

لجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de Technologie
Département de Sciences et Technologie



Projet de Fin de Cycle
Pour l'obtention du diplôme de Master en: Chimie
Domaine : Sciences de la Matière
Filière : Chimie
Spécialité : Chimie Macromoléculaire

Thème :

Etude de l'Activité anti Oxydante des ZnONps

Présenté Par :

Mr. ZOUMIT Cheikh

Mr. MERDJI Sasli

Soutenu le : 24 Jun 2024

Devant le jury

Président : BAILICHE Zahra

Professeur

UAT.B.B

Examineur : KADOUS Abdelhakim

MCB

UAT.B.B

Encadreur : RAMDANI Nassima

MCB

UAT.B.B

Co-Encadreur : FEKIH Nadia

MCA

UAT.B.B

Année Universitaire 2023/2024



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Nous tenons à présenter nos remerciements au plan, à notre Dieu qui nous accompagner et nous a donné la force afin d'effectuer ce modeste travail.

*Tous Nos Remerciements vont à nos encadreurs, **Dr. Ramdani Nassima**, et **Dr. FEKIH Nadia** pour avoir accepté de diriger et encadrer ce travail, pour son aide morale et technique, et pour ses conseils et leur patience durant la période de Notre travail.*

*Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude envers **Dr. BELDJIL ALI Mohammed**, **Pr. BOUSSELEM Smain**, pour ses conseils précieux.*

*Nous remercions les membres du jury **Dr. KADOUS Abdelhakime** et **Pr. BAILICHE Zahra** de nous avoir honorés en acceptant de juger ce travail.*

*Nous remercions **Pr. BOURAS Ibrahim** et **Mme BOUAYED Souhila** du Laboratoire d'application des électrolytes et des polyélectrolytes organiques (LAEPO), pour avoir effectué les analyses DRX,*

*Nous remercions **Pr. GHALEM Saïd** et **Mr BEMANSOUR Boumediene** Laboratoire des Substances Naturelles et Bioactives (LASNABIO). , pour avoir effectué les analyses IR,*

*Nous remercions le doctorant **Mohammed ElAmine BENOUALI** de l'Université Belhadj Bouchai, pour son aide et pour avoir effectué les analyse UV-visible,*

Mes remerciements vont également à université d'aintémouchent Belhadj Bouchaïb pour avoir mis à ma disposition les ressources nécessaires à la réalisation de ce travail de recherche. Je suis reconnaissant envers département de Sciences de la Matière pour leur assistance administrative et leur support logistique.

Je souhaite exprimer ma reconnaissance envers mes amis et ma famille pour leur soutien indéfectible et leurs encouragements tout au long de cette aventure académique. Leur soutien moral a été une source de motivation inestimable.

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, je vous adresse mes plus sincères remerciements. Ce travail reflète le fruit d'un travail collectif et je suis reconnaissant pour chaque personne qui a croisé mon chemin lors de ce parcours académique.



Dédicace



Je tiens à exprimer ma gratitude envers ceux qui ont joué un rôle essentiel dans mon succès.

À mes chers parents,

Pour leur amour inconditionnel, leur soutien inébranlable et leurs sacrifices constants. Vous avez toujours cru en moi et m'avez offert les moyens et les encouragements nécessaires pour réaliser mes rêves.

À mes chères sœurs et frères,

Pour leur affection, leur soutien moral et leur présence réconfortante. Vos encouragements m'ont souvent donné la force de persévérer dans les moments difficiles.

À toute ma famille,

Pour leurs encouragements constants et leurs prières bienveillantes. Chaque mot d'encouragement et chaque prière m'ont donné le courage et la motivation pour avancer.

À mes amis,

*Et tout particulièrement à **Rokiya**, **Amine**, et mon binôme **Merdji** pour leur amitié inestimable et leur soutien indéfectible.*

À tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de ce projet, Votre aide, vos encouragements et votre soutien m'ont été d'une grande aide et je vous en suis profondément reconnaissant.

Cheikh



Dédicace



À mes chers parents,

Je vous adresse toute ma gratitude pour votre amour inconditionnel, votre soutien indéfectible et les innombrables sacrifices que vous avez consentis. Vous êtes les fondations solides sur lesquelles je me suis appuyé, ma source de force et de motivation. Sans votre présence et votre soutien, cette réussite ne serait qu'un rêve lointain.

À mes amis,

Je vous remercie pour les moments de complicité, les éclats de rire partagés et les encouragements constants tout au long de ce parcours. Vous avez marqué ce voyage de manière indélébile, le rendant unique et mémorable.

Aux professeurs

Qui m'ont guidé avec patience, partagé leur expertise et nourri mon inspiration, je suis reconnaissant. Votre accompagnement m'a permis de surmonter les défis académiques et de viser toujours plus haut.

À ma famille élargie,

Je vous exprime ma profonde reconnaissance pour votre amour infaillible et vos encouragements constants. Votre soutien inconditionnel m'a donné la confiance nécessaire pour atteindre mes objectifs.

À tous ceux qui ont été présents à mes côtés durant ce périple, je vous adresse mes plus sincères remerciements. Cette réussite est le fruit de notre collaboration, elle vous appartient autant qu'à moi.

SASLI

Sommaire

Sommaire

Introduction générale.....	10
Chapitre I	
Partie Bibliographique.....	13
I. 1 Introduction :.....	14
I.2. Nanotechnologies:.....	14
I.3.Nanosciences:	14
I.4.Nanomatériaux:	14
I.5 Nanoparticules :	15
I.5.1 Définition:	15
I.5.2 Classification des nanoparticules:.....	16
I.5.2.1 Classification de nanomatériaux selon leurs formes d'utilisation :.....	16
I.5.2.2 Matériaux de dimension 0 :.....	16
I.5.2.3 Matériaux de dimension 1 :.....	16
I.5.2.4 Matériaux de dimension 2 :.....	16
I.5.2.5. Matériaux de dimension 3 :.....	16
I.6 Classification de nanoparticules en fonction de leurs sources :.....	16
I.6.1 Origine naturelle.....	16
➤ Biologique :	16
➤ Minérale ou environnementale :.....	17
➤ Origine humaine :.....	17
I.7 Classification des nanomatériaux selon leur localisation au sein du composant / objet/produit considéré :	17
I.8 Propriétés des nanomatériaux :.....	17
➤ Propriétés mécaniques.	17
➤ Propriétés électriques.....	17
➤ Propriétés optiques.....	17
➤ Propriétés de transfert thermique.....	17
➤ Propriétés magnétiques.....	17
➤ Propriétés catalytiques.....	17
I.9 Les méthodes de Synthèse des nanoparticules :.....	18
I.10 Conclusion :	20
Références bibliographiques :	21

Sommaire

Chapitre II

Présentation de la plante étudiée Et Matériels et méthodes.....	23
II.1. Introduction :.....	24
II.2. Les plantes aromatiques :.....	24
II.3. Description de la plante :.....	24
II.3.1. La propagation :.....	25
II.4. Utilisations de la menthe aquatique :.....	25
II.5. Caractérisation de menthe aquatique :.....	26
II.6. Généralité sur l'oxyde de zinc [Zno] :.....	26
II.6.1. Les propriétés optiques d'oxyde de zinc :.....	27
➤ Structure cristalline.....	27
➤ Propriétés électriques.....	27
➤ Propriétés optiques.....	27
➤ Propriétés thermiques.....	27
II.7. Manipulation :.....	29
II.7.1. Mode opératoire :.....	29
➤ Préparation de l'extrait :.....	29
➤ Préparation de solution de $ZnC_4H_6O_4 \cdot 2H_2O$	30
II.8. Etude de dégradation des colorants :.....	31
II.8.1. Test photo catalytique :.....	31
II.8.2. Photo-catalyseurs :.....	31
II.8.3. Bleu de méthylène :.....	32
II.8.4. L'étalonnage de Bleu de Méthylène :.....	32
➤ Spectre d'absorption UV-Visible de BM :.....	32
II.9. Techniques expérimentales d'analyse :.....	33
II.9.1. Spectroscopie UV-visible :.....	33
II.9.1.1. Principe de fonctionnement :.....	34
II.9.1.2. Absorbance de nanoparticules d'zinc :.....	34
II.10. Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR):.....	34
II.10.1. Principe de fonctionnement :.....	34
II.11. Diffraction des rayons X.....	35
II.11.1. Principe de fonctionnement :.....	36
Référence du chapitre II:.....	37

Sommaire

CHAPITRE III

Résultats et discussions.....	38
III.1. Introduction:.....	39
III.2. Caractérisation des nanoparticules d'oxyde de zinc:.....	39
III.2.1. Caractérisation par diffraction des rayons (DRX):.....	39
III.3 Application des nanoparticules d'oxyde de zinc:.....	41
III.3.1 L'activité photo-catalytique des nanoparticules de ZnO : Etude de dégradation :.....	41
III.4 Cinétique de dégradation :.....	41
III.5 Evaluation de l'activité antioxydante :.....	42
III.6 Conclusion :.....	44
Conclusion générale	49
Résumé :.....	50
Abstract:	50

Liste des figures et des tableaux

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Schéma récapitulatif des différents types de nanomatériaux.....	14
Figure I.2. : Les tailles des nanoparticules comparées à d'autres structures.....	14
Figure I-3 : Type de nanoparticules selon leurs dimensions.....	15
Figure I.4: Représentation schématique des différentes méthodes de synthèse des NPs.....	17
Figure II.1 : La menthe aquatique.....	24
Figure II.02 : la plante menthe aquatique.....	28
Figure II.03 : Filtration (extrait).....	29
Figure II.04 : Centrifugation de la solution.....	29
Figure II.05 : Les étapes de la purification.....	30
Figure II .06 : mécanisme supposé de la synthèse des Nps d'oxyde de zinc.....	30
Figure II.07: solution de bleu de méthylène.....	31
Figure II.08: longueur d'onde de bleu de méthylène.....	32
Figure II.9: Appareil d'UV-Visible de l'université d'Ain Temouchent.....	32
Figure II.10: Représentation schématique du spectrophotomètre UV-visible.....	33
Figure II.11: Illustration schématique d'un système FTIR.....	34
Figure II.12: Représentation schématique des conditions de la loi de Bragg.....	35

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau I-1- Classification des nanoparticules en fonction de leur composition chimique.....	16
Tableau II.01: données scientifiques de menthe aquatique.....	25
Tableau II.02: Représente les propriétés du produit chimique de la synthèse.....	28
Tableau II.3 : Caractéristiques et structure chimique du BM.....	31

Introduction générale

Introduction générale :

Actuellement, les recherches et développements sur les applications des nanotechnologies connaissent une croissance exponentielle, touchant divers domaines tels que l'énergie, la chimie, la santé, l'industrie, et l'environnement. Leur petite taille et leurs nombreuses propriétés physicochimiques, telles qu'une grande surface spécifique, une résistance mécanique accrue et une réactivité chimique très intéressante, sont particulièrement appréciées.

Dans ce contexte, l'objectif de ce travail est d'étudier la possibilité de la synthèse biologique des nanoparticules d'oxyde de zinc (ZnO) à l'aide d'un extrait de plante, et de caractériser ces nanoparticules à l'aide de différentes techniques telles que la diffraction des rayons X (DRX) et la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR). En outre, ce travail vise à démontrer que les nanoparticules synthétisées présentent des activités antioxydantes et photo-catalytiques. Ce mémoire, décrivant le travail effectué, est structuré en trois chapitres distincts.

Chapitre 1 : Généralités sur les Nanoparticules

Le premier chapitre offre une vue d'ensemble sur les nanoparticules en se basant principalement sur leurs propriétés et leur synthèse biologique. Les différentes méthodes de synthèse des nanoparticules, avec un accent sur les techniques biologiques utilisant des extraits de plantes, sont explorées. Les avantages de ces méthodes, notamment leur éco-compatibilité et leur coût réduit, sont discutés. Ce chapitre aborde également les diverses applications des nanoparticules, en particulier leur activité antibactérienne. Enfin, une présentation sur les colorants et leurs effets nocifs sur l'environnement est incluse.

Chapitre 2 : Matériel et Méthodes

Le deuxième chapitre décrit le matériel utilisé pour la biosynthèse des nanoparticules et les protocoles expérimentaux mis en œuvre pour réaliser les tests photo-catalytiques et les tests d'activité antioxydante. Les techniques utilisées pour la caractérisation des nanoparticules, telles que la diffraction des rayons X (DRX) et la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR), sont également détaillées. Les principes de fonctionnement, les appareils utilisés, et les paramètres de mesure sont inclus.

Introduction générale

Chapitre 3 : Résultats et Discussion

Le troisième chapitre présente les résultats obtenus au cours de ce travail. Les données de caractérisation des nanoparticules, incluant les spectres DRX et FTIR, sont analysées et discutées. Les propriétés structurales et optiques des nanoparticules sont examinées en détail. Les résultats des tests d'activité antioxydante et photo-catalytique sont également exposés et interprétés. Enfin, ce chapitre discute des implications des résultats obtenus pour les domaines de la nanotechnologie et de la biologie synthétique des nanoparticules, ainsi que des perspectives pour des recherches futures et des applications potentielles des nanoparticules synthétisées.

Chapitre I :
Partie Bibliographique
(Généralité sur les nanoparticules)

I. 1 Introduction :

Les nanosciences et les nanotechnologies se démarquent actuellement comme l'un des domaines de recherche les plus prometteurs en sciences de la matière. Ils englobent un vaste domaine de développements technologiques, mettant en jeu la création de structures, de dispositifs et de systèmes à partir d'objets de taille nanométrique. Ces avancées scientifiques ont donné naissance aux nanosciences. Ces dernières années, les matériaux de dimensions nanométriques ont suscité un vif intérêt en raison de leurs propriétés physiques et chimiques spécifiques, distinctes de celles de leurs équivalents à l'état massif. Ces caractéristiques nouvelles font des nanoparticules un sujet de recherche en constante évolution, qui explore de nouvelles stratégies de synthèse pour obtenir des nanomatériaux de tailles et de formes contrôlées. [1]

I.2. Nanotechnologies:

Les nanotechnologies englobent un large éventail d'applications dans divers domaines scientifiques, mais elles se concentrent principalement sur la recherche des principes et des propriétés à l'échelle nanométrique. Leur objectif central est de créer des objets ou des matériaux dont les dimensions sont inférieures à 100 nanomètres. En d'autres termes, elles englobent tout ce qui concerne la conception, la caractérisation, la production et l'application de structures, de dispositifs et de systèmes en contrôlant leur forme et leur taille à l'échelle nanométrique. Les nanotechnologies relèvent de la recherche appliquée et présentent un potentiel économique significatif dans des secteurs divers tels que la médecine, la chimie, l'énergie, la gestion des ressources et l'environnement [2]

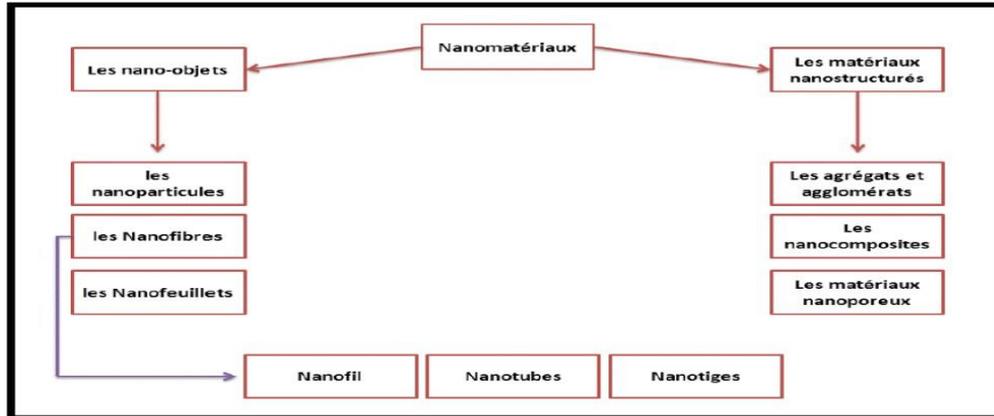
I.3.Nanosciences:

Les nanosciences se focalisent sur l'analyse des phénomènes qui se manifestent au sein d'objets, de structures ou de systèmes dont les dimensions sont de l'ordre de quelques nanomètres (inférieures à 100 nm) dans au moins une direction spatiale, et dont les propriétés sont spécifiquement influencées par cette échelle nanométrique. Ces propriétés diffèrent de celles des objets, systèmes ou structures similaires de tailles plus importantes.[3]

I.4.Nanomatériaux:

Un nanomatériau se réfère à un matériau naturel, créé de manière accidentelle ou fabriqué, qui contient des particules libres, agglomérées en agrégats ou en agglomérats. Dans la répartition numérique par taille de ces particules, au moins 50 % possèdent une ou plusieurs dimensions externes inférieures à quelques nanomètres[4]

Figure I.1 : Schéma récapitulatif des différents types des nanomatériaux [5]

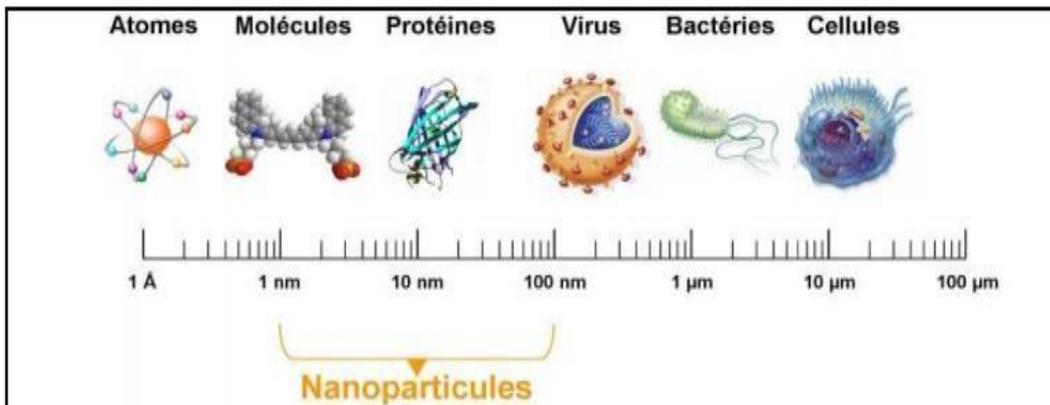


I.5 Nanoparticules :

I.5.1 Définition:

Les nanoparticules (NP), également connues sous le nom de particules ultrafines (UFP), sont des nano-objets tridimensionnels dont la taille varie généralement de 1 à 100 nanomètres ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 0,0000000001 \text{ m}$). Ainsi, elles sont plus grandes qu'un atome mais plus petites qu'une cellule. De plus, une nanoparticule est une masse moléculaire atomique ou microscopique constituée d'un million d'atomes liés entre eux de manière quasi sphérique, avec un rayon inférieur à 100 nanomètres.[6]

Figure I.2.: Les tailles des nanoparticules comparées à d'autres structures. [1]



I.5.2 Classification des nanoparticules:

I.5.2.1 Classification de nanomatériaux selon leurs formes d'utilisation :

I.5.2.2 Matériaux de dimension 0 :

Ces matériaux se présentent sous forme dispersée, soit de manière aléatoire, soit organisée, comme c'est le cas dans les cristaux colloïdaux utilisés en optique ou dans les fluides magnétiques.

I.5.2.3 Matériaux de dimension 1 :

Il s'agit de matériaux se présentant sous forme de nano-fils ou de nanotubes.

I.5.2.4 Matériaux de dimension 2 :

Ces matériaux se trouvent sous forme de couches minces, telles que dans les dépôts d'agrégats ou les revêtements épais obtenus par projection plasma ou voie électrochimique.

I.5.2.5. Matériaux de dimension 3 :

Ils se présentent sous forme compacte, comme dans les céramiques et les métaux nano structurés.[7]

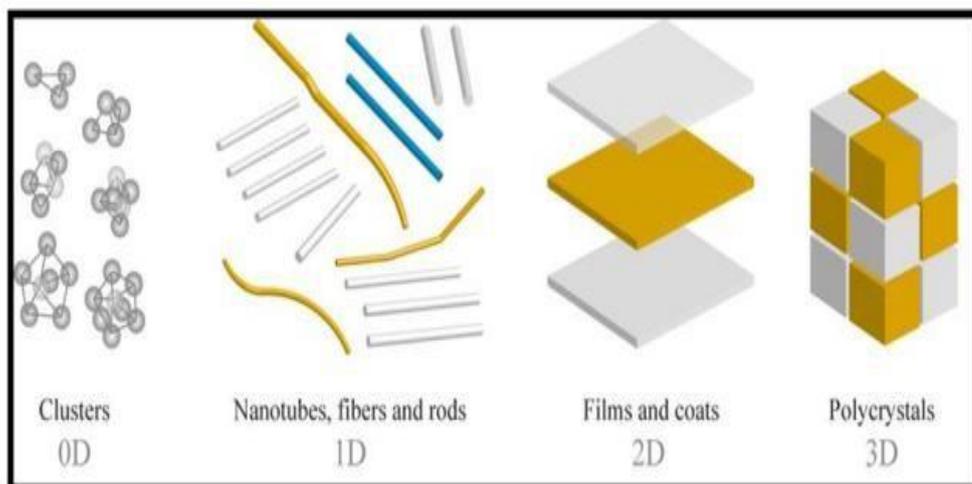


Figure I.3 :Type des nanoparticules selon leurs dimensions[8]

I.6 Classification de nanoparticules en fonction de leurs sources :

I.6.1 Origine naturelle

➤ Biologique :

Dans le domaine biologique, on retrouve différentes structures à l'échelle nanométrique, telles que l'ADN, avec un diamètre de l'ordre de 2,5 nanomètres, ainsi que plusieurs bactéries dont la taille varie de 30 nanomètres à 10 micromètres, et plusieurs virus qui ont une taille comprise entre 10 et 60 nanomètres.

➤ Minérale ou environnementale :

Dans le domaine minéral ou environnemental, on rencontre également des particules à l'échelle nanométrique. Cela inclut la fraction fine du sable de désert, les fumées issues d'activités volcaniques ou de feux de forêt, ainsi que certaines poussières atmosphériques.[9]

➤ Origine humaine :

Les "engineerednanoparticles", ou nanoparticules manufacturées, sont des nanomatériaux conçus dans un but d'application technologique. Cela inclut des particules telles que les particules ultrafines d'oxyde de titane et de métaux, ainsi que les pigments utilisés dans la peinture, entre autres. D'autre part, les "bulknanoparticles" comprennent des substances comme le noir de carbone, la fumée de silice, la fumée d'huile, le "smog" et les particules diesel, entre autres. [10]

I.7 Classification des nanomatériaux selon leur localisation au sein du composant / objet/produit considéré : [11]

Tableau I-1-.Classification des nanoparticules en fonction de leur composition Chimique

Matériaux à base de carbone	Matériaux à base de métaux	Dendromètres	Matériaux opposites
Définitions	Matériaux à base de carbone qui ont soit une forme sphérique ou tubulaire	Matériaux ayant un élément métallique et des cavités intérieures vides	Polymères assemblés de façon ramifiée et aux nanoparticules entre des combinaisons résultant d'une chimie et un autre matériau à la nano-échelle

I.8 Propriétés des nanomatériaux :

Les nanomatériaux, comme décrit dans le rapport "Les nanomatériaux : effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement", présentent de nombreuses propriétés particulières, parmi lesquelles les principales sont les suivantes :

- **Propriétés mécaniques** La structure nanométrique améliore la résistance mécanique [12]
- **Propriétés électriques** L'utilisation de nanoparticules ou de nanotubes modifie la conductivité électrique des matériaux [12]
- **Propriétés optiques** Les nanoparticules peuvent améliorer la transparence des matériaux en raison de leurs dimensions : lorsque la taille de la nanoparticule est inférieure aux longueurs d'onde de la lumière visible [12]
- **Propriétés de transfert thermique** La présence de nanoparticules peut améliorer la conductivité thermique des matériaux [12]
- **Propriétés magnétiques** Les cristaux (nanomatériaux de dimension 0) peuvent significativement influencer le comportement magnétique des matériaux [12]
- **Propriétés catalytiques** Certains nanomatériaux peuvent jouer le rôle de catalyseur pour des réactions spécifiques, par exemple les nanoparticules d'or dans la réaction d'oxydation du monoxyde de carbone (CO)[12].

I.9 Les méthodes de Synthèse des nanoparticules :

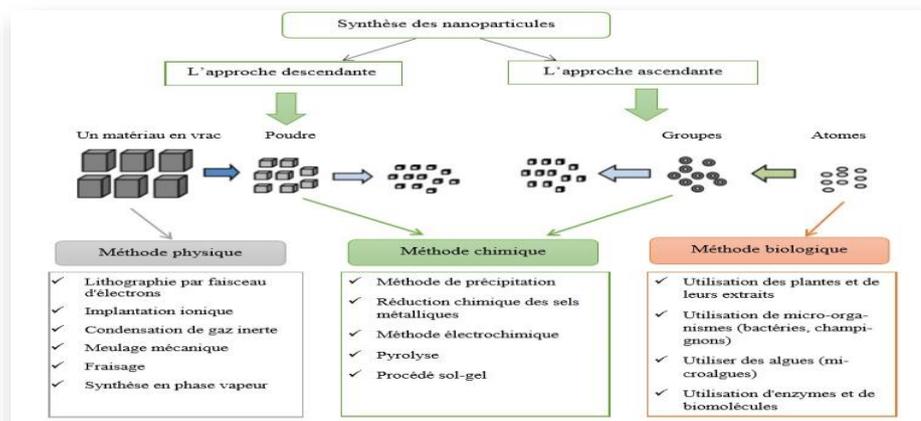


Figure I.4: Représentation schématique des différentes méthodes de synthèse des Nps [12]

1. Une étude a utilisé des feuilles de Phoenix Dactylifera pour synthétiser des nanoparticules de ZnO (Nps de ZnO) par une méthode verte. L'extrait des feuilles a servi à réduire les ions métalliques, produisant des nanoparticules de haute pureté. Les propriétés optiques et cristallines des Nps de ZnO biosynthétisées ont été caractérisées à l'aide de la spectroscopie UV-Vis, la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) et la diffraction des rayons X (DRX). Ces techniques ont permis d'analyser l'absorption de la lumière, d'identifier les groupes fonctionnels présents et de révéler la structure cristalline des nanoparticules.[13]
2. Une étude a utilisé l'extrait de menthe pour synthétiser des Nps de ZnO. La caractérisation des échantillons a montré la présence de nanoparticules par spectroscopie UV-Vis et DRX. Les Nps ont été utilisées pour stériliser des surfaces et ont montré des propriétés antibactériennes[14]
3. Une étude a utilisé des feuilles de la plante OcimumTenuiflorum pour synthétiser des nanoparticules de ZnO (Nps de ZnO) par une méthode de synthèse verte. Cette méthode évite l'utilisation de gaz inertes, de haute pression, de radiations laser, de haute température et de produits chimiques toxiques, contrairement aux méthodes conventionnelles telles que la méthode sol-gel, la méthode d'ablation laser, la méthode solvothermale, la méthode de condensation de gaz inertes et la méthode de réduction chimique. Les nanoparticules de ZnO préparées ont été caractérisées par diffraction des rayons X (DRX), microscopie électronique à balayage (MEB) et spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR). La taille moyenne des particules a été calculée à 13,86 nm en utilisant la formule de Scherrer.[14]
4. Une étude a utilisé des feuilles de Hibiscus rosa-sinensis pour synthétiser des nanoparticules de ZnO (NPs de ZnO) par une méthode de chimie verte en utilisant le nitrate de zinc et les composants biochimiques des feuilles. Cette méthode, respectueuse de l'environnement, permet de produire des nanoparticules inorganiques multifonctionnelles de manière simple et rapide. Les plantes, comme le Hibiscus rosa-sinensis, sont des candidats idéaux pour la biosynthèse à grande échelle de nanoparticules, offrant une plus grande stabilité et un taux de synthèse plus rapide que d'autres organismes. La taille et la morphologie des NPs de ZnO ont été caractérisées par microscopie électronique à balayage (MEB) et diffraction des rayons X (DRX). [15]

I.10 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous concluons que les nanotechnologies présentent un potentiel considérable. De nombreuses applications sont envisageables dans divers domaines. Nous avons décrit les procédés de synthèse des nanoparticules métalliques, en mettant particulièrement l'accent sur la méthode de synthèse verte. Les nanoparticules (NPs) suscitent un grand intérêt en raison de leurs propriétés extraordinaires, qui les rendent exploitables dans des secteurs variés tels que l'industrie, l'alimentation, la médecine, la cosmétique, et bien d'autres. La méthode de synthèse verte, en particulier, offre une approche respectueuse de l'environnement, utilisant des extraits de plantes ou d'autres biomatériaux pour produire des nanoparticules de manière plus sûre et durable. Cette méthode permet non seulement de réduire l'utilisation de produits chimiques toxiques, mais aussi d'optimiser la stabilité et la fonctionnalité des nanoparticules, favorisant ainsi leur intégration dans une multitude d'applications innovantes et écologiques.

Références bibliographiques :

- [1] D.E. BELFENACHE, ELABORATION ET ETUDE DE NANOPARTICULES Au/TiO₂ ET Ag/TiO₂, Université de Constantine 1, 2012.
- [2] H.M. Metiaz and A. Boudiba, SYNTHÈSE, CARACTÉRISATION DES NANOPARTICULES D'ARGENT A BASE D'EXTRAIT DES FEUILLES DE PLANTES ET EVALUATION DE LEUR ACTIVITÉ ANTIOXYDANTE ET ANTIMICROBIENNE, 2020, جامعة غرداية.
- [3] W. Ben Mbarek, (2018).
- [4] K. Chami, N. Feltin, E. Gaffet, S. Lacour, M. Lassus, O. Le Bihan, A. Niaudet, M. Ricaud and F. Nesslany, Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement, 82 (2021) 51.
- [5] M. Ricaud and O. Witschger, Les nanomatériaux: Définitions, risques toxicologiques, caractérisation de l'exposition professionnelle et mesures de prévention, INRS, 2009.
- [6] J. Roman, Détection et analyse électrique de nanoparticules grâce à un nanopore solide et intégration microfluidique, Université Paris-Saclay (ComUE), 2018.
- [7] L. NANOMATERIAUX, Effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement, Afsset July, 2006.
- [8] E.-A. Moustafa, A. Noah, K. Beshay, L. Sultan, M. Essam and O. Nouh, World Journal of Engineering and Technology, 3 (2015) 116.
- [9] A. Kohan, G. Ceder, D. Morgan and C.G. Van de Walle, Physical Review B, 61 (2000) 15019.
- [10] F. Prosie, F.-X. Lesage and F. Deschamps, La Presse Médicale, 37 (2008) 1431.
- [11] Y. HADID, A. CHETIOUI and M.B. GOUDJIL, Synthèse verte et caractérisation des nanoparticules à base de Fe₂O₃ et leur application en photocatalyse (Élimination de bleu de méthylène).
- [12] J.K. Patra and K.-H. Baek, Journal of Nanomaterials, 2014 (2014) 417305.
- [13] B. Djamel, Optimisation des conditions opératoires de synthèse verte de nanoparticules de ZnO à l'aide d'extrait des feuilles de Phoenix Dactylifera.
- [14] D. Sagar Raut and R. Thorat, Int. J. Sci. Res, 4 (2015) 1225.
- [15] R.S. Devi and R. Gayathri, Int. J. Curr. Eng. Technol, 4 (2014) 2444.

Chapitre II :
Présentation de la plante étudiée
Et Matériels et méthodes

II.1. Introduction :

Ce chapitre propose une exploration détaillée de la préparation et de la caractérisation des nanoparticules d'oxyde métallique ZnO en utilisant les feuilles de la menthe aquatique. La méthode de synthèse verte de ces nanoparticules sera exposée en profondeur, mettant en lumière les étapes et les conditions nécessaires à leur fabrication. Ensuite, les protocoles expérimentaux employés pour conduire les tests photo-catalytiques et les tests d'activité antibactérienne des poudres synthétisées seront présentés de manière exhaustive. Enfin, une attention particulière sera portée aux techniques de caractérisation utilisées, notamment la diffraction des rayons X (DRX), la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR), la spectroscopie UV-Visible (UV-Vis), qui seront respectivement abordées pour une analyse approfondie des propriétés des nanoparticules obtenues.

II.2. Les plantes aromatiques :

Les plantes aromatiques jouent un rôle double en tant que produit final pour la consommation et matière première pour la production de substances bioactives essentielles à plusieurs médecines modernes, grâce à leur abondance en métabolites secondaires, notamment les composés phénoliques aux propriétés biologiques bénéfiques. Ces produits végétaux revêtent une importance cruciale dans la synthèse des nanoparticules (Nps). Ainsi, dans le cadre de la valorisation de la flore algérienne, un intérêt particulier a été porté à une espèce de la famille des Lamiacées, la Menthe aquatique.

II.3. Description de la plante :

La menthe aquatique (*Mentha aquatica*) est une plante herbacée à rhizome présente en Europe, dans le nord-ouest de l'Afrique et dans le sud-ouest de l'Asie. Ses tiges, de section carrée, arborent une couleur verte ou violette et peuvent être poilues ou presque glabres. Son rhizome, largement étalé, est charnu, fibreux et rampant. Les feuilles, quant à elles, sont ovales à ovales-lancéolées, mesurant entre 2 et 6 centimètres de long pour 1 à 4 centimètres de large. Elles présentent une teinte verte parfois violacée, sont disposées de manière opposée, dentelées, et peuvent varier de poilues à presque glabres. Toutes les parties de la plante dégagent une odeur de menthe caractéristique, due au menthol, un alcool terpénique, conférant à la plante un goût frais et rafraîchissant. La menthe aquatique

pousse dans les marres peu profondes, les ruisseaux, les petites rivières, les flaques d'eau, les digues, les fossés, les canaux, les prairies humides, les marécages et les tourbières. Lorsqu'elle se trouve dans l'eau, elle peut s'élever au-dessus de la surface[1]

Figure II.1 : La menthe aquatique[1]



II.3.1. La propagation :

La propagation par graines de la menthe aquatique est simple : il suffit de semer au printemps sous châssis froid. La germination est généralement rapide. Lorsque les semis sont suffisamment développés pour être manipulés, transplantez-les dans des pots individuels et plantez-les en été. Cependant, il est important de noter que les espèces de menthe ont tendance à s'hybrider facilement, ce qui rend difficile l'identification de la véritable menthe aquatique à partir des graines. Même si les semis ne sont pas des hybrides, leur uniformité ne peut être garantie, ce qui entraîne des variations dans la teneur en huile médicinale, entre autres caractéristiques[1]

II.4. Utilisations de la menthe aquatique :

Les tisanes confectionnées à partir des feuilles de menthe aquatique, de préférence les plus jeunes, sont couramment utilisées. Le thé élaboré à partir de ces feuilles est traditionnellement employé pour soulager les fièvres, les maux de tête, les troubles digestifs et diverses affections. Les feuilles sont récoltées au moment de la floraison et peuvent être séchées pour un usage ultérieur[1]

Récoltée avant la floraison, la plante produit environ 0,8 % d'huile essentielle. Cette huile essentielle, aux propriétés antiseptiques, peut toutefois être toxique à fortes doses. Bien qu'aucune trace toxique n'ait été observée dans cette variété de menthe, une utilisation excessive de certains membres de ce genre, notamment sous forme d'huile essentielle extraite, peut entraîner des risques de fausse couche[1]

II.5. Caractérisation de menthe aquatique :

Tableau II.01: données scientifiques de menthe aquatique[1]

Menthe aquatique	
Famille	Lamiacees
Genre	Menthe
Type	Rhizome
Croissance	Rapide
Eclairage	Intense
Taille	50 a 90cm
PH	5,5 a 7,0
Origine géographique	
Continent d'origine	Europe
Habitat naturel	Europe sud, Afrique nord-ouest, Asie sud-ouest

II.6. Généralité sur l'oxyde de zinc [Zno] :

La capacité d'une substance à agir comme catalyseur dans un système spécifique dépend de sa composition chimique et de ses propriétés de surface. L'oxyde de zinc est connu pour ses propriétés catalytiques, notamment dans les réactions d'oxydation et de déshydrogénation. En particulier, ses particules en suspension dans l'eau servent de catalyseur pour diverses réactions telles que la conversion de l'oxygène en ozone, l'oxydation de l'ammoniac en nitrate, la synthèse du peroxyde d'hydrogène, ainsi que l'oxydation des phénols. En raison de ces propriétés, le zinc est largement utilisé pour la minéralisation des polluants organiques ou comme capteur de gaz (CH₄, H₂, CO₂, H₂S), entre autres applications. Ces propriétés catalytiques dépendent principalement du degré de perfectionnement de sa structure cristalline, qui influe sur son énergie de surface, ainsi que de ses propriétés conductrices, telles que les lacunes, les atomes en positions interstitielles, et les dopants.

II.6.1. Les propriétés optiques d'oxyde de zinc :

➤ Structure cristalline

ZnO cristallise principalement dans deux structures : hexagonale (wurtzite) et cubique (zinc blende). La structure wurtzite est la plus stable et la plus commune à température et pression ambiantes [2].

➤ Propriétés électriques

ZnO est un semi-conducteur à large bande interdite (3,37 eV à 300 K). Il peut être dopé de type n ou p pour ajuster ses propriétés électroniques. La substitution du zinc par l'étain augmente la conductivité électrique due à la présence d'électrons libres supplémentaires [2]

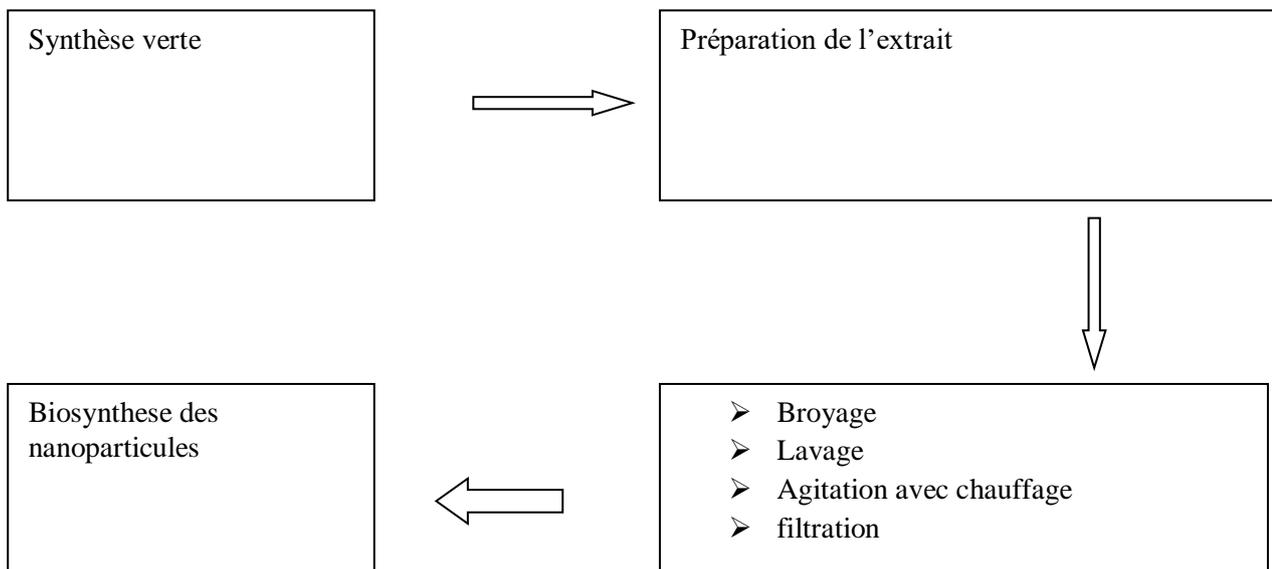
➤ Propriétés optiques

ZnO absorbe fortement les rayonnements UV et présente une forte émission dans l'UV proche, ce qui en fait un bon candidat pour les LED UV et les lasers. Son indice de réfraction élevé en fait aussi un bon matériau pour les guides d'ondes optiques. La bande interdite est de nature directe et varie de 3.3 eV à 3.4 eV [2].

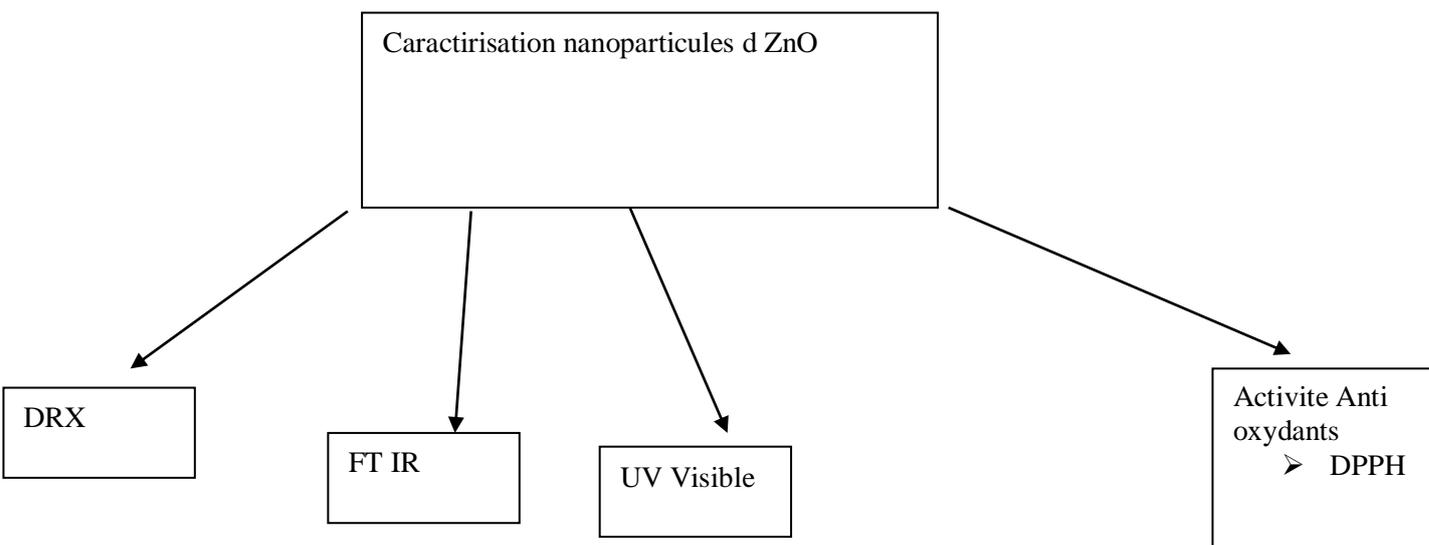
➤ Propriétés thermiques

ZnO a une conductivité thermique relativement élevée (de 25 à 60 W/m·K) et un coefficient de dilatation thermique faible, ce qui en fait un bon matériau pour les applications nécessitant une bonne dissipation de chaleur [2]

Les différentes étapes de Synthèse verte:



Caractirisation nanoparticules d ZnO



II.7.Manipulation :

Liste des produits chimique :

Tableau II.02: Représente les propriétés du produit chimique de la synthèse

Produit	Symbole	Masse molaire	Remarque
L'eau distillée	H ₂ O	18g/mol	Soluble dans l'eau
Sulfate du zinc	ZnSO ₄	161,44g/mol	Soluble dans l'eau
Bleu de méthylène Hydrate	C ₁₆ H ₁₈ N ₃ S H ₂ O	319,85 g/mol	Soluble dans l'eau
Hydroxyde de Sodium	NaOH	39,997 g/mol	Soluble dans l'eau

II.7.1. Mode opératoire :

➤ Préparation de l'extrait :

Pour extraire l'extrait de plante de menthe aquatique, commencez par laver la plante à l'eau du robinet pour éliminer les impuretés, puis rincez-la à l'eau distillée. Étalez ensuite la plante dans un endroit ombragé jusqu'à ce qu'elle soit complètement sèche. Une fois la plante sèche, séparez les feuilles des tiges[3]

Figure II.02 : la plante menthe aquatique



Prenez un bécher contenant 100 ml d'eau distillée et chauffez-le à 70°C. Ajoutez ensuite 10 g de feuilles de menthe aquatique au bécher et couvrez-le avec du papier aluminium pour éviter l'évaporation des métabolites secondaires. Laissez le mélange reposer pendant 30 minutes sous agitation. Enfin, filtrez le mélange et conservez l'extrait à température ambiante [3]

Figure II.03 : Filtration (extrait)



➤ Préparation de solution de $\text{ZnC}_4\text{H}_6\text{O}_4,2\text{H}_2\text{O}$:

Les nanoparticules d'oxyde de zinc ont été synthétisées par réduction des ions de zinc à l'aide des composés phénoliques présents dans l'extrait de Menthe aquatique, via un processus d'hydrolyse et d'oxydation. Pour cela, une solution de 0,37 M de $\text{ZnC}_4\text{H}_6\text{O}_4,2\text{H}_2\text{O}$, a été préparée en dissolvant 6 g d'Acétate de zinc dans 250 ml d'eau distillée dans un erlenmeyer en verre. Ensuite, 50 ml d'extrait de menthe aquatique ont été ajoutés goutte à goutte à cette solution de $\text{ZnC}_4\text{H}_6\text{O}_4,2\text{H}_2\text{O}$, tout en incorporant une solution de NaOH 1 M, le tout à une température de 70 °C. Le mélange a été agité jusqu'à l'apparition de précipités blancs.

Les précipités obtenus ont été récupérés par centrifugation à 4500 tr/min pendant 10 minutes.

Figure II.04 : Centrifugation de la solution

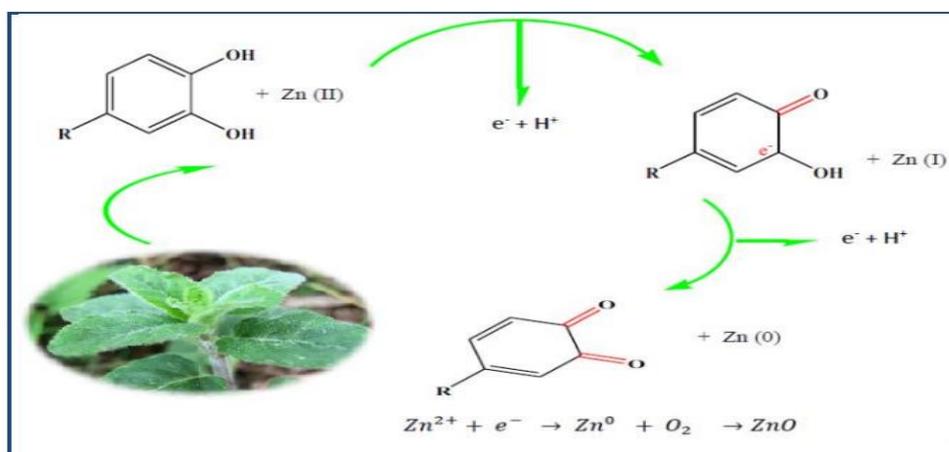


Puis séchés à 80 °C pendant une nuit. Par la suite, ils ont été calcinés à 450 °C pendant 2 heures, produisant des nanoparticules de ZnO pur sous forme de poudre cristalline.

Figure II.05 : Les étapes de la purification



Figure II .06 : mécanisme supposer de la synthèse des Nps d'oxyde de zinc [4].



II.8. Etude de dégradation des colorants :

II.8.1. Test photo catalytique :

L'évaluation des propriétés photocatalyse des poudres synthétisées se fait par utiliser le bleu de méthylène comme un polluant dans laboratoire de chimie à l'Université Belhadj Bouchaib Ain Temouchente.

II.8.2. Photo-catalyseurs :

Les nanoparticules de ZnO synthétisées par la méthode biologique ont été utilisées comme catalyseur.

II.8.3. Bleu de méthylène :

Le bleu de méthylène est un composé chimique organique de formule $C_{16}H_{18}ClN_3S$, H_2O . Il se présente généralement sous forme de poudre cristalline de couleur bleu foncé[4]

Figure II.07: solution de bleu de méthylène [4, 5]



Tableau II.3 : Caractéristiques et structure chimique du colorant Bleu de méthylène BM [5]

Nom commercial	Méthylène bleu
Famille	Colorant basique
Masse Molaire (g/mol)	319.85
Formule chimique	$C_{16}H_{18}ClN_3S$
Appellation chimique	Chlorure 3,7- bis (diméthylamino) phénazathionium
λ_{max} (nm)	664
T° fusion	Décomposition a 180°C
Solubilité	50 g/l (eau à 20°C) 10g/l (éthanol à 20°C)
Analyse	Spectrophotométrie UV-Vis
Structure moléculaire	

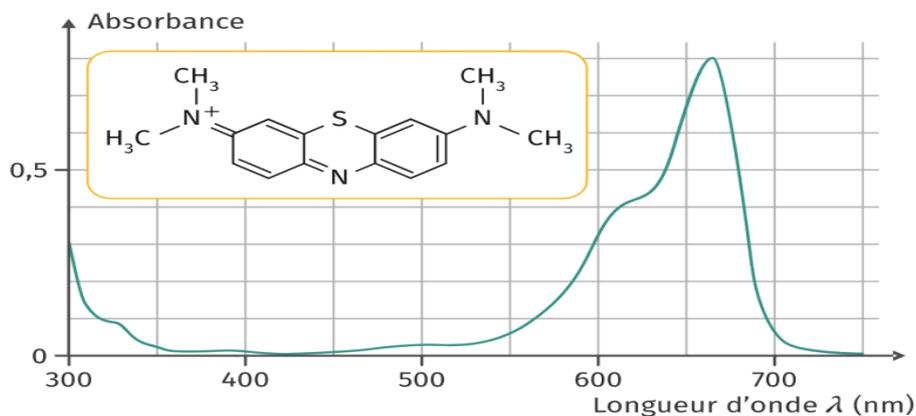
II.8.4. L'étalonnage de Bleu de Méthylène :

➤ Spectre d'absorption UV-Visible de BM :

La figure montre le spectre d'absorption UV/Visible d'une solution de BM ($5 \cdot 10^{-5}$ M) à $pH = 6,7$. On y observe principalement deux bandes d'absorption centrées respectivement sur 295 nm et 665 nm ($\epsilon = 52956 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$). La bande UV est due à la transition $\pi \rightarrow \pi^*$ et la bande visible, qui est la plus intense, est due à la transition

$n \rightarrow \pi^*$. Cette dernière est responsable de la coloration bleue qui caractérise le BM à cette valeur de pH.

Figure II.08: longueur d'onde de bleu de méthylène [6]



II.9. Techniques expérimentales d'analyse :

L'aspect le plus crucial de la recherche sur les nanoparticules (Nps) réside dans leur caractérisation, qui repose généralement sur des critères tels que leur taille, leur forme, leur structure cristalline, leur charge et leur composition. Les méthodes les plus couramment utilisées pour caractériser les Nps incluent la spectroscopie UV-Vis, la diffraction des rayons X (DRX) et la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) [7]

II.9.1. Spectroscopie UV-visible :

La spectroscopie UV-Visible est une méthode essentielle et facile à utiliser pour l'identification des nanoparticules métalliques. En effet, les nanoparticules métalliques (comme l'argent, le cuivre et le zinc) présentent des propriétés optiques uniques liées à un phénomène classique d'augmentation du champ électrique [7] souvent appelé confinement diélectrique. Les études observent systématiquement des spectres d'absorption dans les échantillons contenant des nanoparticules métalliques.

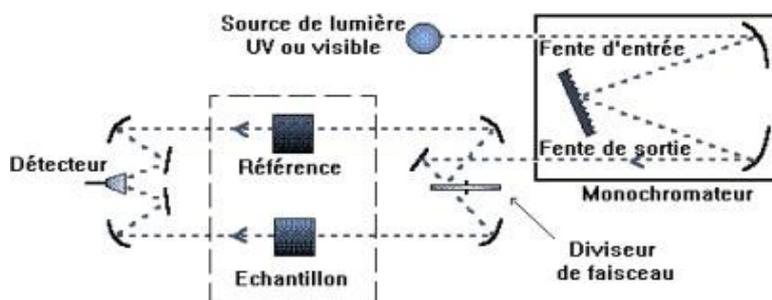
Figure II.9:Appareil d'UV-Visible de l'université d'Ain Temouchent



II.9.1.1. Principe de fonctionnement :

Le principe de cette méthode implique de stimuler l'échantillon avec une source de lumière blanche et de mesurer l'intensité de la lumière transmise en fonction de la longueur d'onde. Les photons, dont l'énergie correspond à une transition optiquement permise par l'échantillon, sont absorbés. Cette technique nécessite une source lumineuse continue couvrant toute la gamme de longueurs d'onde UV-Vis, un monochromateur pour sélectionner une longueur d'onde spécifique, un photomètre pour diviser la lumière en deux faisceaux, un photodétecteur, un amplificateur et un logiciel pour le traitement des signaux. Les données sont généralement représentées sous forme d'absorption en fonction de la longueur d'onde[8]

FigureII.10:ReprésentationschématiqueduspectrophotomètreUV-visible[8]



II.9.1.2. Absorbance de nanoparticules d'zinc :

En comparaison avec les objets à l'échelle macroscopique, les nanoparticules présentent un numéro atomique plus élevé, entraînant ainsi une concentration plus importante d'électrons libres à leur surface. Lorsque la lumière excite la surface

métallique, cela engendre une vibration collective des électrons en surface. Cette excitation crée une résonance des électrons, conduisant à l'absorption d'une longueur d'onde spécifique, comme démontré par le spectre UV-Vis observé [8]

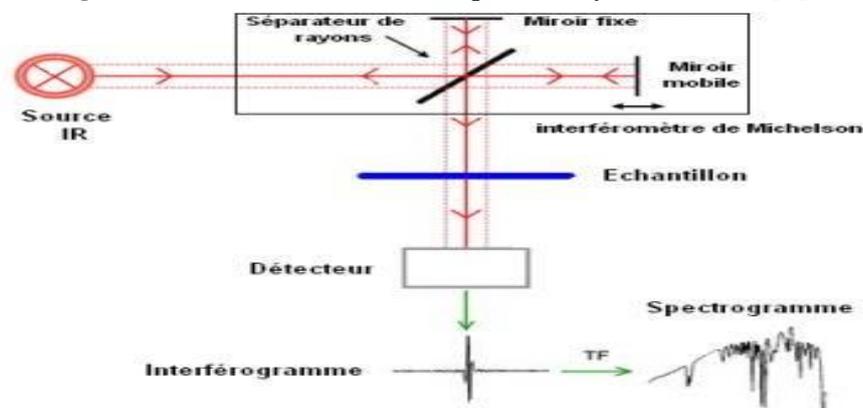
II.10. Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR):

La spectroscopie FT-IR est une méthode permettant d'obtenir des informations sur les divers groupes fonctionnels à partir des positions des pics dans le spectre. Cette analyse peut également fournir des indications sur la reconnaissance et la stabilisation des nanoparticules [9]

II.10.1. Principe de fonctionnement :

Le principe du FTIR repose sur l'absorption d'un ou plusieurs rayonnements infrarouges à double faisceau par l'échantillon à analyser. Cette technique permet de détecter les fréquences des propriétés vibrationnelles des liaisons chimiques pour l'analyse fonctionnelle chimique des matériaux. Le faisceau infrarouge est dirigé vers l'interféromètre de Michelson, qui module la fréquence de chaque longueur d'onde du faisceau lumineux. Dans cet appareil, la lumière incidente est divisée en deux parties par un séparateur, puis réfléchi par des miroirs, l'un fixe et l'autre mobile. Lorsque les deux faisceaux se recombinent, des interférences destructives ou constructives se produisent en fonction de la position du miroir mobile. Le faisceau modulé est ensuite renvoyé vers l'échantillon par les miroirs, où l'absorption se produit. Enfin, le faisceau atteint le détecteur où il est converti en signal électrique.

Figure II.11: Ustrations schématisées d'un système FTIR [9]



II.11. Diffraction des rayons X

La diffraction de rayons X (DRX) est une technique d'analyse structurale utilisée pour déterminer : la structure cristalline de la matière, les paramètres de maille, l'orientation préférée des cristaux, la taille des cristallites, les contraintes et l'identification qualitative des phases [[9].

II.11.1. Principe de fonctionnement :

Lors d'une analyse utilisant cette méthode, un faisceau de rayons X monochromatique, émis par une source de radiation $\text{CuK}\alpha$, est dirigé vers l'échantillon à analyser à un angle θ (voir Figure II.13). Un détecteur reçoit ensuite le faisceau de rayons X diffracté par cet échantillon cristallin, et l'intensité I est enregistrée en fonction de l'angle de diffraction 2θ . Lorsque la loi de Bragg est respectée, un pic de diffraction correspondant à la famille de plans atomiques cristallins est observé sur le diffractogramme ($I, 2\theta$) [6]

$$2d_{hkl} \cdot \sin\theta = n\lambda \quad \text{II.9}$$

Avec:
 (hkl) indices de Miller

θ Angle de Bragg

d_{hkl} la distance interréticulaire entre les plans diffractant

λ la longueur d'onde du faisceau incident

n l'ordre de la diffraction-7-

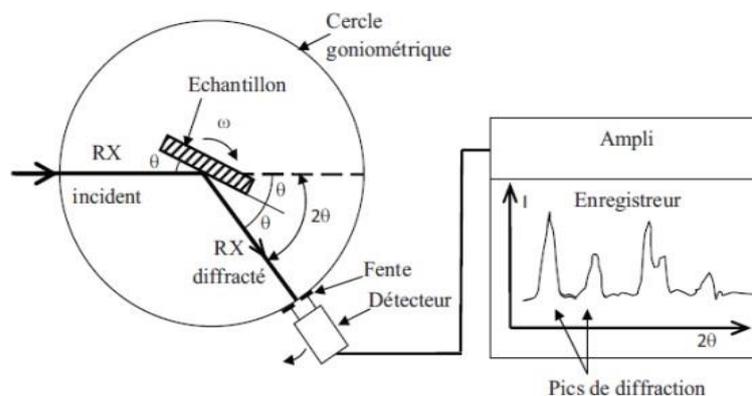


Figure II.12: Représentation schématique des conditions de la loi de Bragg, diffraction de rayons X par une famille de plans atomiques cristallins [6]

Référence du chapitre II:

- [1] C. BAKRI, La place de la phytoremédiation dans les techniques de dépollution des sols de l'ancienne mine de mercure d'Azzaba (Utilisation de la Menthe Aquatique), Ecole Nationale Supérieure des Mines et de la Métallurgie. Amar Laskri. Annaba, 2021.
- [2] K. Chetouane, K. Ghaddar and S.E. Kouras, ETUDE CINETIQUE DE LA DEGRADATION PHOTOCATALYTIQUE ET PHOTOINDUITE DU COLORANT BLEU DE METHYLENE EN SOLUTION AQUEUSE, université de jijel, 2021.
- [3] A. Taabouche, mémoire de magister, université Constantine, (2010).
- [4] F. Sakr, A. Sennaoui, M. Elouardi, M. Tamimi and A. Assabbane, Journal of materials and Environmental Science, 6 (2015) 397.
- [5] R. Beer, M.A. Baumann and A.M. Kielbassa, (No Title), (2006).
- [6] L. Maniguet, F. Roussel, F. Charlot and F. Robot, 4ème Journée Scientifiques et Techniques du Réseau des Microscopistes de l'INRA, (2013).
- [7] L.W. Low, T.T. Teng, M. Rafatullah, N. Morad and B. Azahari, Separation Science and Technology, 48 (2013) 1688.
- [8] D.A. Skoog, F.J. Holler and S. Crouch, Cole, Canada, (2007).
- [9] S. HAFRI, Etude de la croissance des nanostructures de ZnO déposées par la technique spray ultrasonique, Université Mohamed Boudiaf des sciences et de la technologi, 2015.

CHAPITRE III :

Résultats et discussions

III.1. Introduction:

Ce chapitre expose la discussion des résultats issus de la caractérisation des nanoparticules d'oxyde de zinc, fabriquées selon une méthode écologique. Ces résultats offrent plusieurs perspectives d'interprétation. En outre, nous avons évalué les performances de ces nanoparticules à travers des tests d'activité antioxydante et photo-catalytique.

III.2. Caractérisation des nanoparticules d'oxyde de zinc:

III.2.1. Caractérisation par diffraction des rayons (DRX):

La Figure présente le spectre de diffraction des rayons X des nanoparticules (NPs) de ZnO. Trois pics distincts ont été observés à des angles de 2θ de $32,25^\circ$, $34,98^\circ$ et $36,79^\circ$, correspondant respectivement aux plans cristallins (100), (002) et (101), confirmant ainsi la présence des NPs de ZnO. Un décalage par rapport aux données de référence du ZnO répertoriées dans la carte JCPDS N° 36-1451 est également remarqué. De plus, la présence de pics de diffraction nettement définis suggère une structure cristalline de type würtzite hexagonale, conforme à la littérature[1].

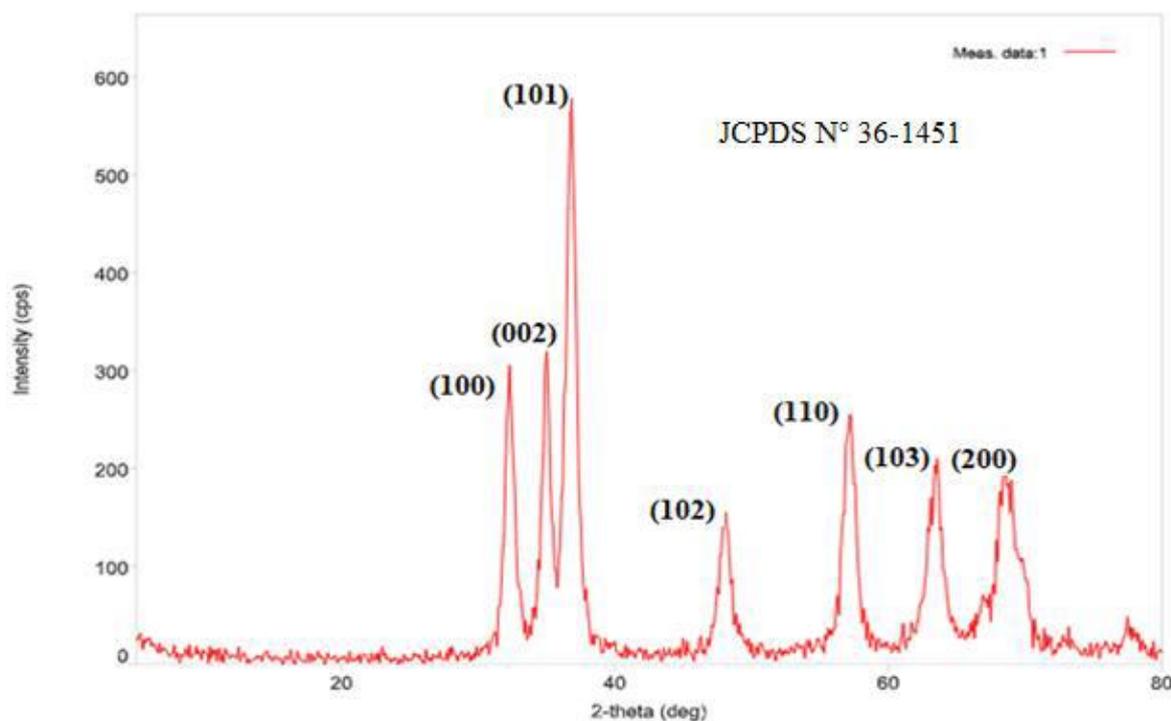


Figure III.1: Diffraction des rayons X des nanoparticules de ZnO.

III.3 Application des nanoparticules d'oxyde de zinc:

III.3.1. L'activité photo-catalytique des nanoparticules de ZnO:

Etude de dégradation :

L'étude a examiné la dégradation du bleu de méthylène en utilisant des nanoparticules de ZnO synthétisées à partir d'extraits de la plante Mentha aquatica sous l'effet de la lumière solaire, avec différentes charges de ZnO. La Figure montre :

La diminution progressive du pic d'absorbance à 664 nm montre que les nanoparticules de ZnO sont efficaces pour dégrader le bleu de méthylène sous rayonnement solaire.

Après 150 minutes, la quasi-disparition du pic d'absorbance indique que le bleu de méthylène a été presque complètement dégradé, entraînant la décoloration de la solution.

Ces résultats confirment l'efficacité des nanoparticules de ZnO synthétisées à partir de menthe aquatique dans la photocatalyse et la dégradation des colorants organiques comme le bleu de méthylène[3].

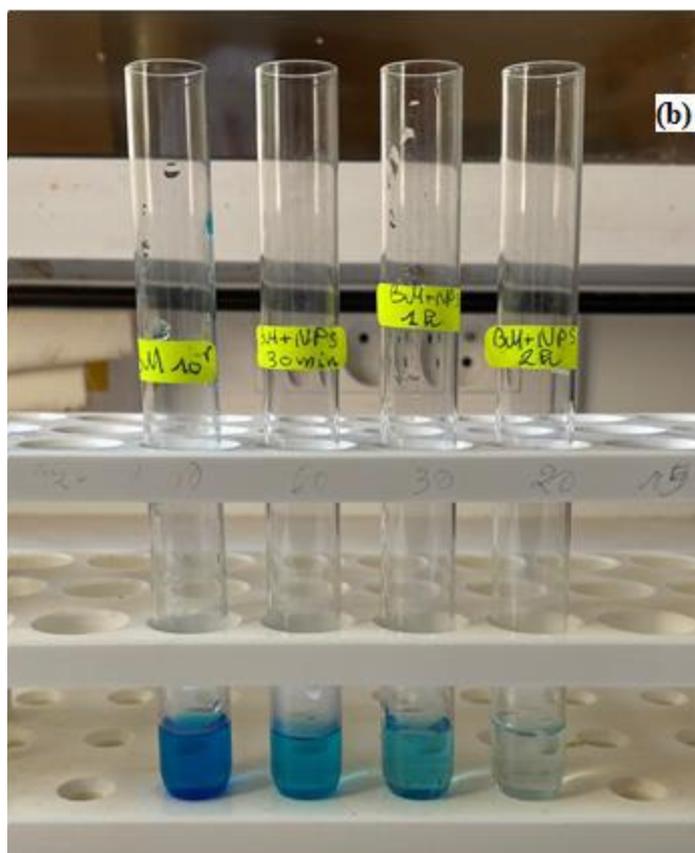


Figure III.3: Spectre UV visible de la dégradation de bleu méthylène avec les nanoparticules ZnO.

III.4 Cinétique de dégradation

En augmentant la masse du catalyseur, nous constatons que le taux de dégradation du bleu de méthylène reste stable à 96 %, même si la durée de la réaction passe de 180 à 90 minutes. Cela indique que la masse du catalyseur joue un rôle déterminant dans la dégradation du bleu de méthylène[4]

La constante de vitesse de la dégradation, k , a été obtenue à partir du graphique d'ordre un selon l'équation suivante : $\ln A_0/A = Kt$

Où n ,

A_0 = absorbance initiale du colorant et

A = absorbance de la solution de colorant après irradiation par lumière UV

III.5 Evaluation de l'activité antioxydante :

Dans notre étude, la mise en évidence de l'activité anti-oxydante in vitro de nos échantillons a été réalisée par la méthode de piégeage du radical libre DPPH [5]. Ce dernier fut l'un des premiers radicaux libres utilisé pour étudier la relation structure-activité antioxydant des composés phénoliques. Il possède un électron non apparié sur un atome du pont, d'azote. C'est un radical synthétique de couleur violette qui vire vers le jaune quand il est capté par les extraits testés. Ce virage de couleur est accompagné d'une diminution de l'absorbance (DO) qui peut s'exprimer par le pourcentage de réduction de DPPH.

Nous avons remarqué expérimentalement, que l'absorbance du mélange diminue vers une valeur plus basse, ainsi la solution change de couleur instantanément du violet au jaune. La comparaison et la validation des résultats sont effectués avec un contrôle positif utilisant l'acide ascorbique. L'ensemble des résultats sont illustré dans la figure

III.6.

Chapitre III Résultats et discussions

Généralement l'activité antioxydante par la méthode de DPPH est présentée par la valeur IC₅₀ (Concentration de l'inhibiteur causant 50% d'inhibition), plus la IC₅₀ est petite, plus la molécule est antioxydante (activité antioxydante plus forte).

D'après les courbes tracées nous avons calculé les IC₅₀, nous remarquons qu'IC₅₀ de Ns ZnO est très petits par rapport à l'acide ascorbique (IC₅₀ Nps ZnO=9.5 mg/ml, IC₅₀ Acide ascorbique=0.033 mg/ml). D'après ces résultats nous pouvons dire que les Nps de ZnO possèdent une activité antioxydante modérée.

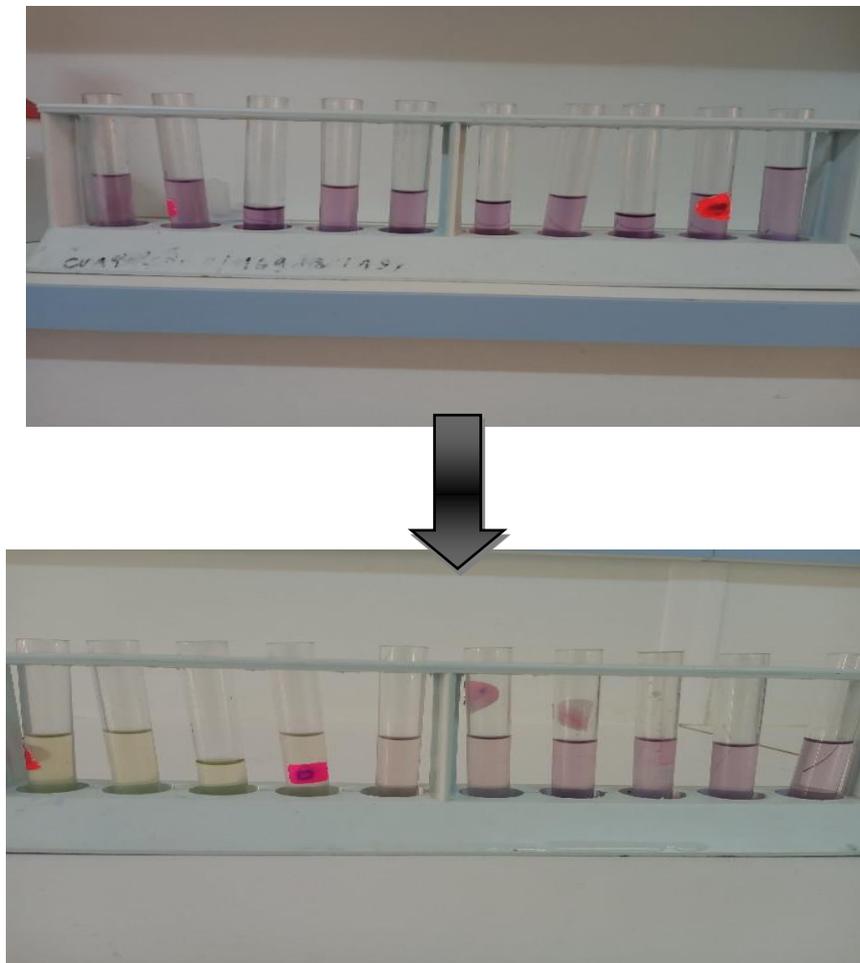


Figure III.6: Les résultats de l'activité antioxydant.

III.6 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous concluons que nous avons réussi à synthétiser des nanoparticules de ZnO par une méthode verte utilisant les feuilles de menthe aquatique. Le succès de cette synthèse a été confirmé par diverses techniques de caractérisation. Nous avons également appliqué ces nanoparticules dans la photocatalyse et évalué leur activité antioxydante, démontrant une bonne efficacité dans les deux cas.

REFERENCES CHAPITRE 3

- [1] BARANI, D., *Optimisation des conditions opératoires de synthèse verte de nanoparticules de ZnO à l'aide d'extrait des feuilles de Phoenix Dactylifera. L*, 2020, Université Mohamed Khider-Biskra.
- [2] GUERRAM, A., *Synthèse verte et caractérisation des nanoparticules de ZnO à l'aide d'extrait des feuilles de Phoenix dactylifera L et leur applications*, 2022, Faculté des Sciences et de la technologie.
- [3] Elumalai, K., et al., *RETRACTED: Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using Moringaoleifera leaf extract and evaluation of its antimicrobial activity*, 2015, Elsevier.
- [4] Chibane, Y.A., C. Bencharif, and S. Benzitouni, *Synthèse et caractérisation des nanoparticules de ZnO*. 2020.
- [5] UdayachandranThampy, U., et al., *Enhanced photocatalytic activity of ZnO–NiO nanocomposites synthesized through a facile sonochemical route*. *SN Applied Sciences*, 2019. 1: p. 1-15.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce mémoire, nous avons élaboré et caractérisé des nanoparticules (NPs) d'oxyde de zinc (ZnO) par une méthode biologique utilisant les feuilles de la plante menthe aquatique. L'objectif principal de cette étude était de synthétiser des nanoparticules par une méthode verte, non toxique, à haut rendement et respectueuse de l'environnement, et d'étudier leurs activités photocatalytique et antioxydante. Cette approche contribue à la lutte contre la pollution de l'eau.

Parmi les différentes techniques de caractérisation utilisées, l'analyse par diffraction des rayons X (DRX) a révélé que les nanoparticules obtenues présentent une bonne qualité cristalline avec une structure hexagonale de type würtzite. En outre, la caractérisation par spectroscopie infrarouge et l'étude optique à l'aide d'un spectrophotomètre ultraviolet-visible ont montré que l'absorption fondamentale du ZnO dans la région de 664 nm correspond au transfert d'électrons de la bande de valence vers la bande de conduction.

Nous avons également évalué la performance de la poudre synthétisée en tant que catalyseur pour la dégradation du bleu de méthylène (BM) et comme agent antioxydant. Les résultats obtenus indiquent que les nanoparticules de ZnO synthétisées par cette méthode biologique présentent des propriétés photocatalytiques et antioxydantes prometteuses, ce qui pourrait être utile dans diverses applications environnementales, notamment la purification de l'eau.

En conclusion, cette étude démontre que la synthèse biologique de nanoparticules d'oxyde de zinc à l'aide de la menthe aquatique est une méthode efficace et écologique, capable de produire des nanoparticules de haute qualité avec des applications potentielles importantes dans le domaine de la photocatalyse et de l'antioxydation. Cette approche innovante ouvre de nouvelles perspectives pour le développement de nanomatériaux durables et respectueux de l'environnement.

Conclusion générale

الملخص:

في هذه الدراسة، تم استخدام استخراج طبيعي من أوراق النعناع المائي لتخليق جسيمات أكسيد الزنك بشكل مسحوق، وذلك باعتماد نهج صديق للبيئة. أظهرت التحاليل الأولية تبلورًا ممتازًا للجسيمات ببنية سداسية، وتم تأكيد ذلك بواسطة الطيف الفوتوني المرئي والميكروني وتفاضل الأشعة السينية. كشفت التجارب التالية عن أداء واعد من حيث النشاط الفوتوكاتاليطي والمضاد للأكسدة للجسيمات المركبة. وبالتالي، يُعدُّ استخراج النعناع المائي طريقة اقتصادية وصديقة للبيئة لتخليق جسيمات أكسيد الزنك.

Résume :

Cette étude a utilisé un extrait naturel de feuilles de menthe aquatique pour synthétiser des nanoparticules de ZnO en poudre, suivant une approche respectueuse de l'environnement. Les analyses initiales ont démontré une excellente cristallinité des particules avec une structure hexagonale, confirmée par la spectroscopie UV-Vis et la diffraction des rayons X. Les tests ultérieurs ont révélé des performances prometteuses en termes d'activité photocatalytique et antioxydante des nanoparticules synthétisées. Ainsi, l'extrait de menthe aquatique offre une méthode de synthèse économique et écologique pour les nanoparticules de ZnO.

Abstract:

This study utilized a natural extract of water mint leaves to synthesize ZnO nanoparticles in powder form, following an environmentally friendly approach. Initial analyses demonstrated excellent crystallinity of the particles with a hexagonal structure, confirmed by UV-Vis spectroscopy and X-ray diffraction. Subsequent tests revealed promising performances in terms of photocatalytic and antioxidant activity of the synthesized nanoparticles. Thus, water mint extract offers an economical and eco-friendly synthesis method for ZnO nanoparticles.