

République Algérienne démocratique et Populaire  
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université « Salah Bounider »  
Constantine 03  
Faculté de médecine  
Département de pharmacie



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Docteur en Pharmacie, intitulé :

***ETUDE DES NANOPARTICULES D'OXYDE  
DE ZINC ZnO : SYNTHÈSE, CARACTERISATION  
ET ACTIVITE ANTIBACTERIENNE***

Encadré par:

- Dr. DERRADJ MERIEM : M.A.H.U en chimie minérale

Réalisé par :

- ZERMANI MESSAOUDA
- BOUABDALLAH IBTISSAM

Les membres de jury :

- LALAOUNA ABD EL DJALIL
- BOUAOUA FATIMA ZOHRA

## TABLE DES MATIERES

Liste des figures.....	v
Liste des tableaux.....	vii
Liste des abréviations.....	viii
INTRODUCTION.....	02
<b>CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES NANOPARTICULES</b>	
I.DEFINITIONS.....	05
I.1. Le nano monde.....	05
I.2. Le nanomètre.....	05
I.3. Les nanoparticules.....	06
II. DIFFERENTES FORMES DES NANOPARTICULES .....	06
III. PROPRIETES DES NANOPARTICULES.....	07
1. Propriétés structurelles.....	08
2. Propriétés thermiques.....	08
3. Propriétés mécaniques.....	09
4. Propriétés électromagnétique.....	09
IV. DIFFERENTES METHODES DE SYNTHESE DES NANOPARTICULES.....	10
IV.1. Les méthodes physiques.....	11
A. Les méthodes «top-down » descendante .....	12
B. Méthodes« bottom-up » ascendantes .....	13
C. Ablation laser .....	13
D. Implantation ionique .....	14
E. Pulvérisation cathodique.....	14
F. Élaboration par plasma chaud.....	15

G. Pyrolyse laser.....	16
H. Evaporation thermique.....	17
I. Méthode aérosol.....	18
J. Décharge électrique .....	18
K. Micro-ondes .....	18
I.2. Procédés d'élaboration des nanoparticules par voie chimique.....	19
A. Dépôt chimique en phase vapeur .....	19
B. Réaction en milieu liquide .....	20
C. Réactions en milieu solide .....	21
D. Techniques sol-gel .....	21
I.3. Méthodes biologiques pour l'élaboration des nanoparticules (biosynthèse) .....	23
A. Réduction par des substances naturelles .....	23
B. Réduction par des organismes uni ou multicellulaires.....	24
<b>V. LES TECHNIQUES DE CARACTERISATION .....</b>	<b>24</b>
V.1. Diffraction des rayons X (DRX).....	25
V.2. Microscopie électronique à balayage (MEB) couplée à l'analyse chimique (EDX).....	25
V.3. Microscopie électronique à transmission (MET).....	26
V.4. Microscopie à force atomique (AFM).....	27
V.5. Spectroscopie XPS (X-ray photoelectron spectroscopy).....	28
<b>CHAPITRE II : L'OXYDE DE ZINC</b>	
<b>I. GENERALITES SUR L'OXYDE DE ZINC.....</b>	<b>31</b>
I.1. Historique .....	31
I.2. Propriétés du ZnO.....	32
A. Propriétés structurales.....	32
B. Structure électronique de bande.....	33
C. Propriétés optiques et luminescence.....	35
D. Propriétés électriques.....	36
E. Propriétés magnétiques.....	36
F. Propriétés physico-chimiques.....	37
<b>II. LES PROPRIETES PARTICULIERES DES NANOPARTICULES DE ZNO.....</b>	<b>38</b>
II.1. Propriétés structurelles .....	38
II.2. Propriété optique.....	41

II.3. Propriétés électriques et électroniques.....	41
II.4. Propriétés de surface de l'oxyde de zinc.....	41
III. APPLICATIONS DE NANOPARTICULES DE ZNO.....	42
<b>CHAPITRE III : L'EVALUATION DE L'ACTIVITE</b>	
<b>ANTIBACTERIENNE DES NANOPARTICULES DE ZNO</b>	
L'EVALUATION DE L'ACTIVITE ANTIBACTERIENNE.....	47
I. MECANISME D'ACTION.....	47
A. Génération d'espèces réactives de l'oxygène (EROs).....	48
B. Libération des ions Zn <sup>2+</sup> .....	49
C. Interactions entre les bactéries et les nanoparticules de ZnO.....	50
II. LES FACTEURS INFLUENÇANT L'ACTIVITE ANTIBACTERIENNE DES NPs DE ZnO.....	51
II.1. Impact de la taille et la concentration.....	52
II.2. Effet d'illumination UV.....	57
II.3. Défauts de surface.....	58
II.4. Concentration minimale inhibitrice (CMI).....	59
III. PRESENTATIONS DES RESULTATS DE QUELQUES ETUDES.....	62
I. <i>I.E. coli</i> .....	62
I.2. <i>C. jejuni</i> .....	66
I.3. <i>S. aureus et S. typhimurium</i> .....	71
IV. UTILISATION DES NANOPARTICULES DE ZNO COMME AGENTS ANTIBACTERIENS.....	74
A. Application du ZnO dans les emballages alimentaires.....	74
B. La technologie d'électrofilage.....	75
IV. LA TOXICITE DES NANOPARTICULES D'OXYDE DE ZINC.....	77

IV.1.Mécanisme de toxicité des nanoparticules de ZnO.....	79
IV.2.Études de cytotoxicité.....	81
IV.3.Études de génotoxicité.....	81
IV.4.Études de neurotoxicité.....	82
IV.5.Études de toxicité pour le développement.....	82
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>84</b>
<b>LES REFERENCES .....</b>	<b>86</b>

## **RESUME**

Le développement de la nanotechnologie conduit au développement des nanomatériaux qui constituent une approche prometteuse pour contrôler l'activité bactérienne et fournir des solutions aux défis rencontrés surtout par le secteur agroalimentaire et biomédical en raison de leurs propriétés spéciales et de leurs dimensions réduites. A cet égard, les NPs de ZnO sont des candidats prometteurs à utiliser comme des agents antibactériens dans l'emballage alimentaire, la cosmétique, la peinture...etc. Ils possèdent une très forte activité contre les bactéries y compris : *E. coli*, *C. jejuni*, *S. aureus* et *S. typhimurium* même à des concentrations relativement faibles. Dans le présent travail, nous avons étudié les méthodes de synthèse des NPs de ZnO à l'aide des méthodes physique, chimiques et biologique, leurs propriétés et les différentes méthodes utilisées pour leur caractérisation. Plus important, encore nous avons présenté plusieurs études qui évaluent l'activité antimicrobienne des NPs de ZnO et les facteurs qui influencent cette activité.

### **Mots clés :**

Nanoparticules, ZnO, synthèse, caractérisation, toxicité, activité antibactérienne.

## **ABSTRAT**

The development of nanotechnology is leading to the development of nanomaterials which constitute a promising approach to control bacterial activity and provide solutions to the challenges faced especially by the agro-food and biomedical sector due to their special properties and small dimensions. In this regard, ZnO NPs are promising candidates for use as antibacterial agents in food packaging, cosmetics, paints, etc. They have very strong activity against bacteria including: *E. coli*, *C. jejuni*, *S. aureus* and *S. typhimurium* even at relatively low concentrations. In this work, we discuss the synthesis of NPs from ZnO using physical, chemical and biological methods. We also also discuss their properties and methods for their characterization. We also talk about the different fields of application and their significant toxicity. More importantly, we present several studies that evaluate the antimicrobial activity of ZnO NPs and the factors that influence this activity.

### **Keywords:**

Nanoparticles, ZnO, synthesis, characterization, toxicity, antibacterial activity.