviolet-visible, ou spectroscopie, est une technique de spectroscopie qui permet d'identifier les propriétés optiques des NPs. Il est basé sur la transition des électrons de valence de l'état fondamental à l'état excité grâce aux ondes électromagnétiques. Il mesure l'intensité de la lumière traversant l'échantillon et mesure l'intensité de la lumière traversant l'échantillon de référence (blanc) contenant le même solvant utilisé pour l'échantillon dans le même réservoir.

Le spectre électronique résultant est une courbe qui associe l'intensité lumineuse (absorbance) absorbée par l'échantillon analysé en fonction de la longueur d'onde [55].

#### II-3-1-2-Mode opératoire

La spectrophotométrie a été réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible de type Shimadzu UV-2401PC (Figure II-4) Utilisant des cellules transparentes en forme de parallélépipède appelées cuvettes. L'analyse se fait entre 200 nm et 800 nm. L'appareil est connecté à un micro-ordinateur équipé du logiciel UV WinLab., qui permet l'enregistrement et la visualisation du spectre des échantillons analysés.



**Figure II-3** : Spectrophotomètre UV-visible à double faisceau de type Shimadzu UV-2401P

## II-3-2-Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier(FTIR)

### II-3-2-1-Principe

L'infrarouge est la technique la plus couramment utilisée pour analyser les groupes fonctionnels (liaisons chimiques) des substances en détectant les vibrations caractéristiques des substances. Il est basé sur l'absorption des rayons infrarouges de la substance étudiée, et la connexion est déterminée à l'aide du nombre d'onde correspondant aux données de composés connus [56].

### II-3-2-2-Mode opératoire

La spectroscopie infrarouge transformée de Fourier (FTIR) utilisée dans cette étude est de type FT-IR de type Agilent Cary (Figure II-5) Appartient au Département de Génétique et de Génie Mécanique de l'Université Mohamed Boudiaf à M'sila. Il est connecté à un micro-ordinateur dont l'intervalle d'onde est de 4000 à 400  $\text{cm}^{-1}$ , ce qui correspond à la région d'énergie vibratoire de la molécule.



Figure II-4 : Spectromètre FT-IR de type Agilent Cary 630.

## II-4-Diffraction des rayons X (DRX)

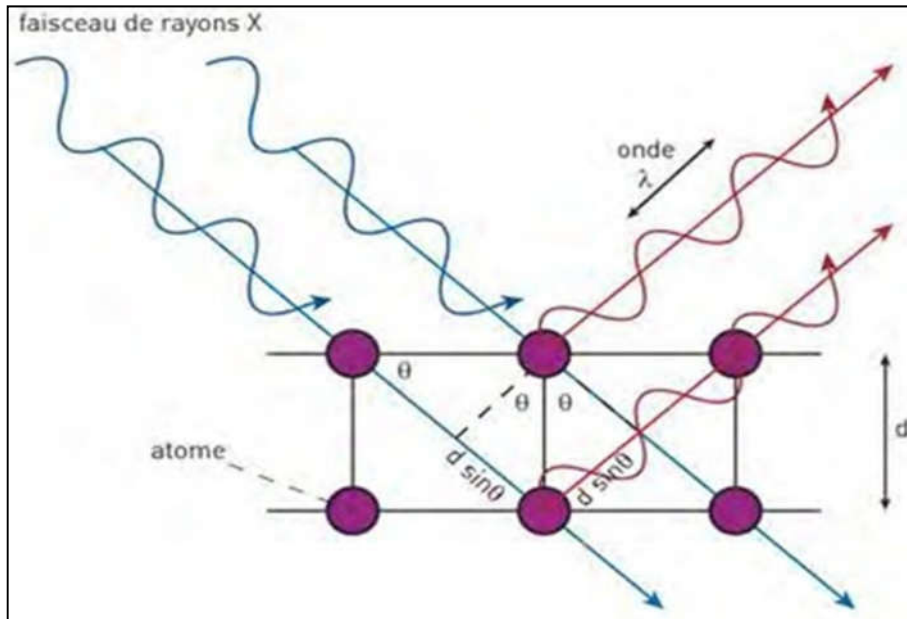
### II-4-1-Principe

Cette technique permet de déterminer la structure cristalline et la cristallinité des NP. Lorsqu'un seul faisceau de rayons X est focalisé dans toutes les directions sur un solide

avec des ondes de même phase et de même longueur d'onde, il est partiellement réfléchi par les faces des atomes de certains cristaux dont la structure est basée sur la structure de la matière.

L'orientation du faisceau diffracté est donnée par la loi de Bragg (**figure II-3**).

Le diffractogramme est enregistré sous forme d'un spectre. Cette analyse peut être effectuée sur un fragment solide ou sous forme de poudre[57].



**Figure II-5:** Schéma illustrant la loi de Bragg [55].

### II-4-2-Mode opératoire

La poudre de ZnO NP obtenue organiquement a été versée sur la lame et analysée par DRX.

Le diffractomètre utilisé dans cette étude est le modèle (X'Pert PRO PANalytical). Il dispose d'une source de rayonnement Cu Ka ( $\lambda=1,5418 \text{ \AA}$ ) et fonctionne à une tension de 40 kV/30 mA/courant. Après comparaison des données de référence des documents ASTM, des diagrammes de diffraction entre les angles  $2\theta=$  ( $20^\circ$  et  $80^\circ$ ) ont été enregistrés.

## Chapitre II Matériel et Méthodes

---

La taille moyenne des cristallites (D) a été estimée à l'aide de l'équation de Scherrer

$$(D = k\lambda / \beta \cos\theta)$$

Où :

$\lambda$ : est la longueur d'onde du rayon X

$\beta$ : est la largeur totale de la demi-valeur (FWHM)

$\theta$ : est l'angle de diffraction.



**Figure II-6:** Diffractomètre des Rayons X (X'Pert PRO PANalytical)

## II-5-Activitéantioxydant desnanoparticulesd'oxydedezinc

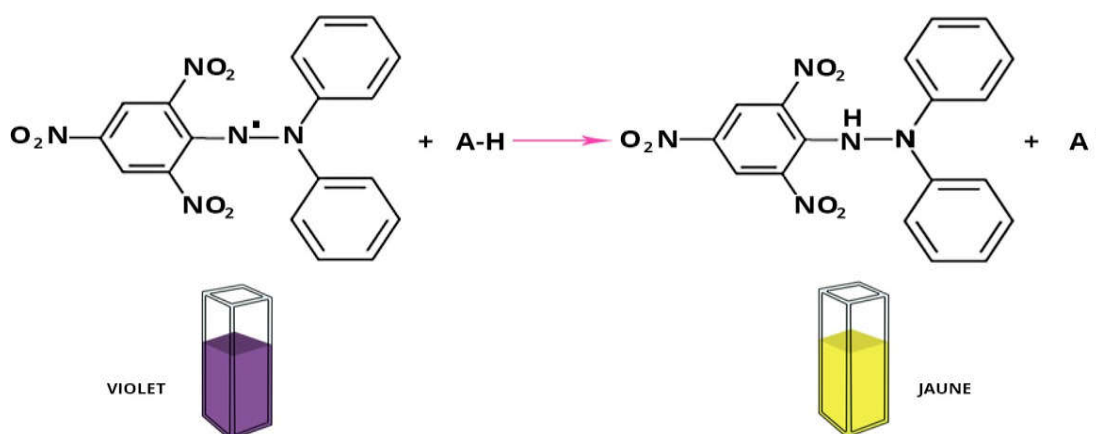
### II-5-1-Principe

LetestDPPH°permetdemesurerle pouvoiranti-radicalaire desmoléculespuresoud'extraits végétaux dans un système modèle. Il mesure la capacité d'un antioxydant àréduireleradicalchimiqueDPPH°(2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl)partransfertd'unhydrogène.Le

DPPH°,initialementviolet,setransformeenDPPH-H, jaunepâle.

LaréductionduDPPH°estfacilementmesuréeparspectrophotomètreUV-Visà517nm( $\lambda_{max}$ DPPH°).

Laréactionseraplusoumoinsrapideselonlanaturedel'antioxydant,etlaquantitédeDPPH-H formée dépendradelaconcentrationenantioxydant.[56]



FigureII-7

:MécanismederéductionderadicalDPPH(Décolorationdelasolutiondu DPPH duvioletaujaune)

### II-5-2-Modeopératoire

Évaluation de l'activitéantioxydant en utilisant le radical DPPH

Pour évaluél'activitéantioxydantdeNPdeZnOla méthodepour la differenceconcentration NP

OnprépareunesolutionmèredesNPsdeZnO diluéedans l'éthanol.

Àpartirdelasolution

## Chapitre II Matériel et Méthodes

---

mère, on prépare 07 concentrations différentes en NPs ZnO diluées dans l'éthanol.

### Solution de DPPH

On introduit une quantité de 4 mg de DPPH dans 100 ml de l'éthanol.

### Préparation de la gamme

Dans des tubes à essai, on introduit un volume de chaque concentration des NPs de ZnO avec un volume de la solution DPPH.

Les mélanges sont incubés, à température ambiante, pendant 30 min à l'abri de la lumière.

À l'aide du spectrophotomètre UV-Vis à

monofaisceau, on procède à la lecture des différentes solutions de

DPPH et des NPs de ZnO. La lecture est effectuée à la longueur d'onde 517 nm.

L'estimation de l'activité antiradicalaire est exprimée par la valeur du pourcentage d'inhibition (IC%) calculée à l'aide de la formule suivante :

$$IC\% = 100 \times \left( \frac{Abs_0 - Abs_1}{Abs_0} \right)$$

Avec :

$Abs_0$ : Absorbance de la solution DPPH.

$Abs_1$ : Absorbance de la solution des NPs de ZnO

La courbe donnant la variation du taux d'inhibition (IC%) en fonction des différentes concentrations des NPs de ZnO, permet de déterminer la Concentration Inhibitrice à 50% « IC<sub>50</sub> ».

# **Chapitre III**

## **Résultats et**

### **Discussion**

### III-Introduction

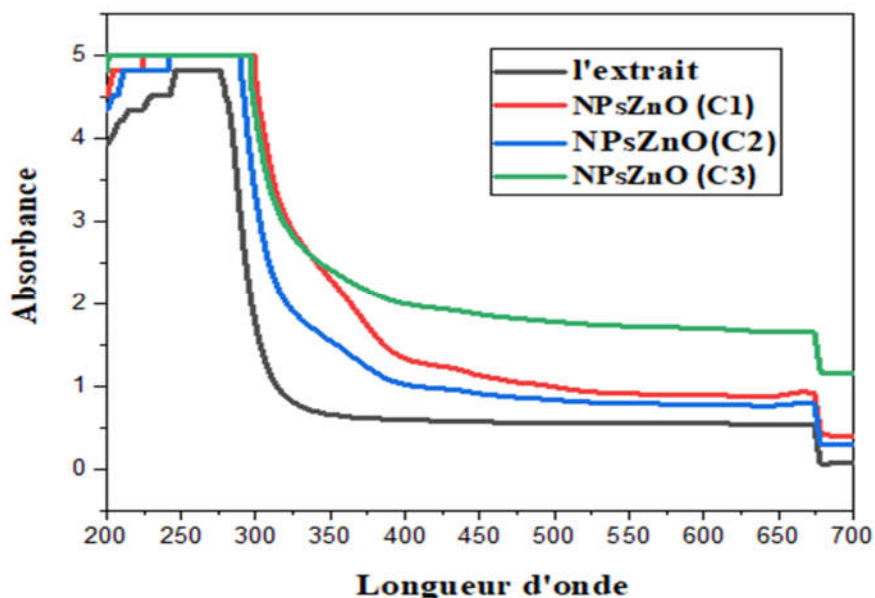
Il existe de multiples utilisations pour la production des nanoparticules d'oxyde de zinc (NPs ZnO), de sorte qu'une variété de méthodes biologiques est de plus en plus reconnue. L'utilisation de plantes dans la synthèse verte de nanoparticules semble être une approche rentable et respectueuse de l'environnement. Dans ce chapitre, nous avons synthétisé des nanoparticules d'oxyde de zinc à l'aide de plantes mentionnées au chapitre 1, et nous avons étudié l'effet de: la concentration, la durée de réaction et la température sur la formation NPs de ZnO. Ces nanoparticules préparées sont caractérisées

#### III-1-Characterisation des nanoparticules de ZnO

##### III-1-Les résultats de spectrophotomètre (UV-Vis)

###### III-1-1-Effet de concentration d'acétate de zinc dihydrate

Les spectres d'absorption UV-vis des NPs de ZnO ont été préparés en utilisant différentes concentrations massiques d'acétate de zinc ( $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ). Ils sont illustrés à la (figure III-1) Comme le montre cette figure, l'absorption de la bande est exposée à environ 350 nm, ce qui est dû à la formation d'oxyde de zinc. Une augmentation de l'intensité de la bande avec une augmentation de la concentration en acétate de zinc est observée. Cela peut être dû à une augmentation du nombre de nanoparticules formées par la conversion des ions zinc pouvant être provoquée par l'extrait. Une augmentation du nombre de nanoparticules de ZnO a été observée à une concentration  $C_1$  (faible).



**Figure III-1 :** Les spectres UV-Vis des NPs de ZnO des solutions au cours du temps différents

### III-1-2-Effet du temps sur la formation de NPs ZnO

Le changement de couleur du jaune au brun a été remarqué 15 minutes après l'ajout d'extrait de plante. Bande d'absorption obtenue entre 298-400 nm pour la biosynthèse des nanoparticules de Zinc. L'intensité de la bande augmente avec le temps, ce qui indique la génération de plus de nanoparticules et indique la stabilité.

Biosynthétique des nanoparticules. L'augmentation de l'absorbance en fonction du temps était élevée entre 30 min, 1 heure et 2 heures, correspondant à l'augmentation du nombre de nanoparticules indiquant la réduction d'acétate de zinc en nanoparticules de

**Figure III-3:** Les spectres UV-Vis des NPs ZnO des solutions au cours des concentrations différents pendant 2 heures.

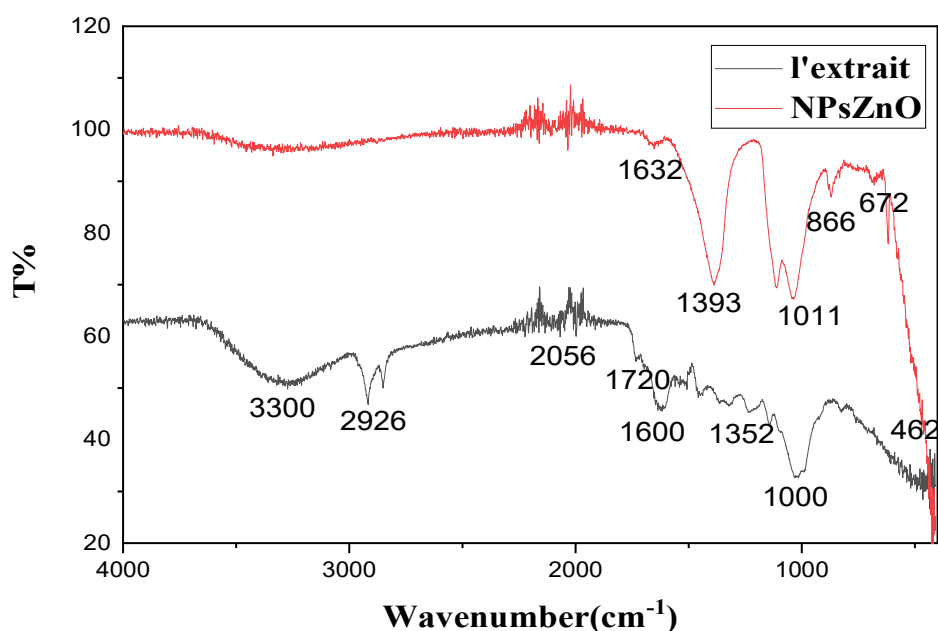
**Figure III-2 :** Les spectres UV-Vis des NPs ZnO des solutions au cours des concentrations différents pendant 1 heure.

### III-2-Les résultats de spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier(FTIR)

Pour les NPs de ZnO synthétisées par *Camellia Sinensis* sont observés à 3300, 2926, 1720, 1600, 1352, 1000 et 672, 462 $\text{cm}^{-1}$ .

Selon le tableau des vibrations en infrarouge et l'interprétation de la figure précédente (figure III-5) :

- ✓ La bande 3300 $\text{cm}^{-1}$  correspond au groupement (O-H).
- ✓ La bande 2926 $\text{cm}^{-1}$  correspond une vibration d'élongation des liaisons (C-H).
- ✓ La bande 1720 et 1600  $\text{cm}^{-1}$  correspond une vibration d'élongation des liaisons (C=O).



**Figure III-4:** Spectre FTIR d'extrait de *Camellia Sinensis* et NPs d'oxyde de zinc.

- ✓ Les bandes 1450 et 1363  $\text{cm}^{-1}$  correspondent une vibration d'élongation des liaisons (C-H)
- ✓ Les bandes 672 et 462 attribuées à la formation des sels (dans cette étude confirmer la formation de ZnO).

Après la comparaison entre les spectres IR d'extrait de

*Camellia Sinensis* avant et après l'addition d'acétate de zinc. Nous remarquons que :

- Une diminution de l'intensité de la large bande de  $3200\text{ cm}^{-1}$  à  $2900\text{ cm}^{-1}$  représentant le groupe (OH) libre dans la molécule fait réagir ce groupe pour réduire  $\text{Zn}^{+2}$  dans le milieu réactionnel, conduisant à la formation de nanoparticules d'oxyde de zinc en fonction du mécanisme de réaction.
- L'apparition d'un pic de  $1393\text{ cm}^{-1}$  correspond à l'oscillation de l'allongement de la liaison (C-H)
- L'apparition des deux pics est de  $672$  et  $462\text{ cm}^{-1}$  en raison de la liaison Zn-O

La spectroscopie infrarouge permet de confirmer la formation de nanoparticules d'oxyde de zinc après réduction des ions  $\text{Zn}^{+2}$  par OH, et ces résultats sont similaires à ceux observés dans d'autres études[59].

#### III-3- Les résultats de diffraction de rayonnement X (DRX)

L'objectif c'est la vérification que la poudre résultante est formée par les nanoparticules d'oxyde de zinc. La caractérisation DRX a été faite en utilisant un diffractomètre de type (X'Pert PRO PANalytical) où un rayonnement X provenant de l'émission  $K\alpha$  du cuivre, de longueur d'onde  $\lambda=1.5406$

Pour calculer la taille des particules, on prend le plus grand pic comme exemple. La largeur à

Mi-hauteur et la position du pic sont illustrées sur la (Figure III-5, III-6, III7) à l'aide du logiciel "OriginPro8.5"

### Chapitre III Résultats et Discussion

---

En utilisant ces spectres et la loi de Bragg et l'équation de Scherrer, nous avons calculé le diamètre de nanoparticules d'oxyde zinc :

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta}$$

Où :

- **D** : La taille de la particule (nm).
- **K** : Constant sans dimension =0.9
- $\lambda$  : Longueur d'onde des rayons X.
- $\beta$  : FWHM (full width at half maximum) est la largeur à mi-hauteur de la raie de diffraction et on calcule par le programme origine (du pic DRX).
- $\theta$  : est la position du pic de diffraction considérée.

Les distances sont exprimées en [ $\text{\AA}$ ] et les angles en radian (l'angle de Bragg) [60].

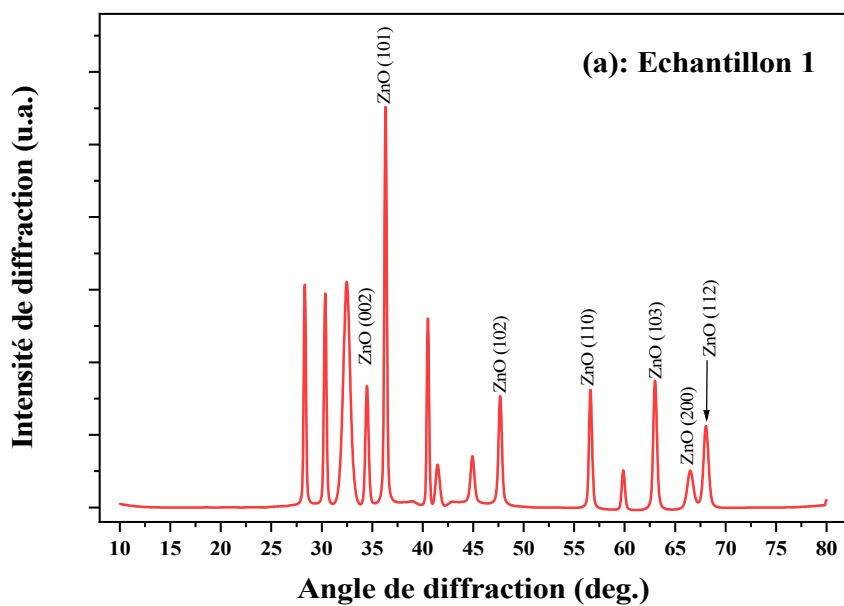


Figure III-5 : Spectres DRX de la poudre synthétisée par la synthèse verte à Concentration  $C_1$  d'acétate de zinc dans 100ml d'extrait à 85°C pendant 1heure

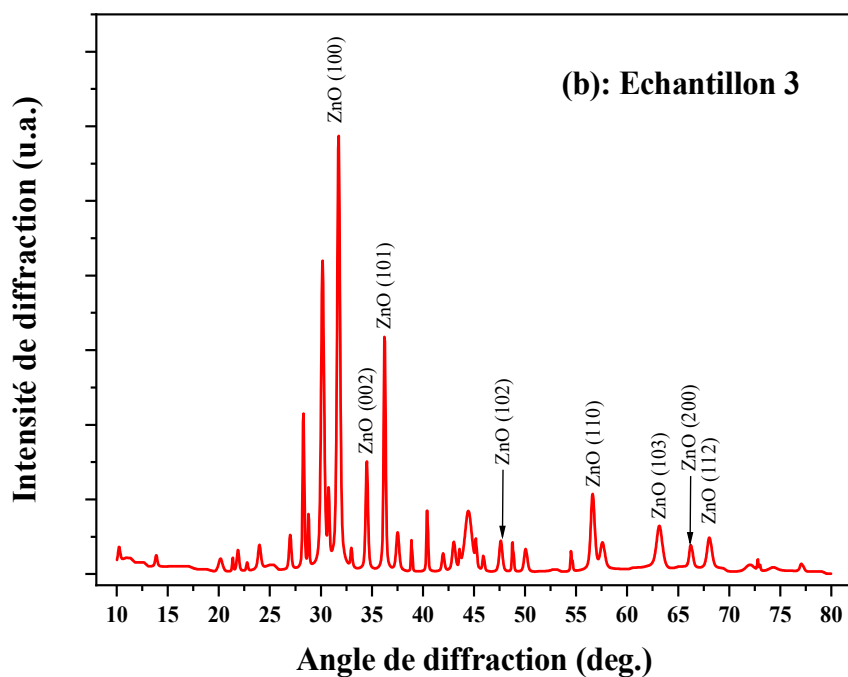
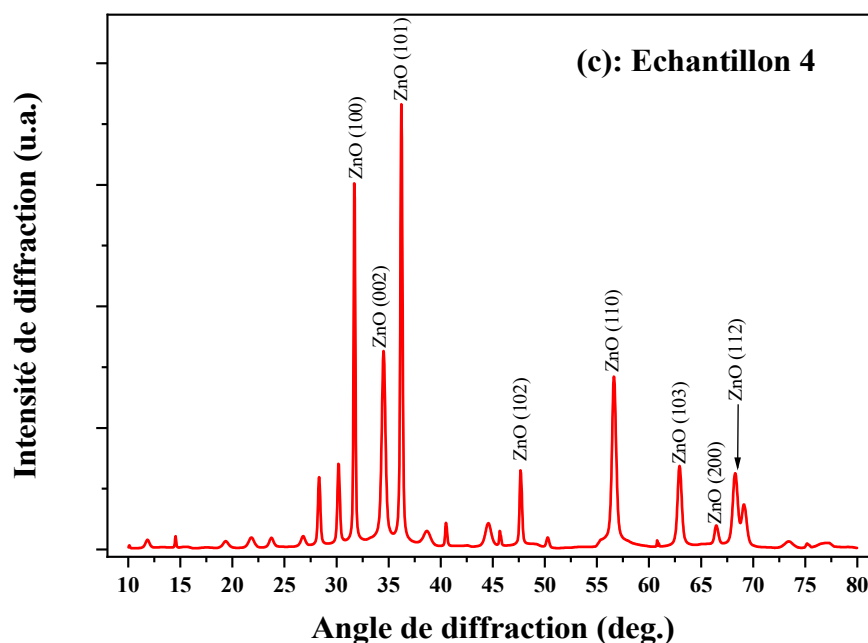


Figure III-6 : Spectres DRX de la poudre synthétisée par la synthèse verte à Concentration  $C_2$  d'acétate de zinc dans 100ml d'extrait à 85°C pendant 1heure.



**Figure III-7:** Spectres DRX de la poudre synthétisée par la synthèse verte à Concentration $C_3$  d'acétate de zinc dans 100ml d'extrait à 85°C pendant 1heure.

Les figures (III-5, III-6, III-7) présentent les résultats de DRX des nanoparticules de ZnO synthétisées et recuites à température donnée à différentes concentrations d'acétate de zinc. On voit clairement que les pics de diffraction sont présents dans tout le spectre de l'échantillon. Divers plans de cristallites tels que (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), correspondent bien avec la structure wurtzite hexagonale de ZnO ayant la carte JCPDS N° :01-089-0510. Les intensités des pics (100), (002) et (101) augmentent légèrement avec l'augmentation de la concentration d'acétate de zinc dans la solution jusqu'à  $C_1$  puis diminuent pour la dernière concentration. La présence de pics (100), (002) et (101) dans le spectre de DRX indique la formation de la haute pureté de cristallisation des nanoparticules de ZnO [58]. De plus, aucun pic n'a été observé pour d'autres impuretés.

D'après les figures (III-5, III-6, III-7) en regroupé les résultats des données obtenues dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III-1** :Résultats de Calcule de la taille de particules synthétisées par L'extrait de feuille de *Camellia Sinensis*.

	<b>d<sub>100</sub></b> <b>(Å)</b>	<b>a(Å)</b>	<b>a :</b> <b>JCPDS(Å)</b>	<b>d<sub>002</sub></b> <b>(Å)</b>	<b>c(Å)</b>	<b>c :</b> <b>JCPDS</b> <b>(Å)</b>	<b>Cs (nm)</b>
<b>Echantillon1</b>	2.817	3.254	3.253	2.599	5.198	5.209	26.58
<b>Echantillon3</b>	2.756	3.182		2.600	5.209		33.85
<b>Echantillon4</b>	2.820	3.256		2.597	5.195		38.90

Les figures (III-5, III-6, III-7) et Tableau III-1 donnant la relation entre la taille du grain de nanoparticules et la concentration en acétate de zinc montrent que la taille des nanoparticules augmente progressivement avec l'augmentation de la concentration du précurseur, ce qui peut être dû au phénomène de croissance lors de la formation des nanoparticules de ZnO. Les résultats obtenus étaient identiques aux résultats des études précédentes [58].

#### **Evaluation de l'activité antioxydant par test DPPH**

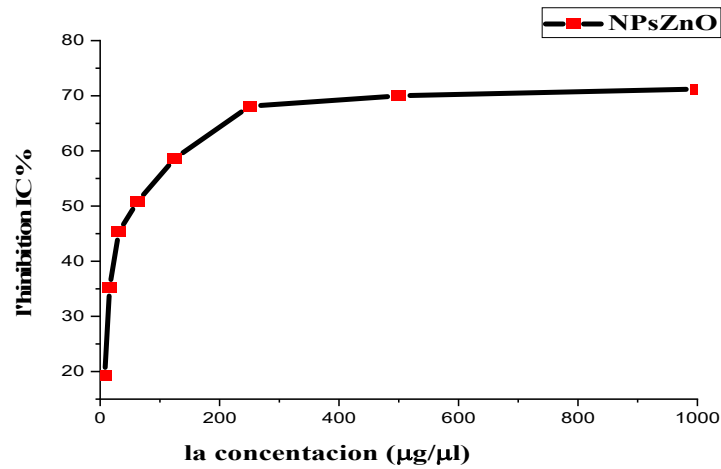
Dans le test des forces anti-radicalaires, la solution de DPPH nouvellement préparée montre du violet

( $\lambda_{max} = 517$  nm) et disparaît progressivement en présence d'un bon donneur d'hydrogène, c'est-à-dire un puissant antioxydant.

L'activité de la DPPH est généralement présentée par les valeurs IC<sub>50</sub> (concentrations d'inhibiteurs qui provoquent une inhibition de 50%), calculées pour chaque échantillon, et peuvent être classées entre elles. Plus la CI<sub>50</sub> est petite, plus les échantillons sont un bon pouvoir antioxydant [59].

Il présente une absorption maximale caractéristique au 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle (DPPH), des radicaux stables, du violet en solution et 517 nm ( $\lambda_{max} = 517$  nm). Par conséquent, le protocole appliqué au quotidien est basé sur la disparition de cette valeur

maximale, à la suite de laquelle la DPPH est réduite par des composés aux propriétés anti-radicalaires entraînant ainsi la décoloration.



**Figure III-8:** Pourcentages d'inhibition du DPPH en fonction des concentrations des échantillons des nanoparticules d'oxyde de zinc synthétisés en utilisant l'extrait des feuilles de *camellia Sinensis*.

La capacité antioxydant d'extrait a été déterminée à partir de l'IC50, c'est la concentration nécessaire pour réduire 50 % du radicale DPPH. Plus la valeur d'IC50 est basse, plus l'activité antioxydant d'un composé est grande[60].

# CONCLUSION

## Conclusion

En conclusion, cette contribution d'étude a permis de développer une méthode de synthèse verte et durable des nanoparticules de ZnO en utilisant l'extrait aqueux de la plante *Camelia sisensis*. Les analyses physico-chimiques ont confirmé la formation de nanoparticules de ZnO cristallines avec succès.

Les caractérisations par spectroscopie UV-Visible ont montré une bande d'absorption caractéristique du ZnO aux alentours de 375 nm, indiquant la formation de nanoparticules. Les analyses par spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) ont permis d'identifier les groupements fonctionnels présents à la surface des nanoparticules, suggérant l'implication de biomolécules de l'extrait végétal dans leur stabilisation. Les résultats de diffraction des rayons X (DRX) ont confirmé la structure cristalline hexagonale wurtzite typique du ZnO, avec des tailles de cristallites comprises entre 26 et 38 nm.

Les tests d'activité antioxydant par la méthode DPPH ont révélé que les nanoparticules de ZnO biosynthétisées possédaient une capacité inhibitrice du radical DPPH significative. Cette activité antioxydant prometteuse ouvre la voie à de potentielles applications dans des domaines tels que la cosmétique, la pharmacie ou l'agroalimentaire, en tirant parti des propriétés multifonctionnelles des nanoparticules de ZnO.

L'utilisation de l'extrait de *Camellia Sinensis* comme agent réducteur et stabilisant dans la synthèse des nanoparticules de ZnO présente de nombreux avantages en termes de durabilité et de respect de l'environnement par rapport aux méthodes classiques de synthèse chimique. Cette approche écologique permet d'obtenir des nanomatériaux verts aux propriétés intéressantes tout en valorisant une ressource naturelle renouvelable.

Des études complémentaires seront nécessaires pour optimiser davantage les paramètres de synthèse, étudier plus en détail les mécanismes impliqués et explorer plus largement les domaines d'application potentiels de ces nanoparticules de ZnO biosynthétisées. Néanmoins, les résultats obtenus dans le cadre de ce travail de recherche ouvrent des perspectives encourageantes pour le développement de nouveaux nanomatériaux écologiques et multifonctionnels.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

**Références bibliographiques**

- [1] Bagherzade G, Tavakoli MM, Namaei MH. Green synthesis of silver nanoparticles using aqueous extract of saffron (*Crocus sativus* L.) wastages and its antibacterial activity against six bacteria. *Asian Pac J Trop Biomed*; 7(3):227–33(2017).
- [2] Gatebe E. Nanotechnology: the magic bullet towards attainment of Kenya's vision 2030 on industrialization. *J AgricSciTechnol*; 14(2). (2012)
- [3] I. Sekmache, F. Djellal, Biosynthèse de nanoparticules (AgO -ZnO) à base d'extrait des plantes *Myrtus communis* et *Thymus vulgaris* et leurs applications, Université Mostaganem, 07/07/2022, p10.
- [4] Delay, M. and F. H. Frimmel (2012). "Nanoparticles in aquatic systems. «One Delay, M. and F.H. Frimmel. La France: One Delay, M. and F. H. Frimmel (2012). 2012. Analytical and bio analytical chemistry 402(2): 583-592.
- [5] D.E. Belfennache, Elaboration et étude de nanoparticules Au/TiO<sub>2</sub> et Ag/TiO<sub>2</sub>, Thèse de Doctorat, Département De Physique, Université Mentouri, Constantine, 2012, pp.5-6.
- [6] A.B.D. Nandiyanto, S.-G Kim, F. Iskandaret K. Okuyama, 2009, 447–453
- [7] A. Kohan, G. Ceder, D. Morgan, and C. G. Van de Walle, "First-principles study of native point defects in ZnO," *Physical Review B*, vol. 61, p. 15019, 2000
- [8] 3 F. Prosie, F.-X. Lesage, F. Deschamps, Nanoparticules : structures, utilisations et effets sur la santé, *La Presse Medicale*, 37 (2008), p.1432. Structures, utilisations et effets sur la santé, *La Presse Medicale*. s.l : Presse Medicale, 37 (2008), 2008. p.1432.
- [9] A. de l'Afset, R.d.E. Collective, Évaluation des risques liés aux nanomatériaux pour la population générale et pour l'environnement, *La Doctorat Fr*, 3 (2010) 36-37.
- [10] Bekhti, Widal. Synthèse par voie hydrothermal et caractérisation des micro/nanostructures d'oxyde de zinc [thèse doctorat]. Oran : Université OranI, spécialité : Sciences des Matériaux ;2015.
- [11] E.-A. Mustafa, A. Noah, K. Beshay, L. Sultan, M. Essam, O. Nouh, Investigating the Effect of Various Nanomaterials on the Wettability of Sandstone Reservoir, *World Journal of Engineering and Technology*, Vol.03No.03 (2015) 11, p.117
- [12] EPA-Nanotechnology-White-Paper, Nanotechnology White Paper. Édit (Epa) Usep A Washington). (2007), p.120.

- [13] Tedjani, M, L. Touati, B, O Mémoire Master Synthèse de nanoparticules de ZnO par l'extrait des feuilles de Phoenix Dactylifera. L'Université EchahidHamma Lakhdar-Eloued 2018.
- [14] Ben Abdeslam Dj « Elaboration de matériaux nanostructurés Fe-Cr par mécanosynthèse et frittage : étude structurale des produits par diffraction des rayons X » Master, Université Mouloud Mammer Tizi-Ouzou. Algérie (2017), p 18.
- [15] A.Chibane Youg Herta, CH. Bencherif. Synthèse et caractérisation des nanoparticules de : TM Par la Méthode Hydrothermale ; Application a la Dégradation du Bleu de Méthylène Université Larbi Ben Mhidi Oum el Bouaghi 2020.
- [16] Khemissat. G, Alloune. M, Synthèse verte et caractérisation des nanoparticules à l'aide de d'extrait de menthe. Université KasdiMerbah Ouargla 2021.
- [17] L.Marusak, J.Phys.Chem.Solids 41,981(1980).
- [18] S. C. Pillai, J. M. Kelly, D. E. McCormack, P. O'Brien, and R. Ramesh, "The effect of processing conditions on varistors prepared from nanocrystalline ZnO," *Journal of Materials Chemistry*, vol. 13, pp. 2586-2590, 2003.
- [19] F. Grasset, N. Labhsetwar, D. Li, D. Park, N. Saito, H. Haneda, *et al.*, "Synthesis and magnetic characterization of zinc ferrite nanoparticles with different environments: powder, colloidal solution, and zinc ferrite-silica core-shell nanoparticles," *Langmuir*, vol. 18, pp. 8209-8216, 2002.
- [20] N. S. Pesika, Z. Hu, K. J. Stebe, and P. C. Searson, "Quenching of growth of ZnO nanoparticles by adsorption of octanethiol," *The Journal of Physical Chemistry B*, vol. 106, pp. 6985-6990, 2002.
- [21] K. Byrappa, N. Keerthiraj, and S. M. Byrappa, in *Handb. Cryst. Growth Second* (2015).
- [22] A.B.Marai, K.Djessas, Z.B.Ayadi, and S.Alaya, "Preparation and characterization of CuInSe<sub>2</sub> nanoparticles elaborated by novel solvothermal protocol using DMF as a solvent," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 648, pp.1038-1042, 2015.
- [23] R.Mendil, Z.B.Ayadi, and K.Djessas, "Effect of solvent medium on the structural, morpholo

gical and optical properties of ZnS nanoparticles synthesized by solvothermal route," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 678, pp. 87-92, 2016.

[24]

L. Vauriot, "Synthèse microfluidique de nanomatériaux multifonctionnels par laser," *Bordeaux 1*, 2012.

[25] A. B. Djuricic, X. Y. Chen, and Y. H. Leung, "Recent progress in hydrothermal synthesis of zinc oxide nanomaterials," *Recent patents on nanotechnology*, vol. 6, pp. 124-134, 2012.

[26] K. Byrappa, N. Keerthiraj, and S. M. Byrappa, in *Handb. Cryst. Growth Second* (2015).

[27]

K. Ellmer, "Past achievements and future challenges in the development of optically transparent electrodes," *Nature Photonics*, vol. 6, p. 809, 2012.

[28]

S. Ameen, M. S. Akhtar, and H. S. Shin, "Highly dense ZnO nanowhiskers for the low level detection of p-hydroquinone," *Materials Letters*, vol. 155, pp. 82-86, 2015.

[29]

Y. Chen and S. Ma, "Preparation and photoluminescence studies of high-quality AZO thin films grown on ZnO buffered Si substrate," *Materials Letters*, vol. 162, pp. 75-78, 2016.

[30] F. Fan, Y. Feng, P. Tang, and D. Li, "Facile synthesis and photocatalytic performance of ZnO nanoparticles self-assembled spherical aggregates," *Materials Letters*, vol. 158, pp. 290-294, 2015.

[31]

U. K. Parashar, P. S. Saxena, and A. Srivastava, "Bioinspired synthesis of silver nanoparticles," *Digest Journal of Nanomaterials & Biostructures (DJNB)*, vol. 4, 2009.

[32] P. Mohanpuria, N. K. Rana, and S. K. Yadav, "Biosynthesis of nanoparticles: technological concepts and future applications," *Journal of nanoparticle research*, vol. 10, pp. 507-517, 2008.

[33] Comité de la Prévention et de la Précaution. Nanotechnologie – Nanoparticules : Quels dangers, quels risques ? Rapport du Comité de la Prévention et de la Précaution (CPP),

[PDF], disponible sur : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/comite-prevention> et précaution, page consultée le 19/05/2024

[34] Introduction to nanotechnology. JWS.

[35] H. Rokbani, Élaboration de nouveaux matériaux nanocomposites antibactériens à base de nanoparticules d'oxyde de zinc. Thèse de Doctorat. École Polytechnique de Montréal. 2018

[36] J. Nanosci. Zinc oxide nanostructures : synthèses and properties. Nanotechnologie. ; 5(10) :1561–1573

[37] Behera, J., 2009. Synthèses and Caractérisations of ZnO Mémoire de Mastère : Département of physics National Institute of technologie, ROURKELA, ORISSA, INDIA.p10

[38] Shaikhaldein, H.O., Al-Qurainy, F., Khan, S., Nadeem, M., Tarroum, M., Salih, A.M., Gaafar, A.-R.Z., Alshameri, A., Alansi, S., Alenezi, N.A., Alfarradj, N.S., 2021. Biosynthesis and Characterization of ZnO Nanoparticles Using Ochradenus arabicus and Their Effect on Growth and Antioxidant Systems of Maerua oblongifolia. Plants (Basel) 10, 1808. <https://doi.org/10.3390/plants10091808>

[39] Adams L.K., Lyon D.Y., Alvarez P.J. (2006). Comparative eco-toxicity of nanoscale TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, and ZnO water suspensions. Water Rev., 40, 3527-3532.

[40] Badre, Chantal. *Étude de la réactivité de surface par mesure d'angle de contact: influence de la fonctionnalisation et de la structure. Applications aux films d'oxyde de zinc électrodéposés*. Diss. Chimie ParisTech, 2007.

[41] Ahmed, A., et al. "Effect of black tea extract (polyphenols) on performance of broilers." Int. J. Adv. Res 1.7 (2013) : 563-566.

[42] Kotzki, Sylvain, and Philippe Saviuc. "Thé vert : étude rétrospective des cas recensés dans les CAPTV entre 2000 et 2010." (2010).

[43] <https://www.thevert.com/bienfaits/> Consultée le 25/05/2024

[44] F. Boukhdenna et I. Yahamdi, Analyse qualitative de différentes marques de thé de marché local en ses deux principaux constituants : La caféine et la catéchine, mémoire de master, Université 08 Mai 1945, Guelma, 2015.

- [45] Manallah, A, Activités antioxydante et anticoagulante des polyphénols de la pulpe d'olive *oleaeuropaea*, mémoire de master. Université Ferhat Abbas, Sétif. 2012.
- [46] [https://chathe.fr/THE\\_Origine.html](https://chathe.fr/THE_Origine.html). Consultée le 25/05/2024
- [47] <https://www.lepartiduthe.com/content/29-grandes-origines-du-the>. Consultée le 25/05/2024
- [48] Benassou, N. Étude de l'activité antioxydante des polyphénols de quelques variétés de dattes, mémoire de master. Guelma. 2013.
- [49] S, Ben Zaid and S, Bouguelot. Effet protecteur de l'extrait de thé vert (*Camellia sinensis*) sur quelques paramètres hématologiques et biochimiques après la toxicité par le toluène chez les lapins mâles *Oryctolagus cuniculus*. Diss. University center of abdalhafidboussouf-MILA, 2023.
- [50] Sanchez-Alonso I., Jimenez-Escrig A., Saura-Calixto F., Borderais J. *Food Chem*, 101 :372-378.2007.
- [51] Kenna D. J., Jones K., Hughes K., Humphrey S., *the Desk Reference for Major*.2002.
- [52] S<sup>c</sup> Coves. Le thé de la feuille a la tasse-*Cahiers de nutrition et diététique*, 35(9) 91p.2000.
- [53] Khan N., Mukhtar H., (2007). Tea polyphenols for health promotion. *Life Science*, 81: 519-533.
- [54] Kumar V.P, Chauhan N.S, & Rajani H.P.M. (2006). Search for antibacterial and antifungal agents from selected Indian medicinal plants. *Journal of Ethnopharmacologie*, 107:182-1888.
- [55] A, Muhammad Said Hamid, et al. "Ultraviolet-visible (UV-VIS) spectroscopie." *Essentials of pharmaceutical analyses* (2020) : 29-56..
- [56] Rubio, C., et al. "Caractérisation de la flore sulfato/thiosulfato réductrice par spectroscopie infrarouge à transformée de fourier (IRTF)." *Matériaux & Techniques* 92.7-8-9 (2004): 71-75.
- [57] Widjonarko, N., 2016. Introduction to Advanced X-ray Diffraction Techniques for Polymeric Thin Films. *Coatings* 6, 54. <https://doi.org/10.3390/coatings6040054>

[58]R.Sattar,M.A.Rasool,R.Qadir,A.B.Siddique,M.I.Irfan,I.SabaM.T.Akhtar,M.M.urRehman, M. Mustaqeem, Biogenic synthesis of zinc oxide nanoparticles using Leaves extract of *Camellia sinensis* for photocatalytic and biological applications, Vol.15, No.1, January–March2023, p.1-9

[59]S.R.SENTHILKUMAR,T.SIVAKUMAR,GREENTEA(CAMELLIASINENSIS)MEDIATE DSYNTHESISOFZINCOXIDE (ZNO) NANOPARTICLES AND STUDIES ON THEIRANTIMICROBIAL ACTIVITIES, Vol6, Issue6, 2014

[60]Rajesh Kumar Shah, ForishmeetaBoruah and NikahatParween, Synthesisand Characterization of ZnO Nanoparticles using Leaf Extract of*Camellia Sinensis* and Evaluation of their AntimicrobialEfficacy,Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci (2015) 4(8): 444-450

# ANNEXES

## Annexes

## Tables des vibrations en infrarouge

Groupement	Liaison	Nombre d'Onde	Vibration	Bande
Alcools primaires	O-H	3640	Elongation	Intense et large
Alcools secondaires	O-H	3630	Elongation	Intense et large
Alcools tertiaires	O-H	3620	Elongation	Intense et large
Acides	O-H	3550-3500	Elongation	Intense et très large
Amines primaires	N-H	3500	Elongation asymétrique	Faible
		3410	Elongation symétrique	faible