

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة 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

**Synthèse et application des nanocomposites pour la
dégradation des polluants**

Présenté Par : M Daoudi Oussama Abdel kader
M Kambouz Nasreddinne

Encadrant :

Dr. RAMDANI Nassima	MCB	UAT.B.B
Pr. BOUSALEM Smain	Professeur	UAT.B.B

Soutenu le : 22/06/2023
Devant le jury :

Président : KIBOU Zahira	Professeur	UAT.B.B
---------------------------------	------------	---------

Examineur : BELDJILALI Mohammed	MCA	UAT.B.B
--	-----	---------

Année Universitaire 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

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

*Tous Nos Remerciements vont à nos encadreurs **Pr. Smain Bousalem**, **Dr. Ramdani Nasima** pour leur aide morale et technique, ses conseils et sa patience durant la période de Notre travail.*

Nous tient à remercier également les enseignants ayant contribué à notre formation rendant ainsi ce cursus très bénéfique à plus d'un titre

Nous voudrions remercier également l'ensemble des membres du laboratoire pour leur gentillesse et leur soutien, sans oublier nos collègues de l'équipe

Nous remercions enfin les membres de notre famille et nos amis pour leur présence à nos côtés dans tous les moments.

*Enfin nous remercions les membres du jury **Mme Kibou Zahéra**, **M Beldjilali Mouhamed** de nous avoir honorés en acceptant de juger ce travail.*

Dédicace

À nos très chers pères!

À cette source de tendresse, de patience et de générosité,

À nos mères!

À nos chers soeurs et frères!

À tous nos amis et collègues!

*À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de
continuer...*

Tables des figures

Chapitre I

Figure I.1	Différentes tailles de matière.	04
Figure I.2	Images nanomatériaux de différentes dimensions (a) 0D, (b) 1D, (c) 2D et (d) 3D.	05
Figure I.3	La tailles des nanoparticules comparées à d'autre structure.	06
Figure I.4	Applications de nanoparticules.	10
Figure I.5	le mécanisme des étapes de la biosynthèse des nanoparticules à base d'extrait de plante.	14
Figure I.6	La structure de FLAVONE et FLAVONOL.	15
Figure I.7	Mécanisme de la biosynthèse de nanoparticules métalliques à base de métabolites secondaire des Plantes.	16
Figure I.8	Images MEB de nanoparticules de ZnO synthétisées	18
Figure I.9	Oxyde de zinc sous forme naturelle (a, b).	19
Figure I.10	Représentation des trois structures cristallines de ZnO.	19
Figure I.11	Variation de l'émission en fonction de la longueur d'onde d'excitation.	21
Figure I.12	Différentes formes de nanostructures de ZnO.	21
Figure I.13	Consommation mondiale d'oxyde de zinc.	23
Figure I.14	variétés des colorants.	24
Figure I.15	la composition de la cellule bactérienne.	29
Figure I.16	Mécanismes d'action supposés des nanoparticules.	32
Figure I.17	pollution d'eau par les rejetés des colorants.	33

Chapitre II

Figure II.1	La menthe aquatique.	41
Figure II.2	Schéma synoptique du principe de photocatalyse.	43

Figure II.3	Bleu de Méthylène (BM).	49
Figure II.4	Le spectre UV du colorant de bleu de méthylène à 664 nm, longueur d'onde maximale.	50
Figure II.5	Courbe d'étalonnage au maximum d'absorption de BM.	51
Figure II.6	les étapes d'extraction de plante.	52
Figure II.7	Courbe de traitement thermique d'échantillon.	53
Figure II.8	les étapes de préparation des nanoparticules d'oxyde de zinc.	54
Figure II.9	Mécanisme supposer de la synthétise des NPs d'oxyde de zinc à partir de l'extrait de feuilles de la M. aquatique.	55
Figure II.10	les étapes de test photocatalytique.	56
Figure II.11	méthode d'ensemencement de bactérie sur la boite pétri.	58
Figure II.12	les étapes d'évaluation l'activité antibactérien des NPs de ZnO sur disque agar.	58
Figure II.13	Appareil d'UV-Visible de l'université d'Ain temouchent.	59
Figure II.14	Représentation schématique du spectrophotomètre UV-visible.	60
Figure II.15	Illustration schématique d'un système FTIR.	61
Figure II.16	Représentation schématique du MEB.	62
Figure II.17	Représentation schématique des conditions de la loi de Bragg, diffraction de rayons X par une famille de plans atomiques cristallins.	63
Chapitre III		
Figure III.1	Le spectre d'absorbance de la lumière <i>UV – vis</i> des NPs de ZnO	67
Figure III.2	Diffraction des rayons X des nanoparticules de ZnO.	68

Figure III.3	(a) Variation temporelle des spectres d'absorbance <i>UV – vis</i> de <i>BM</i> (sans et avec effet des <i>NPs</i> de <i>ZnO</i>), sous irradiation solaire. (b): photographie numérique montrant le changement de couleur du <i>BM</i> en fonction du temps à l'effet des <i>NPs</i> de <i>ZnO</i> .	70
Figure III.4	Diagramme de bande d'énergie avec mécanisme photocatalytique proposé, sous irradiation de la lumière solaire.	71
Figure III.5	Images photographiques montrant les zones d'inhibitions produites par des Poudres synthétisées.	72

Listes des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1	Exemples des nanoparticules et ses applications, propriétés et fonctionnalités.	10
Tableau I.2	Comparaison entre la synthèse biologique et la synthèse chimique.	13
Tableau I.3	Caractéristiques cristallographiques principales du ZnO.	20
Tableau I.4	Les applications de ZnO dans les différentes industries.	22
Tableau I.5	Classification chimique des colorants.	25
Tableau I.6	Classification tinctoriale des colorants.	27
Tableau I.7	présente quelques de bactéries pathogènes à Gram négatif et à Gram positif.	31

Chapitre II

Tableau II.1	données scientifiques de M.aquatique.	42
Tableau II.2	Caractéristiques des appareils /équipements utilisés.	45
Tableau II.3	Représente les propriétés du produit chimique de la synthèse.	47
Tableau II.4	Caractéristiques et structure chimique du BM.	48
Tableau II.5	valeurs de l'absorbance pour différentes concentrations de BM	50

Chapitre III

Tableau III.1	Les diamètres des zones d'inhibition en (mm).	73
----------------------	---	----

Liste des abréviations

Zn : Zinc	ZnO : Oxyde de Zinc
NPs : Nanoparticule	BM : Bleu de méthylène
UV : Ultra viole visible spectromètre	FTIR : Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier.
DRX : Diffraction de la rayonne X	MEB : Microscopie électronique à balayage
IR : Le spectromètre infrarouge	m :Mètre
nm : Nanomètre (1 nm = 10 ⁻⁹ m)	T : Température (°C)
μm : micromètre	eV : électronvolt

SOMMAIRE

Introduction générale	01
-----------------------------	----

Partie théorique

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1. Introduction.....	03
I.2. Généralités sur la Nanotechnologie.....	03
I.2.1. Nanomatériaux.....	03
I.2.1.1. Définition.....	03
I.2.1.2. Classification des nanomatériaux	04
I.2.2. Nanoparticules.....	05
I.2.2.2. Classification des nanoparticules.....	06
I.2.2.3. Propriétés des nanoparticules.....	07
I.2.3. Nanocomposites.....	07
I.2.3.1. Définition	07
I.2.3.2. Classification des nanocomposites.....	07
I.2.3.3. Nanocomposites à base d'oxyde métallique.....	08
I.3. Domaines d'applications.....	09
I.3.1. Applications des nanoparticules.....	09
I.3.2. Exemples des nanoparticules et ses applications et propriétés, fonctionnalités.....	10
I.4. Les méthodes de Synthèse des nanoparticules.....	11
I.5. Les plantes.....	13
I.6. Mécanisme de la synthèse des nanoparticules métalliques.....	14
I.7. Métabolite secondaire des plantes médicinale.....	14
I.8. Facteurs influent sur la formation de NPS métalliques dans les plantes.....	16
I.8.1. Effet de la concentration de l'extrait végétal.....	16
I.8.4. Effet de la température	16
I.8.3. Effet du PH.....	16
I.8.4. Effet du temps	17
I.9. Utilisation des extraits des plantes pour la synthèse des NPs métalliques.....	17
I.10. Caractérisation par microscope électronique à balayage (MEB).....	17
I.12. Les oxydes métalliques simples.....	18
I.13. Propriétés générales de ZnO.....	18

I.13.1. Oxyde de zinc.....	18
I.13.2. Propriétés de l'oxyde de zinc.....	18
I.13.2.1. Propriétés structurales et cristallographiques.....	19
I.13.2.2. Propriétés électromécaniques des cristaux de ZnO.....	20
I.13.2.3. Propriétés optiques.....	20
I.13.2.4. Propriétés électriques.....	21
I.13.2.5. Propriétés morphologiques.....	21
I.13.2.6. Propriétés chimiques et catalytiques.....	22
I.14. Domaines d'application de l'oxyde de zinc.....	22
I.15. Les Colorant.....	23
I.14.1. Définition.....	23
I.14.2. Classification des colorants.....	24
I.14.3. Les Procédés de traitement des colorants.....	28
I.16. Contexte sur l'activité antibactérienne	29
I.15.1. Définition des bactéries.....	29
I.15.2. L'activité antibactérienne des nanoparticules.....	30
I.15.3. Les mécanismes d'action des nanoparticules.....	31
I.15.4. Les facteurs influençant l'activité antibactérienne des nanoparticules.....	32
I.17. Pollution d'eau.....	32
I.16.1. Pollution d'eau par les colorants de textiles.....	32
I.16.2. Les effets de quelques colorants dans l'environnement.....	33
I.18. Conclusion.....	34
Références du chapitre I.....	35

Partie pratique

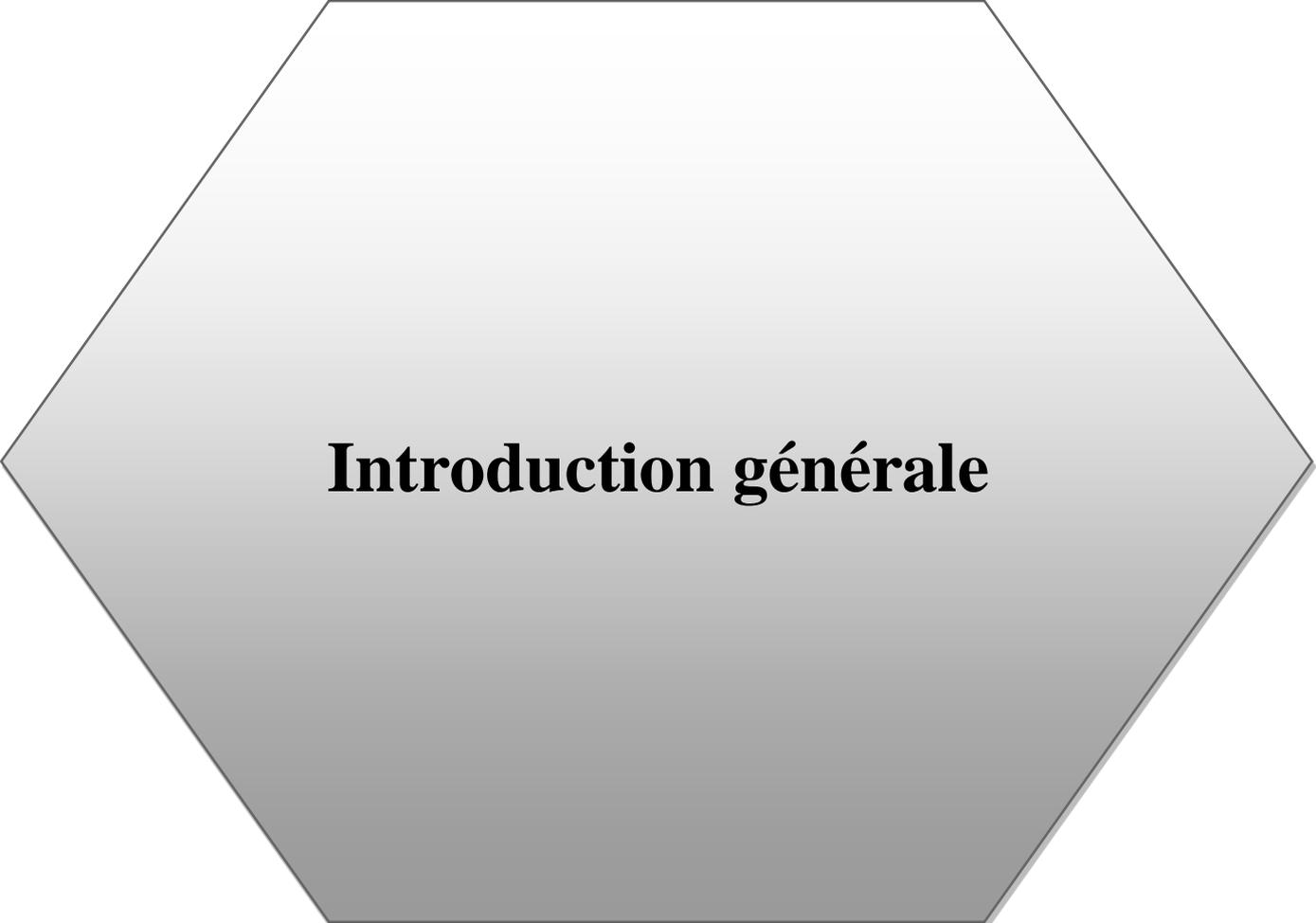
Chapitre II : Méthodes et Matériels utilisés

II.1. Introduction.....	41
II.2. Description de la plante.....	41
II.3.La photocatalyse hétérogène.....	43
II.4. Manipulation.....	45
II.4.1.Liste du matériel.....	45
II.4.2.Liste des produits chimique.....	47
II.5. Mode polluant.....	47
II.5.1.Bleu de Méthylène.....	47
II.5.2. Toxicité du bleu de méthylène.....	48
II.5.3.Préparation de colorant bleu de méthylène.....	48

II.5.4.L'étalonnage de Bleu de Méthylène.....	49
II.6.Synthèse de nanoparticules de ZnO à partir de l'extrait de plante.....	51
II.6.1.Préparation de l'extrait de menthe aquatique.....	51
II.6.2.Synthèse verte des nanoparticules d'oxyde de Zinc.....	52
II.7.Test photocatalytique	55
II.8.Test antibactérien.....	57
II.9.Techniques expérimental d'analyse.....	59
II.9.1.Spectroscopie UV-visible.....	59
II.9.2.Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR)	60
II.9.3.Microscopie électronique à balayage MEB.....	61
II.9.4.Diffraction des rayons X.....	62
Références du chapitre II.....	64

CHAPITRE III : Résultats et Discussions

III.1. Introduction.....	67
III.2. Caractérisation des nanoparticules d'oxyde de zinc.....	67
III.2.1. Caractérisation par spectrophomètre ultraviolet –visible.....	67
III.2.2. Caractérisation par diffraction des rayons <i>X</i> (<i>DRX</i>).....	68
III.3. Application des nanoparticules d'oxyde de zinc.....	69
III.3.1.L'activité photo-catalytique des nanoparticules de ZnO.....	69
III.3.2. Évaluation de l'activité antibactérienne des NPs de ZnO synthétisées.....	72
III.4. Conclusion.....	73
Références du chapitre III.....	74
Conclusion Générale.....	75



Introduction générale

Introduction générale :

La nanotechnologie s'annonce comme révolution dans le domaine de la science, c'est la science de petit de très petit. le préfixe « nano » qui signifie très petit en grec définit un domaine de taille un nanomètre est un milliardième de mètre, il est impossible de voir les structures de cette dimension a l'œil nu .La nanotechnologie utilisent les objets des structures de taille infime, les nanomatériaux qui revêtent une importance croissante, sont les produits issus des nanotechnologies, ils contiennent des nanoparticules et des nanocomposites dont au moins une dimensions est inférieure à 100 nanomètre.

Aujourd'hui des travaux de recherche et de développement sont en plein explosion sur les applications des nanotechnologies dans le domaine de l'énergie, la chimie, la santé, l'industrie et de l'environnement Grâce à particulièrement leur petite taille et ses nombreuses propriétés physicochimiques tels qu'une grande surface spécifique, une résistance mécanique, et une réactivité chimique très intéressantes.

Dans ce contexte, l'objectif de ce travail est d'étudier la possibilité de la synthèse biologique des nanoparticules d'oxyde de zinc à l'aide d'extrait de plante, la caractérisation de ces nanoparticules ce fait par différents techniques DRX, UV visible, FTIR et MEB, ainsi démontrer que les NPs synthétisés présentent certaines activités antibactérienne et photocatalytique. Le mémoire décrivant ce travail est entamé par cette introduction générale qui donne une idée sur l'importance du thème abordé qui est divisé en trois chapitres.

- ❖ **Le premier chapitre** qui décrit une généralité sur les nanoparticules en se basant principalement sur leurs propriétés et leurs synthèses biologiques ainsi leurs diverses applications notamment l'activité antibactérienne. Dans ce chapitre aussi nous avons également fait une présentation sur les colorants et leurs effets nocifs dans l'environnement.
- ❖ **Le deuxième chapitre** décrit le matériel utilisé dans la biosynthèse des NPs et les protocoles expérimentaux utilisés pour réaliser le test photocatalytique et le test d'activité antibactérienne. les techniques utilisées pour la caractérisation sont également mentionnées.
- ❖ **Le troisième chapitre** présente les résultats obtenus au cours de ce travail.



CHAPITRE I :
Synthèse bibliographique

I.1. Introduction :

Les nanoparticules (NPs) ont été synthétisées par plusieurs processus physiques et chimiques ; cependant, certaines méthodes chimiques sont coûteux et inefficaces et génèrent des déchets dangereux qui présentent des risques pour l'environnement, il est donc urgent nécessité de développer un procédé biologique respectueux de l'environnement pour la synthèse des nanoparticules.

La biosynthèse des nanoparticules métalliques stables par des plants ont été rapportées, Plusieurs études ont démontré que le mécanisme pour la formation de nanoparticules métalliques implique l'action d'un grand nombre de biomolécules qui se trouve dans l'extrait de métabolites secondaires a partir de sources biologiques[1]. Les NPs métalliques causé grand Intéressant pour les chercheurs et largement utilisé dans les domaines du traitement des eaux et bio médical, en raison de leurs caractéristiques exceptionnelles de surface, formes et volumes comparés à leurs homologues massifs.

I.2. Généralités sur la Nanotechnologie :

La Nanotechnologie est un terme général qui décrit des applications dans de nombreux domaines scientifiques, mais couvre généralement l'étude des principes et des propriétés qui existent à l'échelle nanométrique. L'objectif de la nanotechnologie est de produire des objets ou des matériaux de taille inférieure à 100 nanomètres. C'est-à-dire en contrôlant la forme et la taille à l'échelle nanométrique, y compris tout ce qui concerne la conception, la caractérisation, la production et l'application de structures, dispositifs et systèmes. La nanotechnologie fait l'objet de recherches appliquées[2].

La nanotechnologie est devenue l'une des technologies les plus prometteuses avec des applications potentielles dans tous les domaines scientifiques [3] à savoir la médecine, les produits pharmaceutiques, l'environnement, l'énergie[4], les cosmétiques, l'agriculture, le séquençage d'ADN, le diagnostic, et la détection biomoléculaire[5].

I.2.1 Nanomatériaux :

I.2.1.1. Définition :

Nanomatériau est Matériau naturel, accidentel ou manufacturé contenant des particules libres sous forme d'agrégats ou d'agglomérats dans lequel au moins 50 % des particules (ce seuil peut être réduit à 1 % dans des cas particuliers) sont dans la distribution numérique de taille, avec un ou plus de dimensions externes comprises entre 1 nm et 100 nm[6].

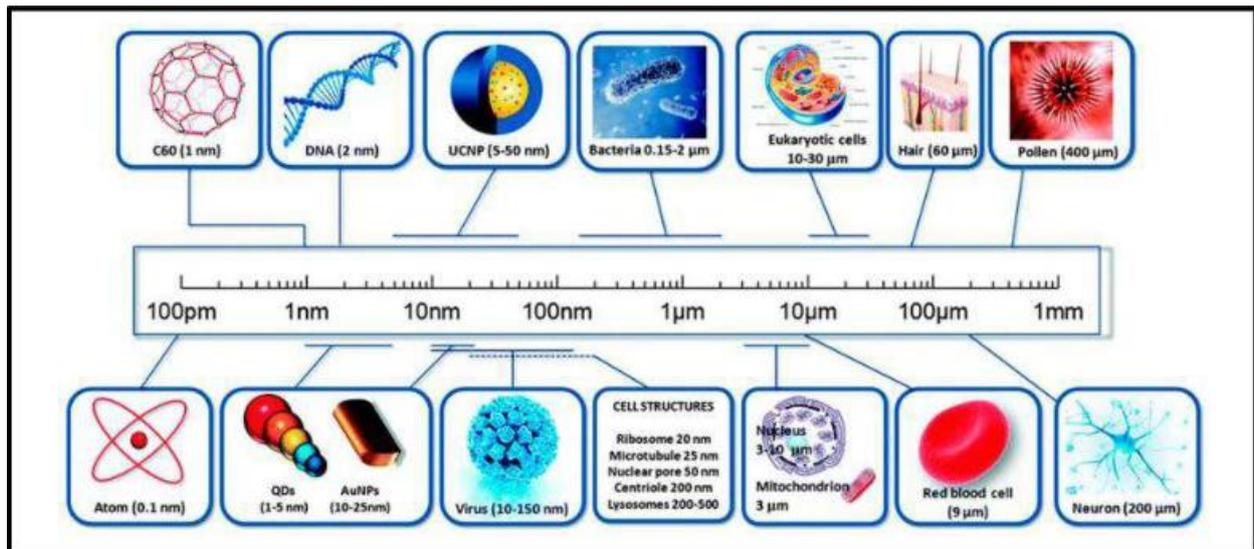


Figure I.1. : Différentes tailles de matière[7].

I.2.2.2. Classification des nanomatériaux :

Les nanomatériaux pourraient être classés en fonction de leur morphologie[8-10].

a. Nanomatériaux 3D :

Les nanomatériaux tridimensionnels (3D) sont toujours obtenus par autoassemblage de nanomatériaux de faible dimension (0D, 1D ou 2D) à des structures complexes telles que des nanofibres hiérarchiques et des nanostructures mésoporeuses en forme de fleur. Les nanomatériaux 3D sont généralement dotés avec de grandes surfaces spécifiques en combinaison avec des propriétés physico-chimiques, électriques et catalytiques uniques, telles que le transport de masse efficace et le transfert de porteurs de charge, ce qui rend les matériaux pertinents populaires auprès de diverses applications.

b. Nanomatériaux 2D :

Les nanomatériaux bidimensionnels (2D) sont des films minces et s'interfacent avec leur épaisseur à l'échelle nanométrique. Avec les caractéristiques quantiques intrinsèques des électrons confinés, les nanomatériaux 2D démontrent un vaste éventail de propriétés physico-chimiques uniques, telles que la conductivité plane, l'anisotropie magnétique, et ont de nombreuses applications.

c. Nanomatériaux 1D :

Les nanomatériaux unidimensionnels (1D) comprennent les nano fils, les nanotubes et les nanorods. En raison de ses propriétés fascinantes telles que les propriétés électriques et électroniques, piézoélectriques, magnétiques et catalytiques, des capteurs et des détecteurs provenant de leurs structures à l'échelle atomique et de leur morphologie 1D.

d. Nanomatériaux 0D :

Les nanomatériaux de dimension zéro (0D) sont des particules sphériques qui ont trois dimensions contraintes à l'échelle nanométrique (généralement 1 à 100 nm) qui sont également appelées nanoparticules ou points quantiques. De nos jours, les nanomatériaux dimensionnels (0D) sont d'un grand intérêt scientifique car ils sont le pont entre les structures atomiques et moléculaires et les matériaux massifs et ont de nombreuses applications potentielles.

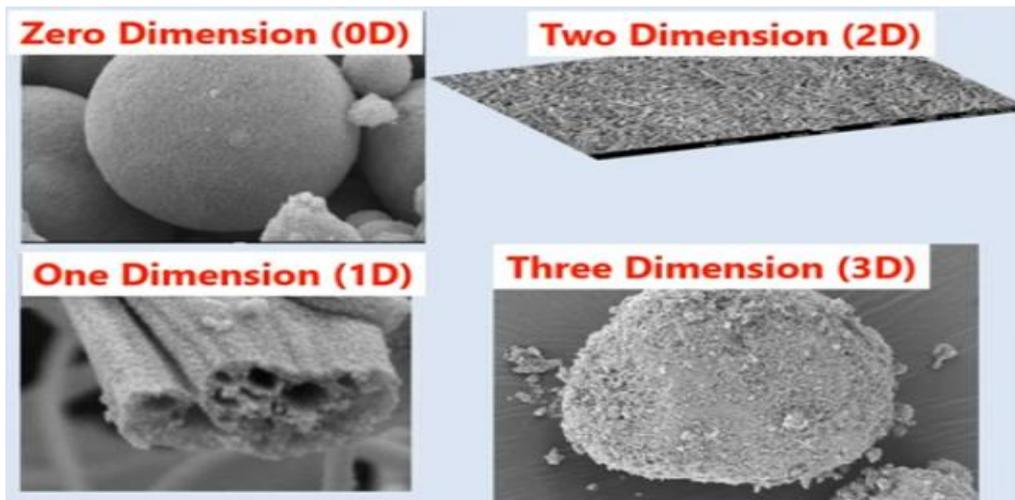


Figure I.2 : Images nanomatériaux de différentes dimensions 0D, 1D, 2D et 3D [10, 11].

I.2.2. Nanoparticules :

I.2.2.1. Définition :

Les nanoparticules (NP), également appelées particules ultrafines (UFP), sont des nano-objets tridimensionnels dont la taille varie de 1 à 100 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ M} = 0,0000000001 \text{ M}$) [12]. Par conséquent, il est plus grand qu'un atome et plus petit 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 [13].

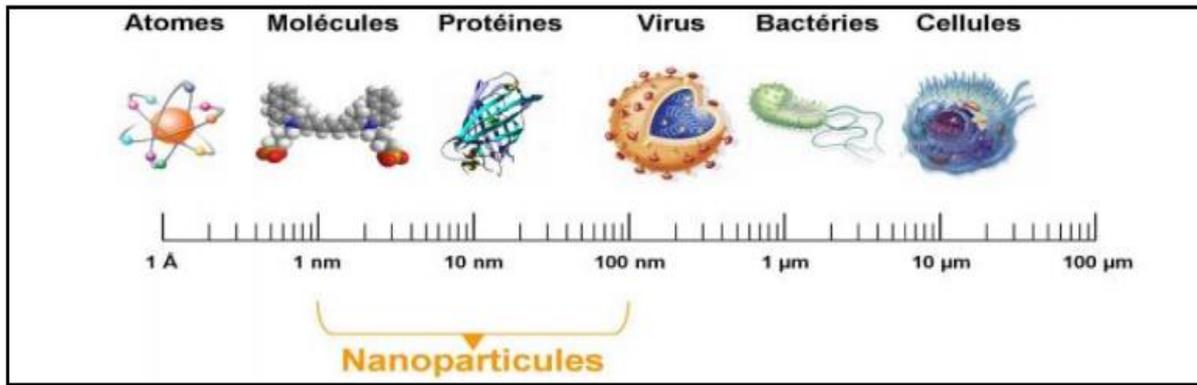


Figure I.3. :La tailles des nanoparticules comparées à d'autre structure[14].

I.2.2.2. Classification des nanoparticules :

Les nanoparticules peuvent être classées selon leur composition[8-10].

a. Nanoparticules métalliques :

Ces nanoparticules sont constituées d'un groupe d'atomes métalliques qui ont un état d'oxydation de zéro. Le vif intérêt pour les nanoparticules métalliques découle de leurs propriétés chimiques et électroniques uniques résultant du rapport petit volume sur grande surface, et de leur séparation en niveaux d'énergie électronique qui fournissent une structure de bande spécifique, permettant l'excitation plasmonique et l'existence d'un confinement quantique.

b. Oxyde métallique :

Ce type de nanoparticules peut être encapsulé dans des nano cristaux semi-conducteurs en raison de leurs propriétés, mais ils ont des propriétés mécaniques spécifiques. En plus de ces propriétés mécaniques, les nanoparticules d'oxydes métalliques possèdent de nombreuses autres propriétés fonctionnelles. Ces *NPs* sont très importantes dans la fabrication de circuits microélectroniques, de capteurs et de piles à combustible, la biomédecine et la catalyse dans de nombreux domaines.

c. Points quantiques :

Les *NPs* sont généralement composées de deux ou même plusieurs éléments et au moins l'un d'entre eux est un élément métallique assurant l'écart entre la bande de conduction et de valence similaire à un matériau semi-conducteur, certains exemples sont *CuS*, et *CdSe*. En raison de leurs structures spéciales, les points quantiques ont d'excellentes propriétés, ce qui les rend prometteurs dans de nombreuses applications telles que la conversion d'énergie photocatalytique ou les biocapteurs multiplexés.

I.2.2.3. Propriétés des nanoparticules :

Les nanoparticules présentent des propriétés différentes par rapport aux matériaux massifs, ce qui montre la possibilité de produire de nouveaux types de matériaux et de dispositifs pour des applications potentielles. Ces caractéristiques particulières viennent de leur petite taille.

Comme discuté précédemment, diverses propriétés physicochimiques telles qu'une grande surface spécifique, une résistance mécanique, une activité optique et une réactivité chimique, les effets quantiques et la mobilité à l'état libre font des *NPs* des candidats uniques et appropriés pour diverses domaines[15, 16].

I.2.3. Nanocomposites :

I.2.3.1. Définition :

Les nanocomposites (*NCs*) sont une classe de nanomatériaux dans lesquels une ou plusieurs phases de 10^{-9} m (charges) de taille nanométrique sont intégrées dans un matériau céramique, métallique ou polymère (matrice)[17]. Ceux-ci peuvent être composés de composants inorganiques ou organiques au niveau moléculaire pour obtenir de nouvelles propriétés. Les deux matériaux peuvent être utilisés pour créer des nanomatériaux composites par le biais d'interactions faibles telles que les forces de Van der Waals, les liaisons hydrogène, les interactions électrostatiques faibles ou les liaisons covalentes. Par conséquent, les nanocomposites peuvent présenter des propriétés synergiques et multifonctionnelles que ne possèdent pas les composants individuels, telles qu'une surface spécifique élevée, une résistance mécanique élevée, une conductivité électrique élevée, une réactivité redox et une activité catalytique[18].

I.2.3.2. Classification des nanocomposites :

Les nanocomposites peuvent être classés en deux catégories : les nanocomposites non à base de polymère et les nanocomposites à base de polymère[18, 19].

a. Nanocomposites non à base de polymère :

Les nanocomposites non à base de polymère sont des composites avec une matrice inorganique et une charge inorganique d'au moins une dimension nanométrique. Ces nanocomposites peuvent en outre être classés comme suit :

-Nano-composite métal / métal :

Nanocomposites métal / métal sont des nanoparticules bimétalliques soit sous la forme d'alliages ou de structures noyau-matrice. Ils présentent des propriétés physico-chimiques intéressantes et résultent de la combinaison de deux types de métaux et de leurs structures fines.

-Nanocomposites métal / céramique :

Dans ce type de composite, les nanocomposites métal / céramique présentent une matrice céramique chimiquement inerte et dure. De plus, les propriétés électriques, magnétiques, chimiques, optiques et mécaniques des deux phases sont combinées.

-Nanocomposites céramique / céramique :

Les céramiques nano composites pourraient résoudre le problème des ruptures de fractures dans les implants artificiels d'articulation ; ceux-ci prolongeraient la mobilité du patient et élimineraient le coût élevé de la chirurgie, par exemple, les nanocomposites d'alumine/zircone.

b. Nanocomposites à base de polymère :

Les nanocomposites à base de polymère sont des composites avec une matrice polymère et une charge d'au moins une dimension inférieure à 100 nm. Les charges peuvent être organique ou inorganique. Les nanocomposites polymères peuvent en outre être classés comme suit :

-Nanocomposites céramique / polymère :

Céramique (10^{-9} m) dispersées de manière homogène dans une matrice polymère.

-Nanocomposites métal / polymère :

Des amas métalliques (10^{-9} m) dispersés dans une matrice polymère.

-Nanocomposites hybrides métal / polymère :

Des matières inorganiques /organiques intimement hybridés et mélangés de façon homogènes.

-Nanocomposites silicate stratifié / polymère :

Des polymères mélangés avec du silicate en couches modifié de manière appropriée.

-Nanocomposites polymère / polymère :

Des mélanges de différents polymères séparés en phases.

I.2.3.3. Nanocomposites d'oxydes métalliques :

Les nanocomposites peuvent être basés sur des matrices d'oxydes métalliques (semi-conducteurs) où la charge est également constituée de nanoparticules d'oxydes métalliques[20].

a. Nanocomposites d'oxydes métalliques mixtes :

La combinaison de deux ou plusieurs oxydes métalliques différents coexistant dans la même matrice peut conduire à des composites aux propriétés uniques, qui peuvent conduire à

d'excellentes performances pour diverses applications, y compris l'activité antibactérienne et la photocatalyse. Par exemple : TiO_2 / WO_3 , NO / MgO , Co_3O_4 / ZnO , / SnO_2 , 2 / MgO , $2O_3$ / ZrO_2 , $CdO-NiO-ZnO$, $Ag_2O/CeO_2/ZnO$etc

b. Nanocomposites métalliques/oxydes métalliques mixtes :

De tels nanocomposites sont destinés à inclure un métal et un ou plusieurs oxydes métalliques, et peuvent en outre être classés selon la géométrie des nanoparticules. Par exemple : $ZnO/Ag/Mn_2O_3,2/Eu/CuO$,...etc

I.3. Domaines d'applications :

I.3.1.Applications des nanoparticules :

Les nanoparticules sont des applications larges champs indifférents[21]

I.3.1.1. Domaine médical :

Il existe plusieurs secteurs de la médecine et la santé dans lesquels les nanoparticules sont exploitées : médicaments, vaccins et thérapies, dispositifs médicaux et dans le diagnostic.

I.3.1.2. domaine d'environnement :

La présence de nanoparticules dans ce domaine d'environnement est donnée naissance à : La réduction des émissions de polluants et le traitement des effluents notamment par photocatalyse et purification des gaz et la production d'eau ultra pure à partir d'eau de mer.

I.3.1.3. L'alimentation :

Aujourd'hui, les nanoparticules sont bien présentées dans notre alimentation comme modificateur de l'odeur, le goût, le texture, la fluidité aussi bien la conservation des aliments.

I.3.1.4. Les peintures et revêtements :

Les nanoparticules constituent un moyen de plus sur ce domaine car elles sont utilisées comme additifs, pour l'agrandissement de la résistance contre la corrosion, protection contre, UV et aussi bien l'amélioration de la durabilité.

I.3.1.5. Les textiles :

La présence de nanoparticules dans ce domaine est donnée naissance à : le textile antimicrobien et le textile résistant aux flammes.

I.3.1.6. Les cosmétiques :

Nanoparticules sont présentées en cosmétique dans nombreux produits : Des crèmes antisolaires, le maquillage.

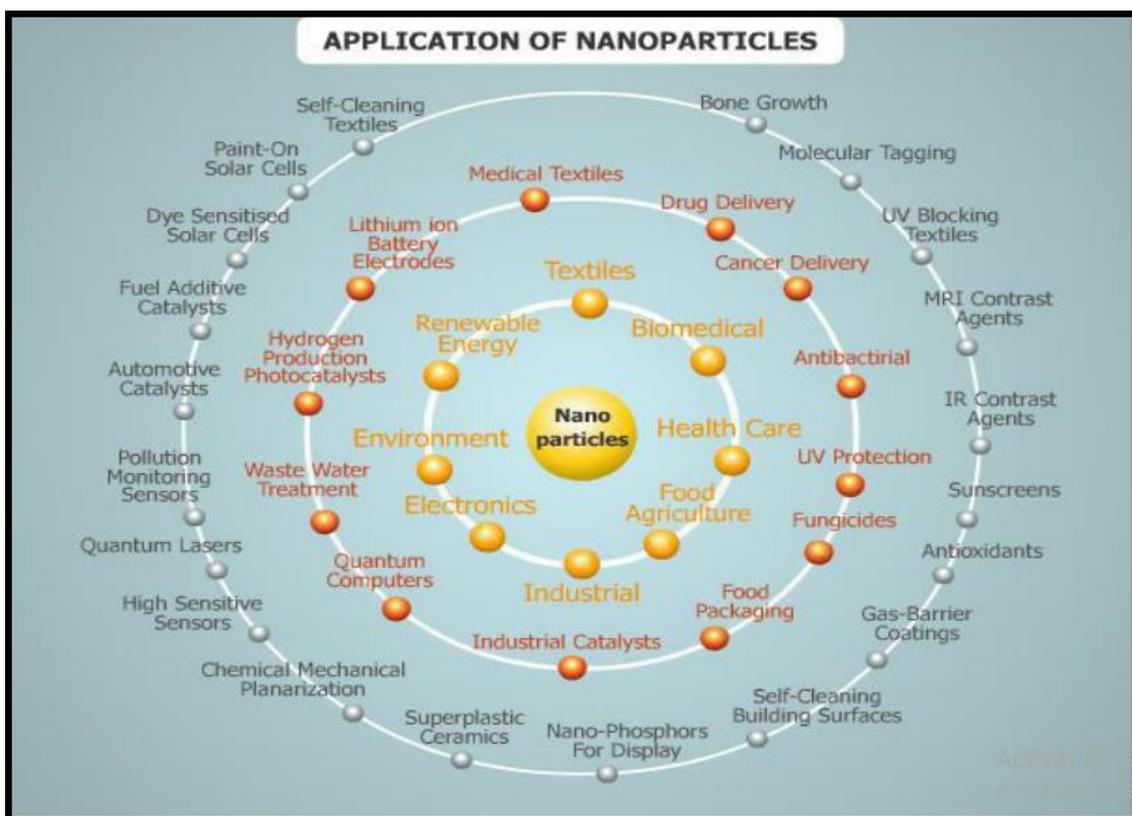


Figure I.4. : Applications de nanoparticules[21].

I.3.2.Exemples des nanoparticules et ses applications et propriétés, fonctionnalités :

Tableau I.1. : Exemples des nanoparticules et ses applications, propriétés et fonctionnalités[22].

Nanomatériaux	Applications	Propriétés, fonctionnalités
Argent	-Déodorants, dentifrices -Agents de dépollution des eaux et des sols -Encre -Habillement	-Antibactérien -Dégradation/adsorption de contaminants -Conductivité microélectronique -Antibactérien, pigment, teignabilité
Noir de carbone	-Maquillage -Batterie -Peinture -Habillement	-Pigment -Conductivité -Pigment, pouvoir couvrant -Conductivité thermique et électrique

Oxyde de zinc	-Conditionnement et emballage plastique -Crème de soin -Cellule photovoltaïque -Peinture	-Antibactérien -Cicatrisant, adsorbeur UV -autonettoyant, dépollution, résistance aux UV
Argile	-Conditionnement et emballage plastique -Béton -Crème de soin, maquillage -Habillement	-Résistance mécanique, conservation -Résistance au feu -Teignabilité, résistance mécanique, retardateur de flamme

I.4. Les méthodes de Synthèse des nanoparticules

a. Méthode chimique :

Les méthodes chimiques ont été largement utilisées pour produire des matériaux nano structurés. Cependant, en raison de leur nature simple et de leur capacité à générer de grandes quantités de produits finaux, ces méthodes sont faibles pour les raisons suivantes : toxicité (solvant et catalyseur), faible sélectivité, Haute température, composition du produit indéfinie[23].

La synthèse de nanoparticules par des méthodes chimiques nécessite généralement l'utilisation de Produits chimiques toxiques tels que l'hydrazine et le borohydrure de sodium comme réactifs Agents réducteurs[24]. En effet, l'utilisation de certains agents réducteurs peut conduire à la formation de sous-produits de réaction difficiles à purifier et pouvant endommager certains application. Par exemple, l'utilisation de borohydrure de sodium produit certains borures métalliques Trouvé avec des nanoparticules en solution. De plus, leur utilisation peut parfois conduire à Les ions contaminent la surface, réduisant l'activité de surface et réduisant Efficacité de la bio conjugaison[25]. Développement et recherche de nouvelles alternatives Limiter l'utilisation de ces produits est devenu critique.

b. Méthode physique :

L'évaporation et la condensation sont parmi les méthodes physiques les plus utilisées pour la fabrication des nanoparticules sans contamination par solvant en couches minces l'uniformité de la préparation et de la distribution des NPs est un avantage de la méthode de synthèse physique. La méthode physique de préparation des nanoparticules a généralement les types suivants Inconvénients, par exemple synthèse physique des NPs d'Ag à l'aide de fours tubulaires La pression atmosphérique présente certains inconvénients : le four tubulaire prend beaucoup de place, Consomme beaucoup d'énergie tout en augmentant la température ambiante autour matériau source, il faut beaucoup de temps pour atteindre la stabilité thermique. De plus, le four et les tubes typiques nécessitent une consommation d'énergie supérieure à plusieurs kilowatts et du temps réchauffez pendant des dizaines de minutes pour atteindre la température de travail écurie[26].

c. Méthode verte :

La synthèse de nanoparticules vertes est en train de devenir une branche importante de la nanotechnologie, dans laquelle des entités biologiques sont utilisées pour produire des nanoparticules[27], dans lesquelles des parois cellulaires chargées négativement interagissent électro statiquement avec un métal chargé positivement bio réduction ionique en NPs[28]. Cette méthode peut être considérée comme une méthode respectueuse de l'environnement, ainsi qu'une technique peu coûteuse, à haut rendement et non toxique[29], contrairement aux méthodes de synthèse chimique et physique à forte intensité énergétique. haute pression, sont chers et ont de faibles rendements[4].

En raison de leur nature relativement polyvalente, les extraits de métabolites secondaires collectés à partir de sources biologiques contiennent de nombreuses biomolécules, telles que des enzymes, des protéines, des flavonoïdes, des stérols, des triterpènes ,des triterpénoïdes et des saponines, qui possèdent des propriétés réductrices et antioxydants qui réduisent les composés métalliques dans leurs propriétés respectives[30]

Tableau I.2 : Comparaison entre la synthèse biologique et la synthèse chimique[31].

Synthèse des nanoparticules		
Méthodes vertes	Méthodes chimiques	Méthodes physiques
<ul style="list-style-type: none"> -Utiliser des bactéries. -Utiliser des champignons. -Utiliser des plants et leurs extraites . -Utiliser de la levure. -Utilisation d'enzymes et de biomolécules. -Utiliser un micro-organisme. 	<ul style="list-style-type: none"> -Réduction chimique -Sonochimique -Microémulsion -Photochimique -Electrochimique -Pyrolyse -Four micro-onde -Solvothermal 	<ul style="list-style-type: none"> -Ablation laser pulsée. -Evaporation . -condensation . -Décharge d'arc . -Pyrolyse par pulvérisation . -Fraisage à billes. -Phase vapeur et gaz . -Décharge de fil d'impulsion . -Lithographie.
Non toxiques	Toxiques	

I.5. Les plantes :

Les plantes sont considérées comme une très bonne méthode pour synthétiser rapidement des nanoparticules , car elles possèdent une large gamme de métabolites secondaires biologiquement actifs, tels que les polyphénols, les flavonoïdes, les terpènes, les acides aminés, les protéines et les enzymes, etc. aide pour la synthèse des NPs par agissant comme stabilisant ou agent réducteur[32].

les Parties des plantes telles que les racines, les tiges, les graines et les feuilles Il est principalement utilisé pour synthétiser les NPs. Le point intéressant c'est la présence d'agent actifs dans ces fractions. Après avoir sélectionné un extrait de plante, les principaux paramètres d'influence sont la concentration de l'extrait, la température, les sels métalliques, le pH et le temps de contact[33].

I.6. Mécanisme de la synthèse verte des nanoparticules métalliques :

En général, le mécanisme de la synthèse des nanoparticules métalliques dans les extraits de plantes comprend trois phases principales[34] :

- a. **La phase de réduction** : Pendant cette période la réduction des ions métalliques et la nucléation des atomes métalliques réduits se produisent[34].
- b. **La phase de croissance** : Pendant cette période, de petites nanoparticules adjacentes fusionnent spontanément en particules plus grosses (forment directement des nanoparticules par nucléation et croissance hétérogènes et réduction supplémentaire des ions métalliques , ce qui s'accompagne d'Augmenter la stabilité thermodynamique des nanoparticules[35].
- c. **La phase de stabilisation** : durant cette étape la croissance ne peut pas continuer, Le processus déterminant la forme finale des nanoparticules[34].

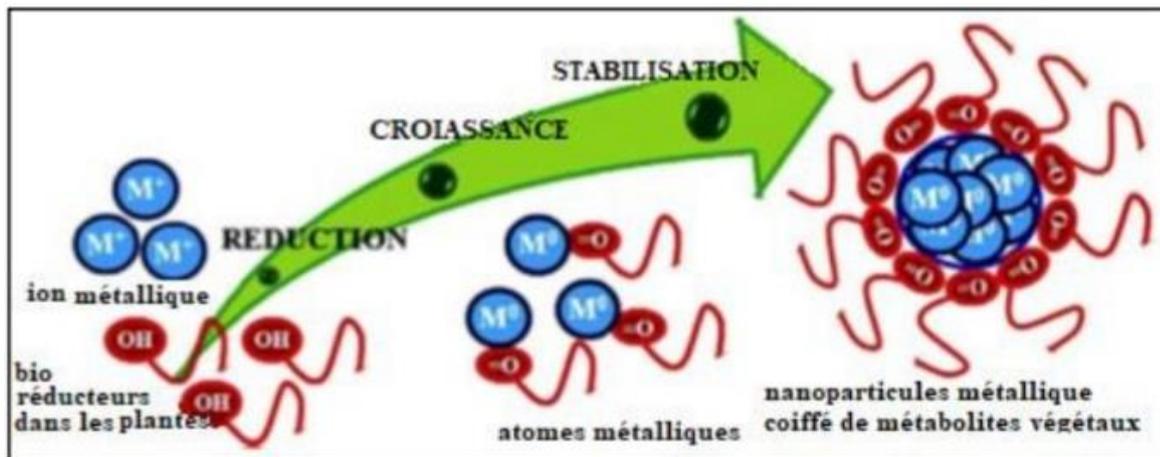


Figure I.5.: le mécanisme des étapes de la biosynthèse des nanoparticules à base d'extrait de plante[36] .

I.7. Métabolite secondaire des plantes médicinales :

Les métabolites secondaires sont des molécules organiques complexes synthétisées et accumulées en petites quantités par les plantes autotrophes. Ils représentent une variété très large des composés organiques sans fonctionner directement dans la croissance et le développement des plantes[37]. Les métabolites secondaires sont composés de trois principales catégories qui sont les composés phénoliques , les terpènes et les alcaloïdes[38] :

I.7.1. Les poly-phénols :

Les poly-phénols sont des produits du métabolisme secondaire des végétaux, caractérisés par la présence d'au moins d'un noyau benzénique auquel est directement lié au moins un groupement hydroxyle libre, ou engagé dans une autre fonction tels que : éther, ester,

hétéroside...etc[39].

I.7.2. Acide phénolique :

Un acide-phénol (ou acide phénolique) est un composé organique possédant au moins une fonction carboxylique et un hydroxyle phénolique. La pratique courante en Photochimie consiste à réserver ce terme aux dérivés de l'acide benzoïque et de l'acide cinnamique[40].

I.7.3. Les flavonoïdes :

Représentent une classe de métabolites secondaires largement distribués dans le Royaume. Les flavonoïdes sont des pigments hydrosolubles responsables des variations de couleur des fleurs, des fruits et parfois des feuilles. Ils contiennent plus de 4000 composés différents[41].



Figure I.6. : La structure de FLAVONE et FLAVONOL

I.7.4. Les terpénoïdes :

Issus des mêmes précurseurs, et formés à partir de l'assemblage d'unités à 5 carbones ramifiées, dérivées du 2-méthylbutadiène (polymères de l'isoprène), les terpénoïdes constituent probablement la plus large classe de composés secondaires.

Le nombre d'unités isopréniques définit les différentes classes de terpènes : monoterpènes (C10), sesquiterpènes (C15), diterpènes (C20), sesterpènes (C25), triterpènes (C30) et tétraterpènes (C40). Les terpènes simples en C10 et C15 sont certainement apparus tardivement au cours de l'évolution et caractérisent les plantes vasculaires ayant développé des appareils sécréteurs[42].

I.7.5. Les alcaloïdes :

Ce sont des produits azotés basiques, d'origine naturelle dont l'atome d'azote est inclus dans un système hétérocyclique et dont l'activité pharmacologique est significative. Les alcaloïdes ont, de plus, la propriété de réagir avec des sels de métaux lourds, ce qui permet leur caractérisation aisée[43].

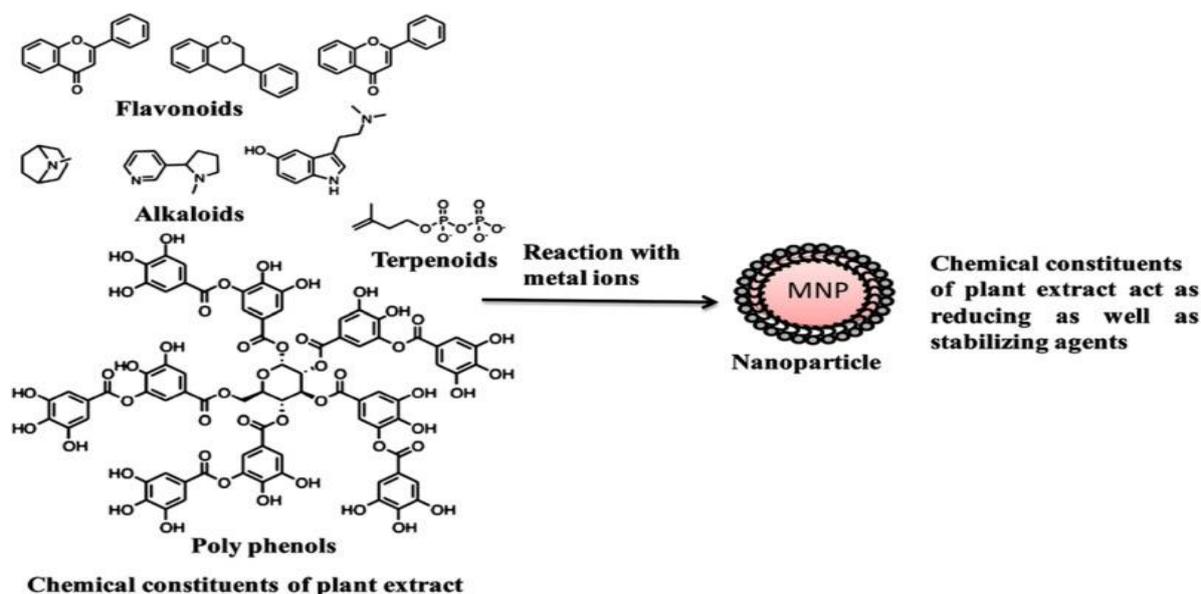


Figure I.7.: Mécanisme de la biosynthèse de nanoparticules métalliques à base de métabolites secondaires des Plantes[44].

I.8. Facteurs influent sur la formation de NPs métalliques dans les plantes :

Ainsi, le processus de réduction des ions métalliques suite à la formation de nanoparticules est influencé par de nombreux facteurs ; ceux-ci incluent le mélange réactionnel en plus des propriétés des extraits de plantes contenant différentes combinaisons et concentrations de biomolécules actives. La valeur du pH, température d'incubation, temps de réaction, concentration et potentiel électrochimique des ions métalliques[45-48].

I.8.1. Effet de la concentration de l'extrait végétal :

La concentration en matière végétale et en ions métalliques joue un rôle clé dans la taille et la dispersion des NPs[49].

I.8.2. Effet de la température :

Le taux de formation de NPs métalliques a également augmenté avec l'augmentation de la température[49].

I.8.3. Effet du pH :

L'effet du pH a été étudié dans trois conditions différentes, y compris les formes acide, neutre et basique. Les résultats ont montré que la synthèse des nanoparticules était terminée dans un état neutre et que les spectres UV-Vis des nanoparticules ne présentaient aucune anomalie lorsque la valeur du pH augmentait. En revanche, à l'état acide, on ne peut observer aucune bande d'absorption des nanoparticules. On pense que l'agrégation de nanoparticules pour former des nanoparticules plus grosses est facilitée par la nucléation[49].

I.8.4. Effet du temps :

Comme nous le savons, le temps est l'un des facteurs les plus importants pour la formation de nanoparticules dans les techniques de biosynthèse. Plus le temps de réaction augmente, plus de nanoparticules se forment[49].

I.9. Utilisation des extraits des plantes pour la synthèse des NPs métalliques :

la synthèse des nanoparticules d'argent très stables (16–40 nm) utilisant l'extrait de feuille de *Datura metel*. L'extrait alcaloïdes contenus, les protéines, les enzymes, les acides aminés, les composés alcooliques, et les polysaccharides qui seraient responsables de la réduction des ions d'argent en nanoparticules[50].

Les nanoparticules d'oxyde de zinc (ZnO) de forme sphérique et de taille moyenne entre (25–40 nm) sont élaborées en utilisant du nitrate de zinc et l'extrait d'*Aloebarbadensis* Miller comme précurseur et solvant biologique respectivement[51].

Des nanoparticules de Cu_2O ont été préparées en utilisant l'extraits des feuilles d'*Arachishypogaea* L.(Fabaceae), ce dernier contenant des sucres réducteurs, qui agissent en tant qu'agent réducteur à la température ambiante [52]. Le groupe aldéhyde présent dans le sucre réducteur joue un excellent rôle dans la formation des nanoparticules d'oxyde cuivreux Cu_2O dans la solution[53].

I.10. Caractérisation par microscope électronique à balayage (MEB) :

K. Elumalai et son équipe en 2015 ont été étudié l'utilisation de l'extrait de feuille de *Moringaoleifera* dans la synthèse de nanoparticules de ZnO.

La **Figure I.8** (a, b) représenter les résultats de caractérisation des NPs de ZnO synthétisés par microscope électronique à balayage. Les photos sont montrées NPs ZnO individuel ainsi qu'un certain nombre d'agrégats. L'image MEB révèle que ces particules sont de forme sphérique et granulaire et indique clairement leur gamme de tailles entre 16 et 22 nm[54].

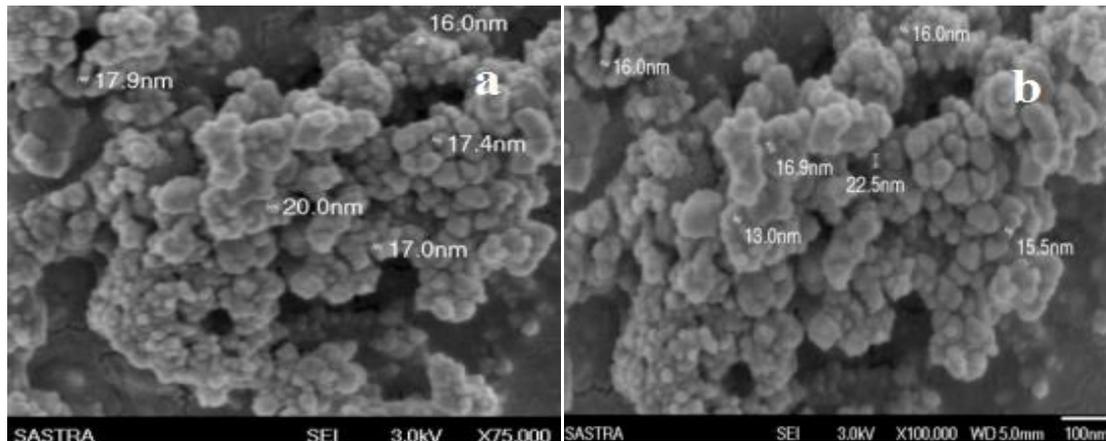
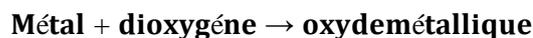


Figure I.8. : Images MEB de nanoparticules de ZnO synthétisées[54]

I.11. Les oxydes métalliques simples :

Les métaux sont de bons conducteurs de chaleur et d'électricité à température ambiante et possèdent deux propriétés chimiques uniques : la formation d'oxydes et d'hydroxydes basiques. La plupart des métaux réagissent avec l'oxygène. Tout métal qui réagit au contact de l'oxygène (chaud ou froid) s'oxydera et deviendra un oxyde métallique.



Les oxydes métalliques sont généralement des objets composés d'atomes de métal et d'atomes d'oxygène ($MxOy$), où M est le symbole chimique de l'atome de métal considéré, O est le symbole de l'atome d'oxygène et " x " et " y " sont des nombres naturels .par exemple oxyde de cuivre CuO , oxyde de zinc ZnO , oxyde d'argent Ag_2O , oxyde de nickel NiOetc[55].

I.12. Propriétés générales de ZnO :

I.12.1. Oxyde de zinc :

L'oxyde de zinc est un composé inorganique de formule chimique " ZnO ". il se présente Habituellement sous la forme d'une poudre blanche et inodore connue sous le nom de "zinc blanc" ou "Blanc de zinc". Il se produit dans la nature sous forme de minéral zincite, y compris Il contient généralement du manganèse et est jaune à rouge[56].

Il est couramment utilisé comme additif dans de nombreuses applications telles que Fabrication de verres, céramiques, ingrédients alimentaires. Lui aussi Produits largement utilisés dans le traitement de diverses autres affections cutanées telles que Traite mieux les éruptions cutanées que la poudre pour bébé et les crèmes barrières, les crèmes Calamine, shampoing antipelluculaire et pommade antibactérienne[57].



Figure I.9. : Oxyde de zinc massif sous forme naturelle (a, b)[58].

I.12.2. Propriétés de l'oxyde de zinc :

I.12.2.1 Propriétés structurales et cristallographiques :

L'oxyde de zinc, connu sous le nom de zincite à l'état naturel, a trois phases différentes propriétés cristallographiques selon les conditions de production : Structure Wurtzite Structures hexagonales, sphalérite et cubique de sel gemme[59].

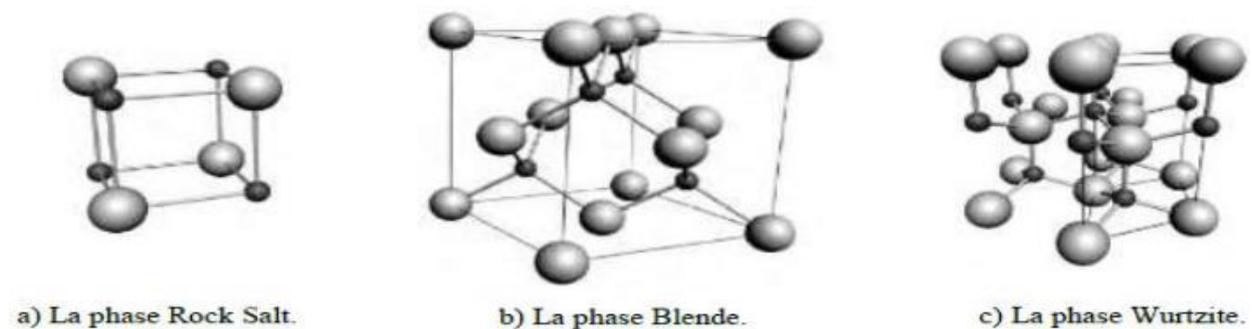


Figure I.10. : Représentation des trois structures cristallines de ZnO[59]

La structure de ZnO la plus thermodynamiquement stable est la wurtzite hexagonale. elle Cristallisé dans une structure hexagonale dense dans laquelle chaque atome de zinc est Les quatre atomes d'oxygène aux sommets du tétraèdre. Structure cubique, instable, apparaît sous haute pression et structure Le sel gemme se produit sous très haute pression[59].

Tableau I.3. : Caractéristiques cristallographiques principales du ZnO[59]

Réseau	Hexagonale Würtzite
Paramètres de maille	$a=3.2499\text{Å}$ $c=5.2060\text{Å}$ $c/a=1.6019$
Distance entre O ⁻² et Zn ⁺²	Suivant l'axe c $d=1.96\text{Å}$
Rayon ionique	Pour les autres voisins $d=1.98\text{Å}$
Rayon atomique	Zn ⁺² = 0.60Å O ⁻² = 1.38Å

I.12.2.2. Propriétés électromécaniques des cristaux de ZnO :

Sous tension mécanique, les cristaux de ZnO sont polarisés (effet direct), et en A l'inverse, l'application d'un champ électrique provoque la déformation du cristal (effet révoqué). En raison de l'anisotropie, sa constante piézoélectrique varie avec direction[60].

I.12.2.3. Propriétés optiques :

Le ZnO fait partie de la famille des oxydes semi-conducteurs transparents dans le domaine du visible grâce à son énergie de gap, ce qui lui permet d'être classé parmi les oxydes transparents conducteurs TCO (transparent conductive oxide) lorsqu'il est dopé. Il présente une forte absorption et diffusion des rayonnements ultraviolets. L'oxyde de zinc est un matériau transparent dont l'indice de réfraction est égal à 2. Sous forme de couche mince, l'indice de réfraction et le coefficient d'absorption varient en fonction des conditions d'élaboration. L'indice de réfraction du ZnO en couche mince varie entre 1.90 et 2.20. Sous l'action d'un faisceau lumineux de haute énergie ($E > 3.4\text{ eV}$) ou d'un bombardement d'électrons, l'oxyde de zinc émet des photons.

Les propriétés optiques des couches minces de ZnO dépendent fortement de la méthode d'élaboration, la qualité des couches, le traitement thermique appliqué, le type et la concentration du dopant[61].

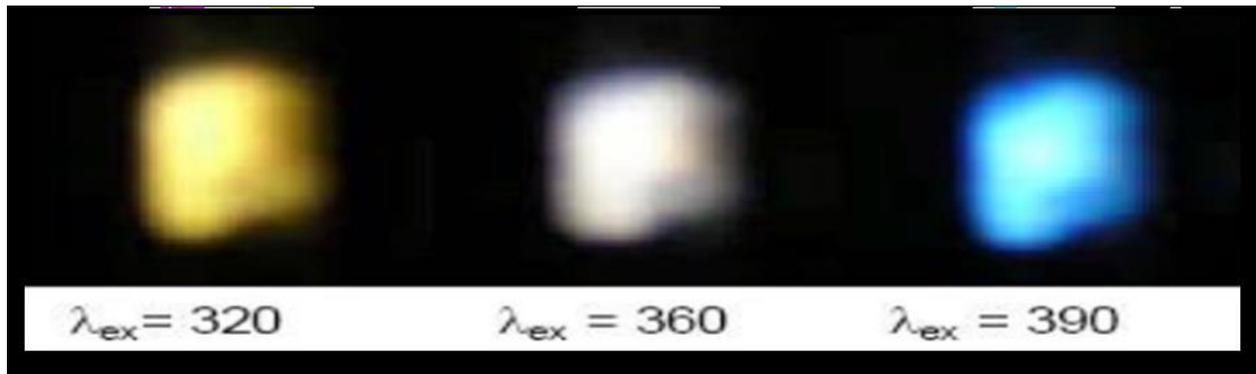


Figure I.11. : Variation de l'émission en fonction de la longueur d'onde d'excitation[62].

I.12.2.4. Propriétés électriques :

Les propriétés électriques de ZnO peuvent être largement modifiées par traitement thermique sous hydrogène, ou par dopage approprié, en particulier par substitution cationique. Dans ce dernier cas, des atomes de zinc sont substitués par des atomes trivalents si l'on veut augmenter la conductivité, ou par des atomes monovalents si l'on veut la réduire. Ceci modifie également les propriétés optiques du matériau. Le principal paramètre qui fait l'objet de l'étude des propriétés électriques des couches minces de ZnO est la résistivité qui peut être contrôlée sur une large gamme allant de 10^{-12} à $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ par effet de la stœchiométrie et du dopage[63].

I.12.2.5. Propriétés morphologiques :

Les différentes facettes de ZnO pourraient induire une croissance anisotrope. Dans les conditions d'équilibre thermodynamique, les facettes ayant une énergie de surface plus faible sont plus importantes que les facettes ayant une énergie de surface plus élevée [64]. Il est possible de modifier le comportement de croissance de , en contrôlant la cinétique de croissance. Par conséquent, le ZnO peut avoir différentes nanostructures : nanoparticules, nanotubes, nanofils...etc. (**Figure I.12**)

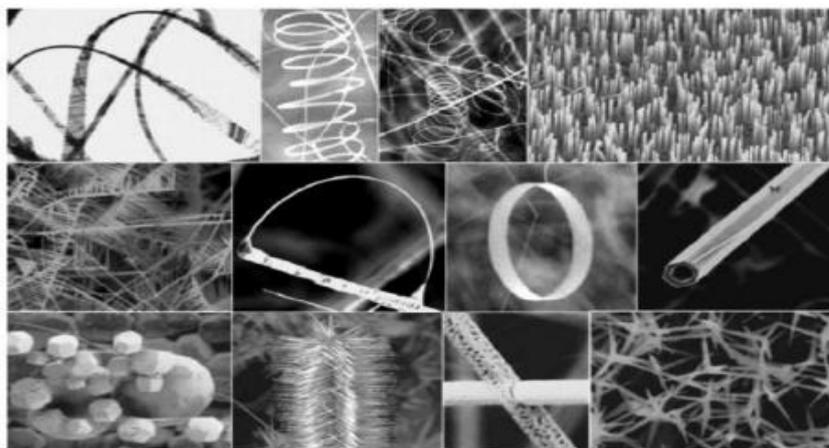


Figure I.12. : Différentes formes de nanostructures de ZnO[65].

I.12.2.6. Propriétés chimiques et catalytiques :

La capacité d'une substance d'être un catalyseur dans un système spécifique dépend de sa nature chimique et de ses propriétés de surface. L'efficacité de l'oxyde de zinc dépend de son mode de préparation. Elle est essentiellement due au degré de perfection du réseau cristallin, et aux propriétés semi-conductrices.

L'oxyde de zinc est utilisé en tant que piège et capteur chimique de gaz (H_2S , CO_2 , H_2 , CH_4). En suspension dans l'eau, il peut jouer le rôle de catalyseur photochimique pour un certain nombre de réactions comme l'oxydation de l'oxygène en ozone, l'oxydation de l'ammoniaque en nitrate, la réduction du bleu de méthylène, la synthèse du peroxyde d'hydrogène, ou encore l'oxydation des phénols. Les couches minces de ZnO ont été aussi utilisées pour catalyser la réaction de dépôt de cuivre[66].

I.13. Domaines d'application de l'oxyde de zinc :

En raison de ses différentes propriétés chimiques et physiques, l'oxyde de zinc est largement utilisé dans de nombreux domaines. Il joue un rôle important dans un domaine très vaste Gamme d'application. notamment dans les secteurs industriels suivants [67](**Tableau I.4**):

Tableau I.4. : Les applications de ZnO dans les différentes industries[67]

Industrie	Application
Les industries électroniques et opto-électroniques	<ul style="list-style-type: none"> -Capteurs de gaz -Dispositifs de surface à ondes acoustiques (SAW) -Diodes émettrices de lumière (LED) -Cellules photovoltaïques -Transistor à effet de champ
Les industries pharmaceutiques et cosmétiques	<ul style="list-style-type: none"> -Anticancéreuses, antidiabétiques, antibactériennes, antifongiques et anti inflammatoires. -Biocapteurs -Pâtes dentaires -Compléments alimentaires -Crèmes écrans soleil

Les industries textiles	-Textiles autonettoyants et hydrofuges -Textiles anti-UV
Les industries mécaniques	-Nano-résonateurs - Nano-générateurs piézoélectrique

Sous forme solide, en couche mince et en poudre, l'oxyde de zinc est largement utilisé, La figure montre la consommation mondiale d'oxyde de zinc zone.

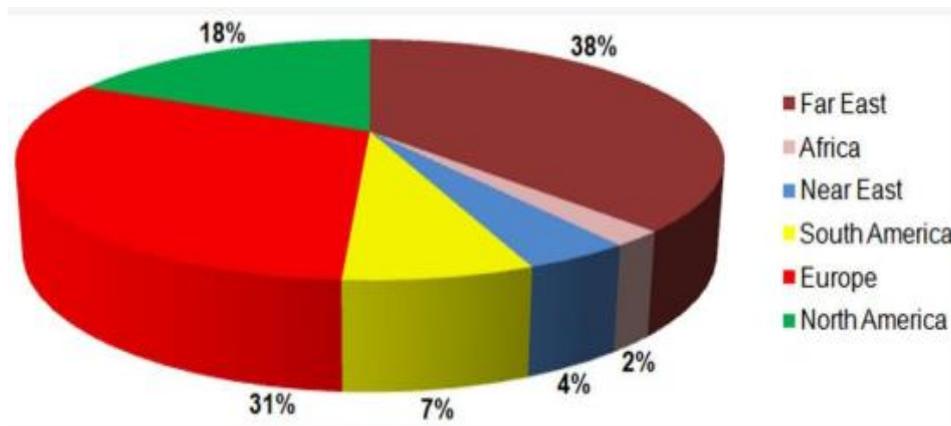


Figure I.13. : Consommation mondiale d'oxyde de zinc[67].

I.14. Les Colorant :

I.14.1. Définition :

Les colorants et pigments ont suscité beaucoup d'intérêt ces dernières années, Il est très important de les éliminer des eaux usées. Ces colorants sont les plus largement utilisés Pour le textile, le papier, le plastique, le cuir, les produits et autres industries Produits colorants alimentaires et cosmétiques[68]. évacuation des eaux usées Les colorants issus de ces industries peuvent présenter des risques d'écotoxicité et introduire Danger bio accumulative potentiel [69].

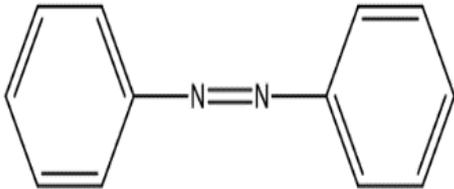
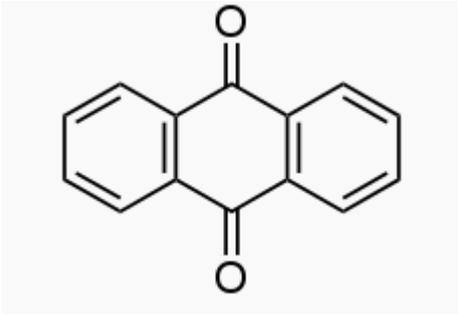
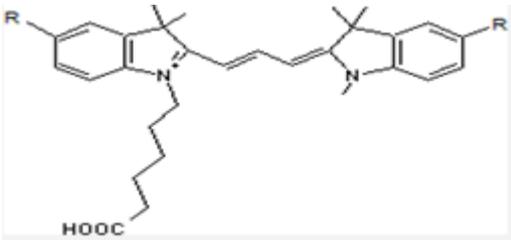


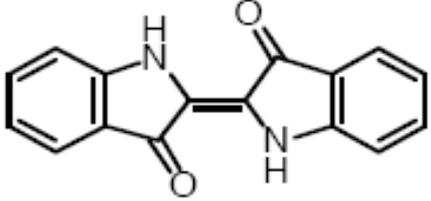
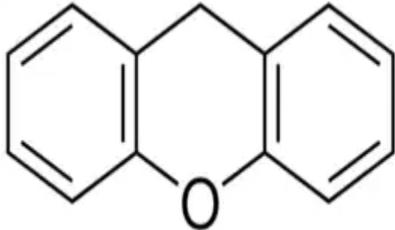
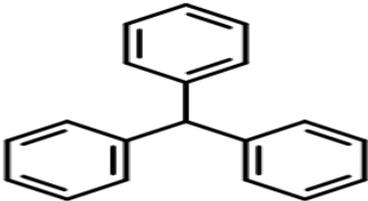
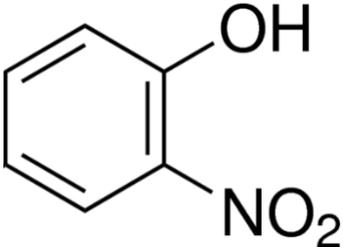
Figure I.14. : variétés des colorants [70].

I.15.2. Classification des colorants:

Les colorants peuvent être classés soit en fonction de leur structure chimique (**tableau I.5**), soit sur leurs méthodes d'utilisation ou d'applications (**tableau I.6**). Les colorants ont des structures chimiques différentes dérivées de composés aromatiques et hybrides, qui sont principalement caractérisés par des chromophores. Le système le plus approprié pour classer les colorants est le système de structure chimique, qui présente de nombreux avantages. Premièrement, il permet d'identifier facilement les colorants comme appartenant à des groupes aux propriétés caractéristiques, tels que les colorants azoïques (forts, bonnes propriétés générales, bon marché) et les colorants anthraquinoniques (faibles, chers). Deuxièmement, il existe de nombreux groupes chimiques facilement gérables. Le plus important est que c'est la classification la plus utilisée par les chimistes et les technologues des colorants synthétiques [71].

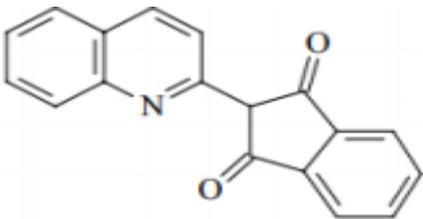
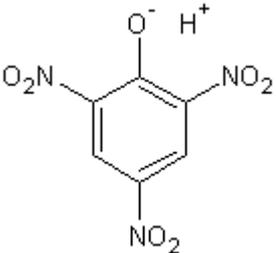
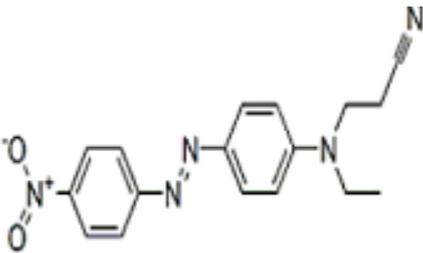
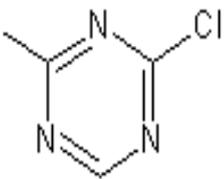
Tableau I.5.: Classification chimique des colorants[72-76].

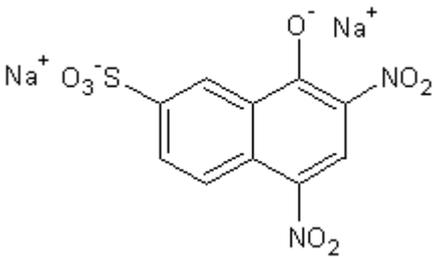
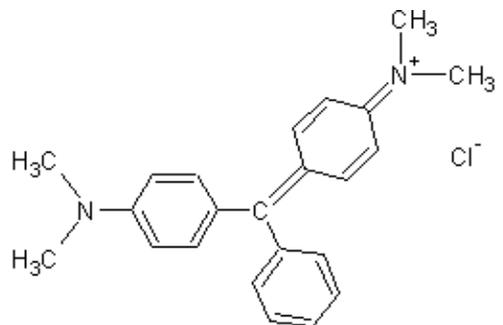
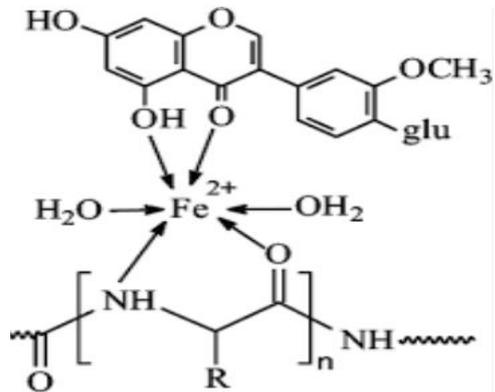
Colorants	Description
<p style="text-align: center;">Azoïque</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Deux noyaux benzéniques reliés par un groupement azoïque (-N=N-) -50% de la production mondiale de matières colorantes -10 à 15% de pertes durant les procédures de teinture, évacués sans traitement préalable dans les effluents -Cancérogènes, réfractaires aux procédés de traitements, très résistants à la biodégradation
<p style="text-align: center;">Anthraquinoniques</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Deux noyaux benzéniques entourant un noyau porteur de 2 fonctions cétones ; -23 % de la production des colorants synthétiques ; -Très bonne stabilité à la lumière et aux agents chimique ; -Permet l'obtention des nuances : Orange, rouge, brun, vert et bleu.
<p style="text-align: center;">Polyméthiniques</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Présence de groupements hétérocycliques donneurs et accepteurs d'électrons aux extrémités d'une chaîne polyméthiniques ; - Faible résistance à la lumière et bons sensibilisateurs photographiques (particulièrement les cyanines).

<p style="text-align: center;">Indigoïdes</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Résistance remarquable aux traitements de lavage -Solidité à la lumière très moyenne.
<p style="text-align: center;">Xanthène</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Intense fluorescence ; -Utilisé en tant que marqueur lors d'accidents maritimes et traceur d'écoulement pour des rivières souterraines.
<p style="text-align: center;">Triphénylméthane</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Plus ancienne classe des colorants synthétiques ; -Couvre la totalité de la gamme des nuances.
<p style="text-align: center;">Nitrés et nitrosés</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Ancienne classe de colorants, limitée en nombre ; -Structure moléculaire simple ; -Prix modéré.

Si la classification chimique présente un intérêt pour le fabricant de matières colorantes, le teinturier préfère le classement par domaines d'application.

Tableau I.6. : Classification tinctoriale des colorants[72, 74, 76].

Colorants	Description
<p style="text-align: center;">De cuve</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Insolubles dans l'eau, sauf sous action d'un réducteur (dithionite de sodium) ; -Appartiennent à la classe chimique des anthraquinones et à celle des indigoïdes ; -Bonne résistance aux agents de dégradation.
<p style="text-align: center;">Direct</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Caractères anioniques ; -Contiennent ou sont capables de former des charges positives ou négatives électrostatiquement attirées par les charges des fibres -Prix modéré, facilité d'application et faible solidité aux traitements de lavage.
<p style="text-align: center;">Dispersés</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Non-ioniques, insolubles dans l'eau ; -Donnent des couleurs stables à la lumière, aux acides, au formaldéhyde et aux actions thermiques -Essentiellement adsorbés sur la fibre polyamide.
<p style="text-align: center;">Réactifs</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Dernière classe de colorant apparue sur le marché ; -Contiennent des groupes chromophores issus essentiellement des familles azoïques, anthraquinoniques et phtalocyanine.

<p style="text-align: center;">Acides ou anionique</p>  <p>The structure shows a naphthalene ring system with a sulfonate group (-SO₃⁻ Na⁺) at position 1 and two nitro groups (-NO₂) at positions 4 and 5.</p>	<p>-Solubles dans l'eau grâce à leurs groupements sulfonates ou carboxylates ;</p> <p>-Permettent de teindre les fibres animales (laine et soie) et quelques fibres acryliques modifiées (nylon, polyamide).</p>
<p style="text-align: center;">Basiques ou cationiques</p>  <p>The structure shows a central carbon atom double-bonded to a phenyl ring and single-bonded to a dimethylamino group (-N(CH₃)₂) and a quaternary ammonium group (-N⁺(CH₃)₃ Cl⁻).</p>	<p>-Bonne solubilité dans l'eau ;</p> <p>-Nuances très vives et résistantes sur les fibres acryliques ;</p> <p>-Liaisons entre les sites cationiques des colorants et les sites anioniques des fibres.</p>
<p style="text-align: center;">A mordants</p>  <p>The diagram illustrates the coordination of Fe²⁺ ions. The iron ion is coordinated to water molecules (H₂O and OH₂) and the oxygen atoms of a dye molecule (which has hydroxyl and methoxy groups) and a polymer chain (represented by a repeating unit with an amide group and an R group).</p>	<p>Les colorants à mordants ont généralement un ligand fonctionnel capable de réagir fortement avec un sel d'aluminium, de chrome, de cobalt, de cuivre, de nickel ou de fer pour donner différents complexes colorés avec le textile.</p> <p>Fibre — Mordant Colorant</p>

I.15.3. Les Procédés de traitement des colorants :

Des procédés physiques, chimiques et biologiques ont été étudiés.

- **Les procédés biologiques** aérobies se sont révélés inefficaces pour manipuler les colorants azoïques qui représentent 50 % des colorants utilisés. Dans des conditions anaérobies, ces colorants azoïques peuvent être réduits en amines aromatiques, potentiellement cancérigènes[77].

-Les **traitements physiques** (coagulation-floculation, procédés membranaires, charbons actifs) Peut être efficace mais ne peut que transférer la pollution mais pas l'éliminer[78].

- **Le traitement chimique** des colorants est réalisé par différentes méthodes telles que les méthodes de complexométrie et de réduction, l'utilisation de résines échangeuses d'ions, Les Procédés Oxydation Avancés (POA), en l'occurrence les procédés photochimiques dont la photocatalyse fait partie, ont démontré leur efficacité dans le traitement des eaux chargées de polluants organiques et semblent constituer la base de colorants synthétiques changeant de couleur et minéralisant des substituts adaptés[77, 79].

I.16. Contexte sur l'activité antibactérienne :

I.16.1. Définition des bactéries :

Les bactéries sont des procaryotes microscopiques, c'est-à-dire sans noyau[80], et sont pour la plupart unicellulaires. Leur taille est de l'ordre du micromètre ($0.5-5\mu m$). Ils se présentent sous de nombreuses formes : sphérique, allongée, en tige ou en spirale. Selon la composition de la paroi cellulaire, les bactéries peuvent être divisées en deux groupes : les bactéries Gram-positives et Gram-négatives.

La paroi des bactéries à Gram positif est riche en acide téichoïque et en acide Diamino-pimélique qui sont absents ou moins abondants chez les bactéries à Gram négatif, lesquelles ont une paroi plus riche en lipides[81, 82].

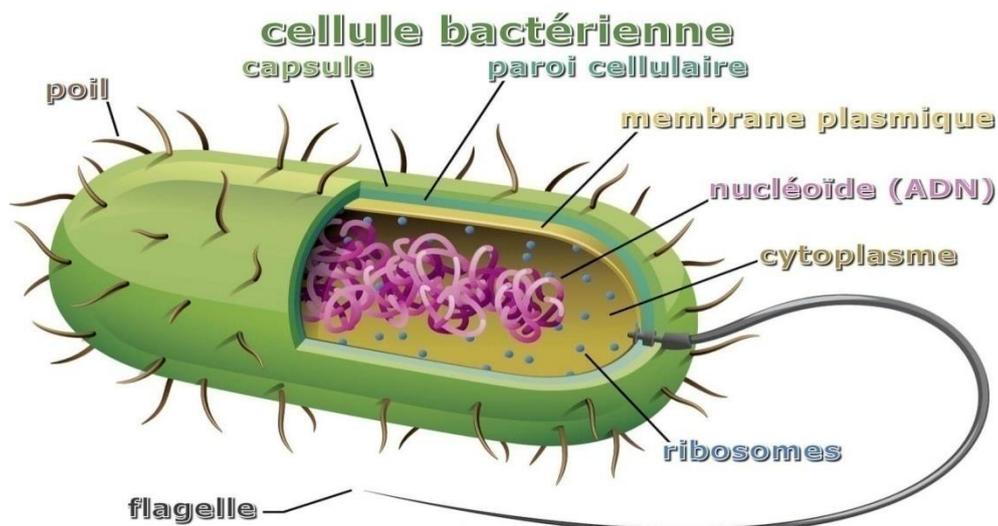


Figure I.15. : la composition de la cellule bactérienne[83].

I.16.2. L'activité antibactérienne des nanoparticules :

Les NPs en particulier ont démontré des propriétés antimicrobiennes à large spectre Bactéries Gram-positives et Gram-négatives[84]. De nombreuses études ont montré que Les bactéries Gram-positives sont plus résistantes au mécanisme d'action des NPs. nous lançons L'hypothèse que différentes parois cellulaires sont responsables de ce phénomène exister. Pour les bactéries Gram-négatives comme E. coli, les cellules Les bactéries sont recouvertes d'une couche de lipopolysaccharide (1 à 3 μm d'épaisseur), et Peptidoglycane (~8 nm d'épaisseur). Cette disposition peut faciliter l'accès des ions libérés de NP dans les cellules. D'autre part, les bactéries Gram-positives telles que Staphylococcus aureus Possède une couche de peptidoglycane beaucoup plus épaisse que les bactéries Gram-négatives, s'étendant sur 80 nm, avec des acides teichoïque et teichuronique attachés manière covalente.

La perturbation de la paroi cellulaire causée par l'interaction physique entre les NPs et la paroi cellulaire est plus préjudiciable aux bactéries Gram-négatives car elles sont dépourvues de la couche épaisse de peptidoglycane que l'on trouve chez les bactéries Gram-positives, qui peut jouer un rôle. Couche protectrice. une autre raison potentielle de la sensibilité des bactéries Gram-négatives aux NPs est que les bactéries Gram-négatives sont encapsulées par des molécules de lipopolysaccharides chargées négativement. Ces molécules chargées négativement ont une plus grande affinité pour les ions positifs que la plupart des NPs libérées, ce qui entraîne une augmentation de l'accumulation et de l'absorption des ions, entraînant des dommages intracellulaires. D'autres facteurs peuvent inclure le processus de formulation, l'environnement, les mécanismes de défense bactérienne et les propriétés physique des NPs[85].

Tableau I.7. : présente quelques de bactéries pathogènes à Gram négatif et à Gram positif [86].

Bactéries	Influence sur le corps humain	Habitat dans le corps humain
Gram positifs		
Staphylococcus aureus	Infection nosocomiale et diverses	Peau, nez, bouche, Pharynx, GI inférieur, conjonctive, urètre et vagin
Streptococcus pneumoniae	Infections diverses	Bouche, Pharynx, conjonctive, nez et vagin
Gram négatifs		
Escherichia coli	Ulcération	GI inférieur, bouche, urètre, vagin, nez pharynx et conjonctive
Pseudo manas aeruginosa	Infection urinaire	GI inférieur, bouche, pharynx, Urètre
Proteus sp	Infections des plaies, cutanées et de l'œil	Nez, bouche, Pharynx, GI inférieur, urètre, vagin et conjonctive

I.16.3. Le mécanisme d'action des nanoparticules :

Le mécanisme létal des nanoparticules métalliques est encore en discussion, mais trois mécanismes principaux ont été postulés, à savoir [82, 87]:

1. Formation d'espèces oxydantes réactives (ROS):

La toxicité de ROS pour les bactéries a été attribuée à leur forte réactivité et à leurs propriétés oxydantes. Ces espèces réactives sont l'anion super oxyde (O_2^-), le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et l'hydroxyde (OH^-). La toxicité chez ces espèces implique la destruction de composants cellulaires tels que les lipides, l'ADN et les protéines après internalisation dans la membrane cellulaire bactérienne.

2. Libération des ions métalliques :

Les ions métalliques libérés inhibent de manière significative le transport actif Et la destruction du métabolisme des acides aminés et du système enzymatique[22].

3. Interaction entre NPs et la membrane cellulaire :

Le petit NPs peut être intériorisé et ionisé dans le corps cellulaire et détruisent les structures intracellulaires, entraînant la mort cellulaire.

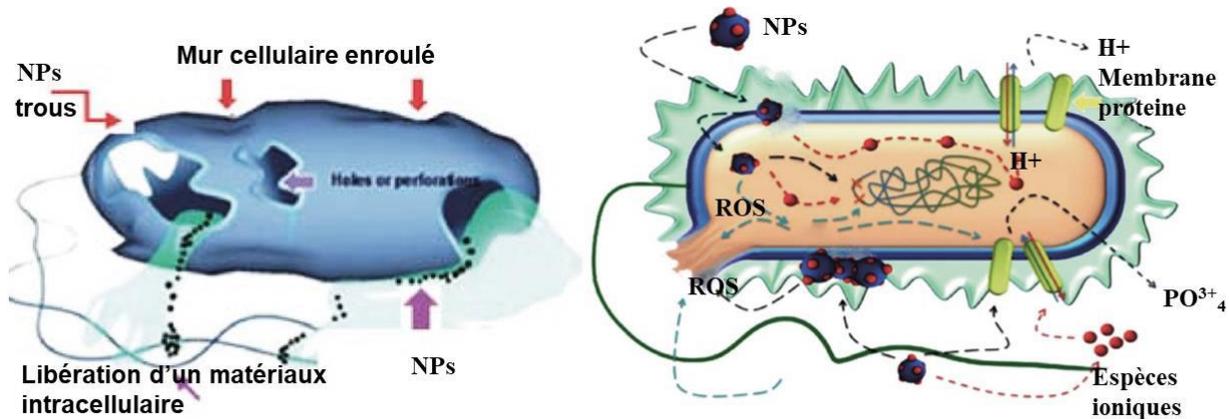


Figure I.16. :Mécanismes d'action supposés des nanoparticules[88].

I.16.4. Les facteurs influençant l'activité antibactérienne des nanoparticules :

Les principaux facteurs affectant l'activité antibactérienne des nanoparticules d'oxydes métalliques sont : leur taille, leur charge, leur potentiel zêta, leur morphologie de surface et leur structure cristalline.

De plus, les conditions environnementales, les souches bactériennes et le temps d'exposition sont d'autres facteurs importants affectant l'effet antibactérien des nanoparticules[87] .

I.17. Pollution d'eau :

La pollution de l'eau est l'altération de sa qualité et de sa nature qui rend son utilisation dangereuse et perturbe les écosystèmes aquatiques. Il peut s'agir d'eaux de surface (rivières, masses d'eau) ou souterraines. Les principales sources de pollution de l'eau sont les activités humaines, l'industrie, l'agriculture et les décharges d'ordures ménagères et industrielles[89].

I.17.1. Pollution d'eau par les colorants de textiles :

Déverser des eaux usées textiles contenant des colorants dans les rivières est nocif à l'espèce animale et végétale ainsi qu'aux divers micro-organismes qui y vivent ces eaux. Cette toxicité peut être liée à la réduction de l'oxygène dissous dans ces environnements. De plus, du fait de leur poids moléculaire élevé et de leur activité, leur biodégradabilité est très faible La

structure complexe confère à ces composés une toxicité variable [86]. Par conséquent, ils peuvent persister longtemps dans cet environnement, entraînant Perturbation importante de divers mécanismes naturels présents dans la flore (pouvoir auto-épuration de la rivière, inhibant la croissance des plantes aquatiques, etc.) et la Faune (destruction d'une classe de poissons, de micro-organismes, etc)[90].



Figure I.16. : pollution d'eau par les rejets des colorants[91].

I.17.2. Les effets de quelques colorants dans l'environnement :

-Le colorant "noir de l'uxanthol G" est très nocif pour les jeunes guppies à concentration autour de 5mg/L [92].

- bleu de victoria, violet de méthyle, noir anthracite BT et le vert diamant sont très toxiques pour la faune et la flore à partir de concentrations de 1mg/L [92].

-Le bleu de méthylène est toxique pour les algues et les petits crustacés à des concentrations étaient respectivement de 0,1 mg/L et 2 mg/L [79].

- Les colorants cationiques (ou basiques) généralement sont très toxiques et résistants à oxydation. En fait, d'autres études ont montré que les colorants cationiques (sandocryl Orange) Très toxique pour les micro-organismes[93].

I.18. Conclusion :

Dans ce chapitre nous concluons que les nanotechnologies sont très prometteuses. De nombreuses applications sont possibles dans différents domaines et on a cité une description sur les procédés de synthèse des nanoparticules métalliques et nous sommes particulièrement intéressés par la méthode de synthèse verte. Les NPs ont attiré une grande attention à cause de leurs propriétés extraordinaires et leur exploitation dans diverses applications telles que l'industrie, l'alimentation, médecine, cosmétique,...etc .

Dans ce chapitre aussi nous avons également abordé l'activité antibactérienne des NPs et fait une présentation sur les colorants et leurs effets nocifs dans l'environnement.

Références du chapitre I :

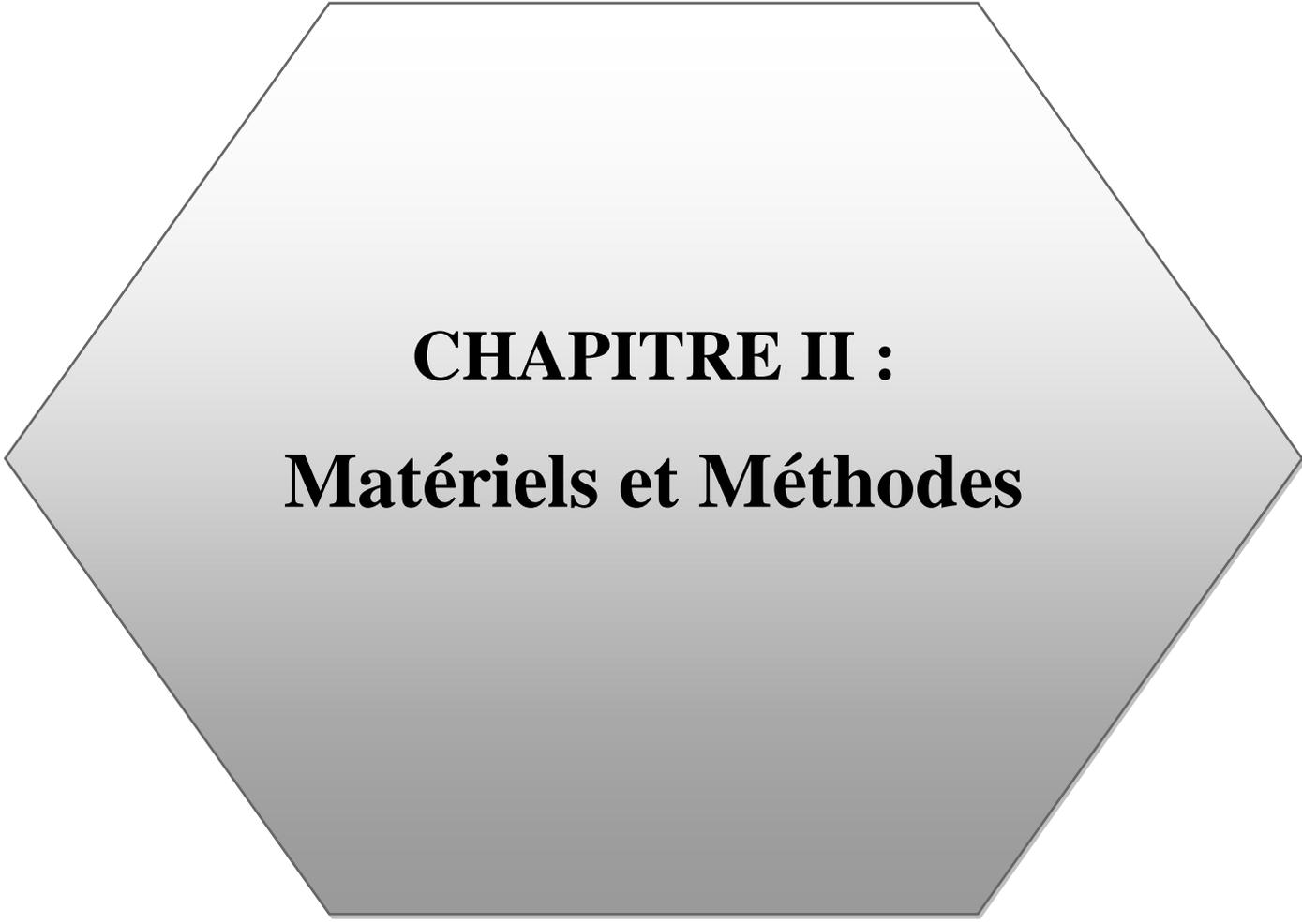
1. Cuevas, R., et al., *Extracellular biosynthesis of copper and copper oxide nanoparticles by *Stereum hirsutum*, a native white-rot fungus from Chilean forests*. Journal of Nanomaterials, 2015. **16**(1): p. 57-57.
2. Stéphanie GEORGE, N.L., *Caractérisation des nano-objets*, .Tech and L'ingénieur.
3. Aiswarya, D., et al., *Biosynthesis of gold and silver nanoparticles from the symbiotic bacterium, *Photobacterium luminescens* of Entomopathogenic Nematode: Larvicidal Properties against three mosquitoes and *Galleria mellonella* Larvae*. Journal of Cluster Science, 2019. **30**: p. 1051-1063.
4. Mohamed, H.E.A., et al., *Biosynthesis of silver nanoparticles from *Hyphaene thebaica* fruits and their in vitro pharmacognostic potential*. Materials Research Express, 2019. **6**(10): p. 1050c9.
5. Debnath, P., et al., *Cytogenetic effects of silver and gold nanoparticles on *Allium cepa* roots*. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology, 2018. **16**(2): p. 519-526.
6. Sayan, B., et al., *Role of nanotechnology in water treatment and purification: potential applications and implications*. Int J Chem Sci Technol, 2013. **3**(3): p. 59.
7. Bayda, S., et al., *The history of nanoscience and nanotechnology: from chemical–physical applications to nanomedicine*. Molecules, 2019. **25**(1): p. 112.
8. Miro, S.R., *Synthesis and Characterization of Magnetic Nanocomposites and Their Applications Study*. thèse doctorat, 2017.
9. Garzón Manjón, A., *Synthesis of metal oxide nanoparticles for superconducting nanocomposites and other applications*. 2016: Universitat Autònoma de Barcelona.
10. Jeevanandam, J., et al., *Review on nanoparticles and nanostructured materials: history, sources, toxicity and regulations*. Beilstein journal of nanotechnology, 2018. **9**(1): p. 1050-1074.
11. Gupta, A., T. Sakthivel, and S. Seal, *Recent development in 2D materials beyond graphene*. Progress in Materials Science, 2015. **73**: p. 44-126.
12. Courtois, B., D. Bémer, and S. Binet, *Chapitre 1. Généralités sur les particules ultra-fines*, in *Les nanoparticules*. 2021, EDP Sciences. p. 45-104.
13. <https://www.novethic.fr/lexique/detail/nanoparticules.html>.
14. Keghouche, N. and D.E. Belfennache, *Elaboration et étude de nanoparticules Au/TiO₂ et Ag/TiO₂*. 2017.
15. Laurent, S., et al., *Magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, stabilization, vectorization, physicochemical characterizations, and biological applications*. Chemical reviews, 2008. **108**(6): p. 2064-2110.
16. Khan, I., K. Saeed, and I. Khan, *Nanoparticles: Properties, applications and toxicities*. Arabian journal of chemistry, 2019. **12**(7): p. 908-931.
17. Sanchez, C., et al., *Designed hybrid organic–inorganic nanocomposites from functional nanobuilding blocks*. Chemistry of Materials, 2001. **13**(10): p. 3061-3083.
18. Malhotra, B.D. and M.A. Ali, *Nanomaterials in biosensors: Fundamentals and applications*. Nanomaterials for biosensors, 2018: p. 1.
19. Pandya, S., *Nanocomposites and its application-review*, P. University, Researchgate, 2015.

20. A. Chaoua, K.L., synthèse et caractérisation des nanopoudres de ZnO pur par sol-gel et hydrothermale, mémoire master, Université Larbi Ben M'hidi, Oum El Bouaghi, Algérie, 2020.
21. S. Lanone, J.B., Applications utilisant les nanotechnologies, par secteur d'activité Questions de santé publique, France, (2010), pp. 1-4.
22. Elkaïem, A. and A. Chari, *Contribution au Développement des Matériaux Nano-Composites à Base de ZnO et Polymère Etude Structural et Optique*. 2017.
23. Piccicuto, S., et al., *Les esters de sucres: voies de synthèse et potentialités d'utilisation*. BASE, 2001.
24. Hyeon, T., *Chemical synthesis of magnetic nanoparticles*. Chemical communications, 2003(8): p. 927-934.
25. Ayachi, A.A. and S. Boudjadar, *Synthèse des nanoparticules d'oxydes métalliques pour des applications photocatalytiques solaires*. 2017.
26. Iravani, S., et al., *Synthesis of silver nanoparticles: chemical, physical and biological methods*. Research in pharmaceutical sciences, 2014. **9**(6): p. 385.
27. Mathur, P., et al., *Pharmaceutical aspects of silver nanoparticles*. Artificial cells, nanomedicine, and biotechnology, 2018. **46**(sup1): p. 115-126.
28. Tran, Q. and A. Le, *Silver nanoparticles: synthesis, properties, toxicology, applications and perspectives*. *Adv Nat Sci Nanosci Nanotechnol* **4** (3): 20, 2013.
29. Soliman, H., A. Elsayed, and A. Dyaa, *Antimicrobial activity of silver nanoparticles biosynthesised by Rhodotorula sp. strain ATL72*. Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences, 2018. **5**(3): p. 228-233.
30. Keerawelle, B.I., A.M.R. Chamara, and G. Thiripuranathar, *Green synthesis of silver nanoparticles via medicinal plant extracts and their antibacterial activities*. World Journal of Pharmaceutical Research, 2019. **8**(7): p. 100-111.
31. Muhammad R., S.I., Rafique M., et al., A Review on Green Synthesis of Silver Nanoparticles and Their Applications. *Artificial Cells, Manometric, and Biotechnology An International Journal*. ; **45**(7) : 1272– 1291., 2016.
32. Chauvel, R., *Application des nanoparticules d'argent en thérapeutique*, 2018.
33. Ramla, B. and K. Souaad, *Biosynthèse des nanoparticules d'argent et applications*. 2020.
34. Srikar, S.K., et al., *Green synthesis of silver nanoparticles: a review*. Green and Sustainable Chemistry, 2016. **6**(1): p. 34-56.
35. Si, S. and T.K. Mandal, *Tryptophan-based peptides to synthesize gold and silver nanoparticles: a mechanistic and kinetic study*. Chemistry—A European Journal, 2007. **13**(11): p. 3160-3168.
36. Nasrollahzadeh, M., et al., *Recent developments in the plant-mediated green synthesis of Ag-based nanoparticles for environmental and catalytic applications*. The Chemical Record, 2019. **19**(12): p. 2436-2479.
37. Doerper, S., *Modification de la synthèse des furocoumarines chez Ruta graveolens L. par une approche de génie métabolique*, 2008, Vandoeuvre-les-Nancy, INPL.
38. Barthe, S., *Les huiles essentielles. désintoxiquer et fortifier l'organisme, soulager vos maux grâce aux huiles essentielles*. Un véritable-guide sur l'utilisation des huiles. Ed France exclusif, Paris, 254p, 2005.
39. Lugasi, A., *The role of antioxidant phytonutrients in the prevention of diseases*. Acta biologica szegediensis, 2003. **47**(1-4): p. 119-125.

40. Škerget, M., et al., *Phenols, proanthocyanidins, flavones and flavonols in some plant materials and their antioxidant activities*. Food chemistry, 2005. **89**(2): p. 191-198.
41. Sadi, L., A. Zenguila, and H. LAKSACI, *Biosynthèse et caractérisations de l'oxyde de Cuivre. Application dans la dégradation d'un composé organique*, 2022, UNIVERSITE AHMED DRAIA-ADRAR.
42. Krief, S., *Métabolites secondaires des plantes et comportement animal: surveillance sanitaire et observations de l'alimentation des chimpanzés (Pan troglodytes schweinfurthii) en Ouganda. Activités biologiques et étude chimique de plantes consommées*, 2003, Museum national d'histoire naturelle-MNHN PARIS.
43. تايبي, et al., *Etude bibliographique sur la synthèse verte des nanoparticules métalliques*. 2021.
44. Singh, J., et al., *A review on green synthesis and characterization of silver nanoparticles and their applications: a green nanoworld*. World J. Pharm. Pharm. Sci, 2016. **6**: p. 730-762.
45. Raveendran, P., J. Fu, and S.L. Wallen, *Completely "green" synthesis and stabilization of metal nanoparticles*. Journal of the American Chemical Society, 2003. **125**(46): p. 13940-13941.
46. Haverkamp, R. and A. Marshall, *The mechanism of metal nanoparticle formation in plants: limits on accumulation*. Journal of Nanoparticle Research, 2009. **11**: p. 1453-1463.
47. Selvakannan, P., et al., *Water-dispersible tryptophan-protected gold nanoparticles prepared by the spontaneous reduction of aqueous chloroaurate ions by the amino acid*. Journal of colloid and interface science, 2004. **269**(1): p. 97-102.
48. Willett, R., et al., *Differential adhesion of amino acids to inorganic surfaces*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2005. **102**(22): p. 7817-7822.
49. Baghizadeh, A., et al., *Green synthesis of silver nanoparticles using seed extract of Calendula officinalis in liquid phase*. Journal of molecular liquids, 2015. **207**: p. 159-163.
50. Kesharwani, J., et al., *Phytofabrication of silver nanoparticles by leaf extract of Datura metel: hypothetical mechanism involved in synthesis*. Journal of Bionanoscience, 2009. **3**(1): p. 39-44.
51. Sangeetha, G., S. Rajeshwari, and R. Venckatesh, *Green synthesis of zinc oxide nanoparticles by aloe barbadensis miller leaf extract: Structure and optical properties*. Materials Research Bulletin, 2011. **46**(12): p. 2560-2566.
52. Ramesh, C., M. HariPrasad, and V. Ragunathan, *Effect of Arachis hypogaea L. leaf extract on Barfoed's solution; Green synthesis of Cu₂O nanoparticles and its antibacterial effect*. Current Nanoscience, 2011. **7**(6): p. 995-999.
53. Gunalan, S., R. Sivaraj, and R. Venckatesh, *Aloe barbadensis Miller mediated green synthesis of mono-disperse copper oxide nanoparticles: optical properties*. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2012. **97**: p. 1140-1144.
54. Elumalai, K., et al., *RETRACTED: Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using Moringa oleifera leaf extract and evaluation of its antimicrobial activity*, 2015, Elsevier.
55. Singh, J., G. Kaur, and M. Rawat, *A brief review on synthesis and characterization of copper oxide nanoparticles and its applications*. J. Bioelectron. Nanotechnol, 2016. **1**(9).

56. LEGHIGHANE, B., *Etude des composés n-ZnO et p-ZnO et leur application en optoélectronique*, 2015, Ecole nationale polytechnique d'Oran.
57. Diouf, A.A., *Etude des propriétés optiques de photoluminescence et de réflectivité de couches minces de ZnO épitaxiées sous jets moléculaires et détermination à l'aide du modèle d'Ising des propriétés ferromagnétiques de nanomatériaux de ZnO dopés par des impuretés magnétiques*, 2017, Cheikh Anta Diop University.
58. Brochen, S., *Propriétés électriques du ZnO monocristallin*, 2012, Grenoble.
59. Byrappa, K., et al., *Photocatalytic degradation of rhodamine B dye using hydrothermally synthesized ZnO*. Bulletin of materials science, 2006. **29**: p. 433-438.
60. Taabouche, A. and A. Bouabellou, *Etude structurale et optique de films minces ZnO élaborés par voie physique et/ou chimique*. 2017.
61. Ghomri, R., *Étude des propriétés de l'oxyde de zinc non dopé et dopé*. Univ. Badji Mokhtar Annaba, 2017: p. 23-19.
62. Zhou, K., *Elaboration et Caractérisation des nanopoudres de ZnO par Voie Chimique Sol-gel*, 2014.
63. Benelmadjat, H. and B. Boudine, *Elaboration et caractérisation de matériaux cristallins ou amorphes purs et dopés*. 2017.
64. Benzitouni, S. and M. Zaabat, *Etude des propriétés optiques, mécaniques, antibactériennes et photocatalytiques des nanostructures à base d'oxyde métalliques "ZnO"*, 2018, université oum el bouaghi.
65. Yao, B., Y. Chan, and N. Wang, *Formation of ZnO nanostructures by a simple way of thermal evaporation*. Applied physics letters, 2002. **81**(4): p. 757-759.
66. Benramache, S., *Elaboration et caractérisation des couches minces de ZnO dopées cobalt et indium*, 2012, Université Mohamed Khider-Biskra.
67. Kołodziejczak-Radzimska, A. and T. Jesionowski, *Zinc oxide—from synthesis to application: a review*. Materials, 2014. **7**(4): p. 2833-2881.
68. Vandevivere, P.C., R. Bianchi, and W. Verstraete, *Treatment and reuse of wastewater from the textile wet-processing industry: Review of emerging technologies*. Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental AND Clean Technology, 1998. **72**(4): p. 289-302.
69. Pak, D. and W. Chang, *Decolorizing dye wastewater with low temperature catalytic oxidation*. Water science and technology, 1999. **40**(4-5): p. 115-121.
70. <https://www.aquaportail.com/definition-3127-colorant.html>.
71. Benkhaya, S., S. M'rabet, and A. El Harfi, *A review on classifications, recent synthesis and applications of textile dyes*. Inorganic Chemistry Communications, 2020. **115**: p. 107891.
72. BENAÏSSA, A., *Etude de la faisabilité d'élimination de certains colorants textiles par certains matériaux déchets d'origine naturelle*. 2012.
73. Lemlikchi, W., *Elimination de la pollution des eaux industrielles par différents procédés d'oxydation et de co-précipitation*, 2012, Université Mouloud Mammeri.
74. Errais, E., *Réactivité de surface d'argiles naturelles: Etude de l'adsorption de colorants anioniques*, 2011, Strasbourg.
75. Møller, P. and H. Wallin, *Genotoxic hazards of azo pigments and other colorants related to 1-phenylazo-2-hydroxynaphthalene*. Mutation Research/Reviews in Mutation Research, 2000. **462**(1): p. 13-30.

76. Zee, F., *Anaerobic azo dye reduction*. Netherlands: Wageningen University, 2002.
77. Cunningham, J., G. Al-Sayyed, and S. Srijaranai, *Adsorption of model pollutants onto TiO₂ particles in relation to photoremediation of contaminated water*, in *Aquatic and surface photochemistry*. 2018, CRC Press. p. 317-348.
78. Meng, Y., et al., *Kinetic study and modeling on photocatalytic degradation of para-chlorobenzoate at different light intensities*. *Environmental Pollution*, 2002. **117**(2): p. 307-313.
79. Bouahcida, K. and M. Boubaaya, *Elimination de la pollution industrielle de textile par adsorption*, 2020, Univ M'sila.
80. Doumbia, A.S., *Développement de filaments nanocomposites à base de polylactide «PLA»: application aux textiles antibactériens*, 2012, Lille 1.
81. BOUMEDIQU, K., *Etude de l'activité antibactérienne des matériaux nanostructurés à base d'argent*, 18-09-2019.
82. Sirelkhatim, A., et al., *Review on zinc oxide nanoparticles: antibacterial activity and toxicity mechanism*. *Nano-micro letters*, 2015. **7**: p. 219-242.
83. <https://www.aquaportail.com/definition-14795-cellule-bacterienne.html>.
84. Wang, L., C. Hu, and L. Shao, *The antimicrobial activity of nanoparticles: present situation and prospects for the future*. *International journal of nanomedicine*, 2017. **12**: p. 1227.
85. Slavin, Y.N., et al., *Metal nanoparticles: understanding the mechanisms behind antibacterial activity*. *Journal of nanobiotechnology*, 2017. **15**: p. 1-20.
86. Kerkeni, A., *Biofonctionnalisation de structures fibreuses en PET avec des molécules d'origine biologique*, 2010, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis.
87. Dadi, R., *Synthèse de nanoparticules d'oxydes métalliques et leur activité antibactérienne*, 2019, Université Paris-Nord-Paris XIII.
88. Díaz-Visurraga, J., et al., *Metal nanostructures as antibacterial agents*. *Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances*, 2011. **1**: p. 210-218.
89. Eckenfelder, W.W. and L. Vandevenne, *Gestion des eaux usées urbaines et industrielles: caractérisation, techniques d'épuration, aspects économiques*. 1982: Technique et Documentation Lavoisier.
90. Kebiche, O. and K. Bouhidel, *Biodégradabilité, adsorbabilité et échange ionique de quelques colorants cationiques présents dans les effluents liquides de la teinturerie de l'unité couverte de Ain-Djassar*. 2017.
91. <https://france3-regions.francetvinfo.fr/nouvelle-aquitaine/haute-vienne/en-haute-vienne-l-eau-d-une-riviere-devient-vert-fluo-802717.html>.
92. Oualid, B., *Contribution de méthodes destructives (Photolyse et POA's) et non destructives à l'élimination de deux colorants (Bleu de méthylène et rouge Congo) en solution aqueuse*. Magistère, Mentouri, Constantine, 2005.
93. Milano, J., P. Loste-Berdot, and J. Vernet, *Photooxydation du Vert de Malachite en Milieu Aqueux en Présence de Peroxyde D'Hydrogène: Cinétique et Mécanisme Photooxydation of Malachite Green in Aqueous Medium in the Presence of Hydrogen Peroxide: Kinetic and Mechanism*. *Environmental technology*, 1995. **16**(4): p. 329-341.



CHAPITRE II :
Matériels et Méthodes

II.1. Introduction :

Ce chapitre décrit la préparation et la caractérisation des nanoparticules d'oxyde métallique ZnO à l'aide des feuilles de la menthe aquatique. La méthode de la synthèse verte de ces NPs sera présentée en détail. Ensuite, les protocoles expérimentaux utilisés pour réaliser le test photocatalytique et le test d'activité antibactérienne des poudres synthétisées seront présentés. Finalement, les techniques utilisées pour la caractérisation sont également mentionnées tels que : la diffraction de rayons X (DRX), La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR), la spectroscopie UV-Visible (UV-Vis) et le microscope électronique à balayage (MEB) respectivement.

II.2. Description de la plante :

La menthe aquatique (*Mentha aquatica*) est une plante herbacée à rhizome que l'on trouve en Europe, dans le nord-ouest de l'Afrique et dans le sud-ouest de l'Asie. Les tiges sont carrées en coupe transversale, de couleur verte ou violette et poilues à presque glabres. Rhizome très étalé, charnu, fibreux et baissier.

Les feuilles sont ovales à ovales-lancéolées, de 2 à 6 centimètres de long et de 1 à 4 centimètres de large, de ton vert parfois violacé, opposées, dentelées, et varient de poilu à presque glabre aussi. Toutes les parties de la plante ont une odeur de menthe distinctive, l'odeur qui semble donner un goût frais et rafraîchissant sont dus au menthol qui est un alcool terpénique. Comme son nom l'indique, la menthe aquatique croît dans les marres peu profondes, des ruisseaux, de petites rivières, les flaques d'eau, les digues, les fossés, les canaux, les prairies humides, les marécages et tourbières. Si la plante pousse dans l'eau elle-même, elle s'élève au-dessus de la surface de l'eau[1].



Figure II.1 : La menthe aquatique[1].

II.2.1. La propagation :

La propagation par graines est facile : semez au printemps sous châssis froid. La germination est généralement rapide. Faites germer les semis dans des pots individuels lorsqu'ils sont assez grands pour être manipulés et plantez-les en été. Les espèces de menthe s'hybrident très facilement et on ne peut pas compter sur les graines pour identifier la vraie menthe aquatique. Même s'ils ne sont pas hybrides, les semis ne seront pas uniformes, de sorte que la teneur en huile médicinale, etc. variera[1].

II.2.2. Utilisations de la menthe aquatique :

Les tisanes sont fabriquées à partir des feuilles, les plus jeunes si possible. Le thé fait à partir des feuilles est traditionnellement utilisé pour traiter les fièvres, les maux de tête, les troubles digestifs et divers maux. Les feuilles sont récoltées lorsque la plante est en fleur et peuvent être séchées pour une utilisation ultérieure.

La plante est récoltée avant la floraison et donne environ 0,8% d'huile essentielle. L'huile essentielle des feuilles est antiseptique mais peut être toxique à fortes doses. Bien qu'aucune trace toxique de cette menthe n'ait été observée, une utilisation intensive de certains membres de ce genre, en particulier lorsqu'ils sont pris sous la forme d'une huile essentielle extraite, peut provoquer une fausse couche[1].

Tableau II.1 : données scientifiques de *M. aquatique*[1].

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

II.3. La photocatalyse hétérogène :

Le terme photocatalyse vient de trois mots grecs : *photos* (lumière), *kata* (vers le bas ou vers l'arrière) et *lysis* (dissoudre ou se décomposer). Ainsi, la photocatalyse est l'activité d'une substance inorganique appelée "photocatalyseur", qui augmente la vitesse d'une réaction chimique thermodynamiquement possible sous l'action de la lumière sans interférer avec l'équation d'équilibre de la réaction[2].

II.3.1 Principe de la photocatalyse hétérogène :

Le principe de la photocatalyse est basé sur la génération de photoélectrons (e^-) dans la bande de conduction (BC) et de trous (h^+) dans la bande de valence (BV) du semi-conducteur (SC) après exposition à la lumière de longueur d'onde (λ) supérieure ou égale à l'énergie de la bande interdite (E_g). Les paires (e^- , h^+) interagissent avec des composants organiques et inorganiques adsorbés sur la surface du semi-conducteur

L'activation du semi-conducteur se fait par absorption d'un rayonnement lumineux de longueurs d'onde inférieures à 380 nm correspondant à une énergie supérieure ou égale à l'énergie de sa bande interdite (3.37 eV).

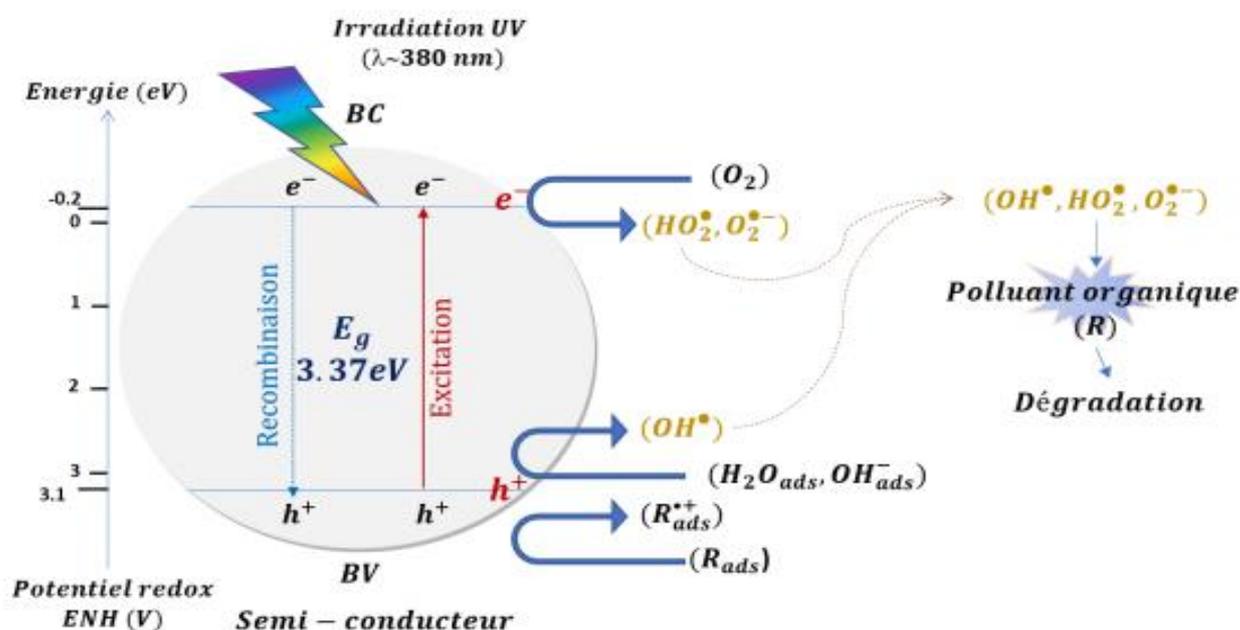
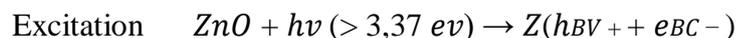


Figure II.2 : Schéma synoptique du principe de photocatalyse [3].

On peut schématiser le processus en quatre étapes successives :

1. Production de paires électron / trou :

Sous excitation lumineuse, les électrons (e^-) de la bande de valence (BV) du ZnO passent vers la bande de conduction (BC), laissant une charge positive ou trou (h^+) dans la bande de valence.



2. Recombinaison de paires électron / trou :

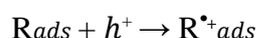
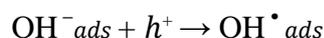
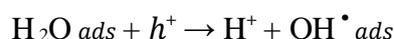
Les paires électron/trou peuvent se recombiner en quelques nanosecondes en libérant de la chaleur[4, 5].



3. Réactions d'oxydation et de réduction :

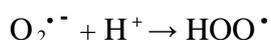
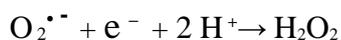
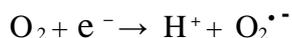
a. Oxydation :

En présence d'eau, les trous (h^+) peuvent réagir avec des donneurs d'électrons tels que, les anions OH^- et les produits organiques (R) adsorbés à la surface du semi conducteur pour produire des espèces oxydantes comme les radicaux hydroxyles OH^\bullet et R^\bullet .



b. Réduction :

Les (e^-) réagissent avec des accepteurs d'électron tels que le O_2 pour former des radicaux super oxydes $O_2^{\bullet -}$ et par la suite H_2O_2 .



4. Dégradation des molécules organiques :

Ces réactions montrent l'importance de l'eau et de l'oxygène dans le processus photocatalytique. Les radicaux formés (OH^\bullet , H_2O_2 , HOO^\bullet) réagissent avec la molécule de polluant qui conduit à sa décomposition complète et sa transformation en dioxyde de carbone CO_2 et d'eau H_2O [6].

II.4.Manipulation :

II.4.1.Liste du matériel :

Le matériel utilisé dans ce travail est :

- bécher
- ballon a bouillir
- fiole a jauge
- pipette graduée
- spatule
- éprouvette
- verre de montre
- tubes à essaie
- barreau magnétique
- erlenmeyer
- papier filtre
- entonnoir
- thermomètre
- burette
- support

Les appareils utilisés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II.2: Caractéristiques des appareils /équipements utilisés

Appareil utilisé	Description	Image
Agitateur magnétique	Un agitateur magnétique : Cet agitateur a une plaque-chauffante--en vitrocéramique ou la température maximale est limitée à 550°C et il a une capacité de 5 L. La précision de contrôle dans les milieux de la sonde de température est de $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$.	
Balance analytique	Une balance analytique : Sa précision d'affichage : 10^{-4} g , et sa portée maximale : 220 g.	

<p>Centrifugeuse</p>	<p>Une centrifugeuse : Sa force de centrifugation maximale est de : 4500 <i>tr/min</i>, sa capacité est de 50 <i>ml</i> ×8, et sa minuterie jusqu'à 60 <i>minutes</i>.</p>	
<p>Étuve de séchage</p>	<p>Une étuve: Sa température maximale est de 220 °C.</p>	
<p>Four électrique</p>	<p>Un four électrique : Sa température maximale est de 1200 °C.</p>	
<p>PH - mètre</p>	<p>Un pH-mètre est un appareil, souvent électronique, permettant la mesure du pH d'une solution.</p>	

II.4.2. Liste des produits chimique :

Les produits chimiques utilisés sont listés dans le tableau :

Tableau II.3: Représente les propriétés du produit chimique de la synthèse.

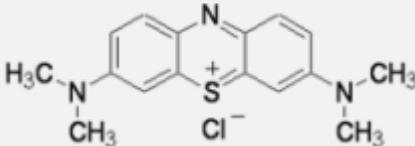
Produit	Symbole	Masse Molaire	Remarque
Zinc Acetate	$ZnC_4H_6O_4$	183,48 g/mol	Soluble dans l'eau
bleu de methylene Hydrate	$C_{16}H_{18}ClN_3S H_2O$	319,85 g/mol	Soluble dans l'eau
Hydroxyde de sodium	NaOH	39,997 g/mol	Soluble dans l'eau
l'eau distillée	H_2O	1 g/mol	Soluble dans l'eau

II.5. Mode polluant :**II.5.1. Bleu de Méthylène :**

Le BM est un colorant cationique[7], dérivé de phénothiazine[8]. A l'état pur, il existe comme une poudre vert foncé sous plusieurs formes hydratées[9], il est utilisé dans plusieurs applications la chimie, la médecine, la dentisterie et l'industrie textile. il est choisie comme modèle représentatif des polluants organiques de taille moyenne[10].

Les caractéristiques et la structure chimique de ce colorant sont données dans le tableau.

Tableau II.4 : Caractéristiques et structure chimique du BM[11].

Nom commercial	Méthylène bleu
Famille	Colorant basique
Masse Molaire (g/mol)	319.85
Formule chimique	C ₁₆ H ₁₈ ClN ₃ S
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.5.2 Toxicité du bleu de méthylène

Le BM n'est pas très dangereux, mais à fortes doses il peut avoir des effets nocifs sur les organismes vivants et les eaux. Une exposition aiguë à ce produit peut causer :

Exposition externe : incitation de la peau et des dommages permanents aux yeux.

Exposition par inhalation : essoufflement ou respiration difficile, accélération du rythme cardiaque.

Exposition par ingestion : Irritation gastro-intestinale, nausées, transpiration abondante, confusion, anxiété, hypertension, cyanose et nécrose des tissus[12, 13].

II.5.3. Préparation de colorant bleu de méthylène :

Pour préparer 100 ml d'une solution colorée de concentration 10^{-5} g/L, nous avons utilisé 0,3 mg de poudre de bleu de méthylène hydrate [$C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot H_2O$]. Cette solution est bien agitée pour se rassurer de la dissolution complète des particules de BM.

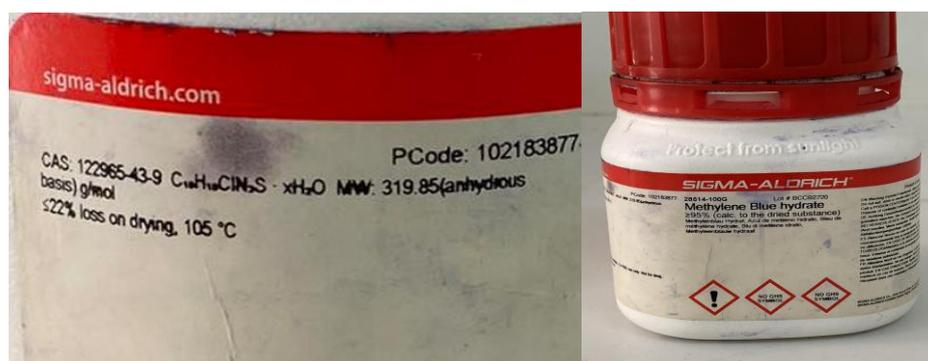


Figure II.3 : Bleu de Méthylène (BM)

II.5.4.L'étalonnage de Bleu de Méthylène :

II.5.4.1.Spectre d'absorption UV-Visible de BM :

La figure (II-4) 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.

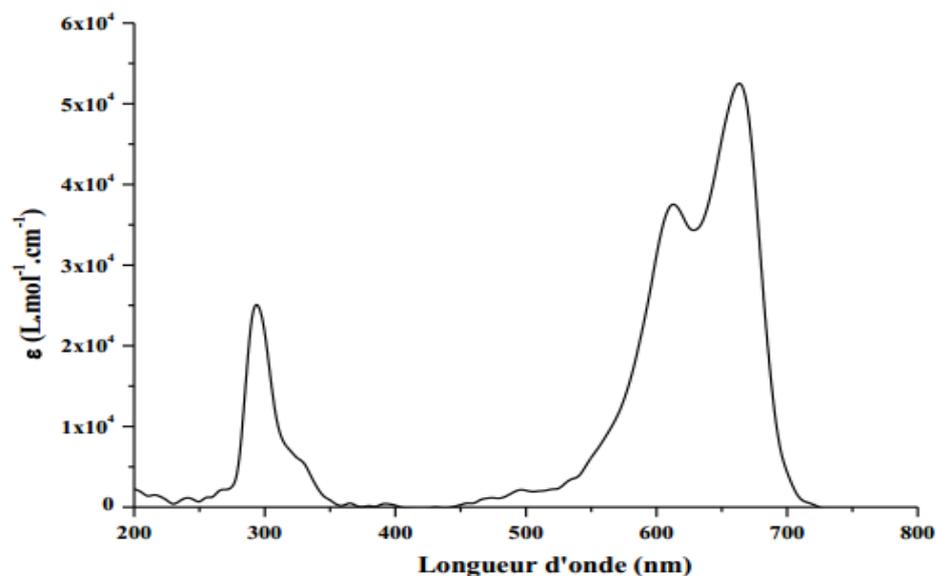


Figure II.4 : Le spectre UV du colorant de bleu de méthylène à 664 nm, longueur d'onde maximale[14].

II.5.4.2. Courbe d'étalonnage :

Afin de vérifier la loi de Beer-Lambert, nous avons tracé la courbe d'étalonnage pour le colorant utilisé dans le domaine de concentrations entre 10^{-5} et $5 \cdot 10^{-5}$ mol/L. Les résultats sont illustrés sur le tableau (II-5) et la figure (II-5)

Tableau II.5: valeurs de l'absorbance pour différentes concentrations de BM

C (mol/l)	A (nm)
10^{-5}	0,636
$2 \cdot 10^{-5}$	1,294
$3 \cdot 10^{-5}$	1,605
$4 \cdot 10^{-5}$	2,310
$5 \cdot 10^{-5}$	2,689

La courbe d'étalonnage qui représente les valeurs de l'absorbance de BM en fonction de la concentration a été tracée. La figure (III-2) illustre que la linéarité est respectée dans ce domaine de concentrations. La loi de Beer-Lambert est donc vérifiée.

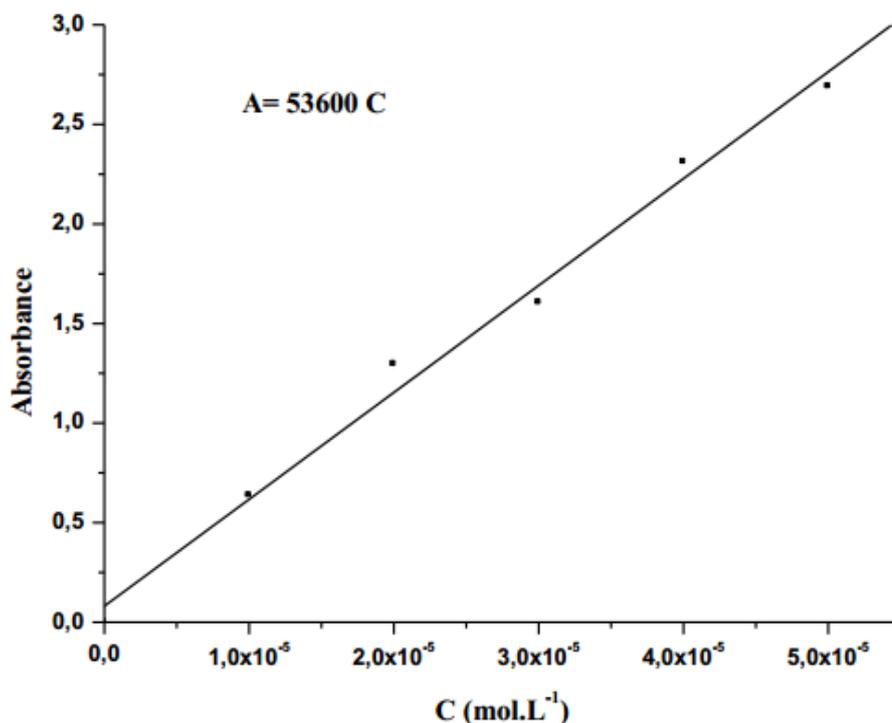


Figure II.5: Courbe d'étalonnage au maximum d'absorption de BM[14].

II.6. Synthèse de nanoparticules de ZnO à partir de l'extrait de plante :

II.6.1. Préparation de l'extrait de menthe aquatique :

Pour extraire l'extrait de plante de menthe aquatique, on le lave d'abord à l'eau du robinet pour éliminer tous les impuretés, puis à l'eau distillée, après on le disperse dans un endroit ombragé jusqu'à ce qu'il sèche. Ensuite, après le séchage de la plante nous séparons les feuilles de la tige et on prend un bécher remplis avec 200 ml d'eau distillé et on chauffons jusqu'à température de 70°C, après nous ajoutons 10g des feuilles de la plante et nous emballons le bécher avec papier aluminium pour éviter l'évaporation de métabolites secondaires et laissez-le pendant 30 minutes sous l'agitation. Enfin, on filtre le mélange et on le conserve dans température ambiante.

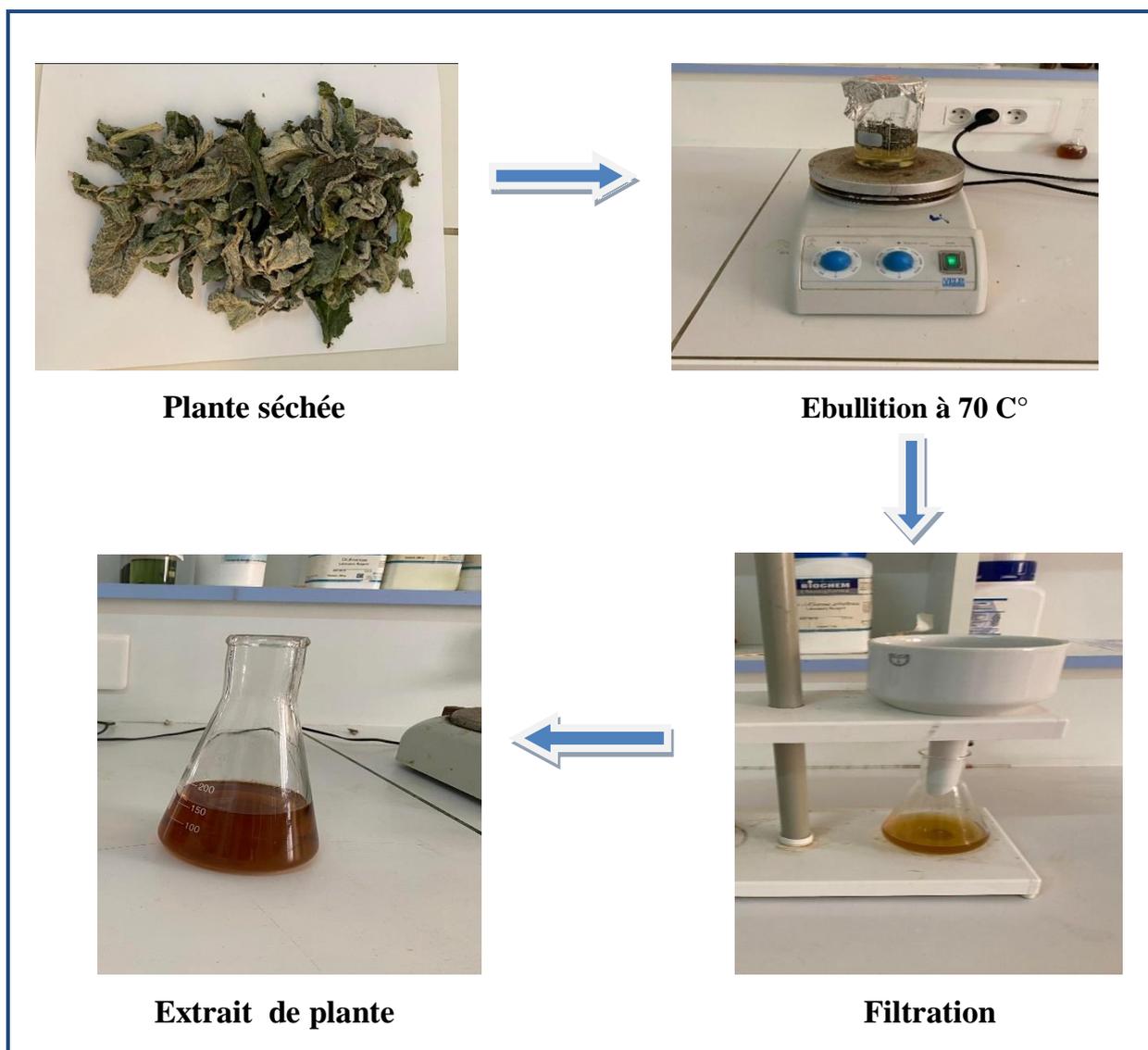


Figure II.6 : les étapes d'extraction de plante.

II.6.2. Synthèse verte des nanoparticules d'oxyde de Zinc:

II.6.2.1. Mode opératoire :

Les nanoparticules d'oxyde de Zinc ont été synthétisées par une réduction des ions de Zinc par les composés phénoliques de l'extrait des feuilles de la menthe aquatique. Pour la préparation des nanoparticules de ZnO, dans un ballon à bouillir nous dissolvons 0,5g de l'acétate de zinc dihydrate $[\text{ZnC}_4\text{H}_6\text{O}_4, 2\text{H}_2\text{O}]$ dans 50ml d'eau distillée, puis on ajoute 6ml d'extrait végétal goutte à goutte et quelques gouttes de solution de NaOH jusqu'à l'apparition des sédiments dans le mélange. La réaction a été menée sur une plaque chauffante magnétique sous agitation continue pendant 1h à 60°C.

II.6.2.2. Purification :

Le produit obtenu a été recueilli par centrifugation à 4500 tr / min pendant 10 minutes et on le lave avec l'eau distillée puis on le retourne dans le centrifugeuse autre fois ; pour le séchage de produit nous le mettons dans l'étuve à 80°C pendant une nuit.

A la fin on obtient les NPs de ZnO pur après traitement thermique (calcination) à 400 °C pendant 2h .

II.6.2.3. Courbe de calcination :

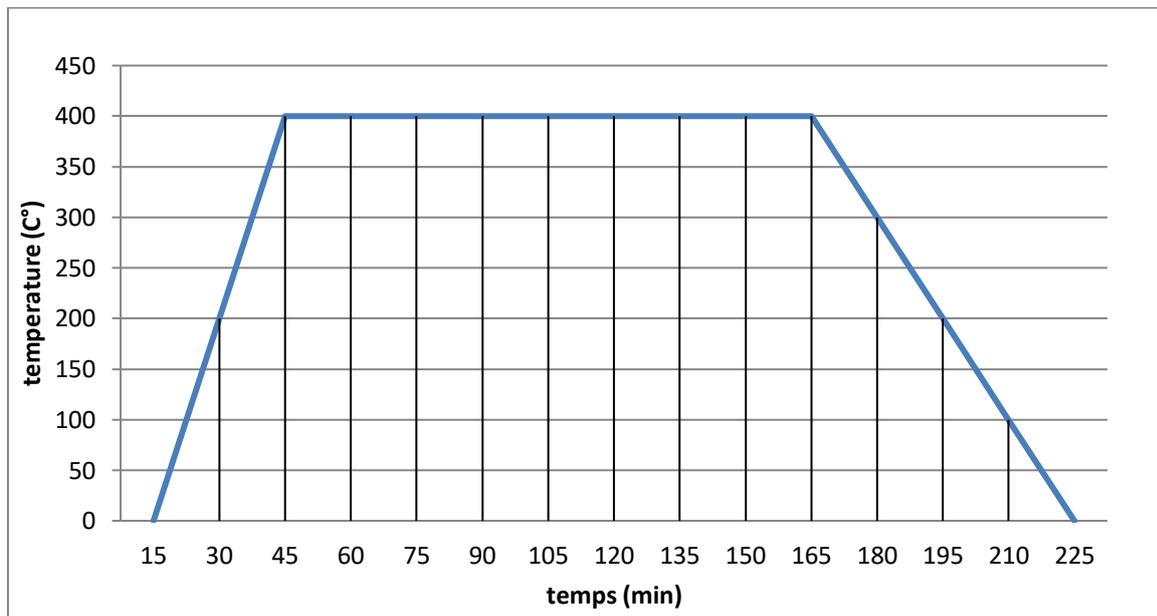


Figure II.7 : Courbe de traitement thermique d'échantillon

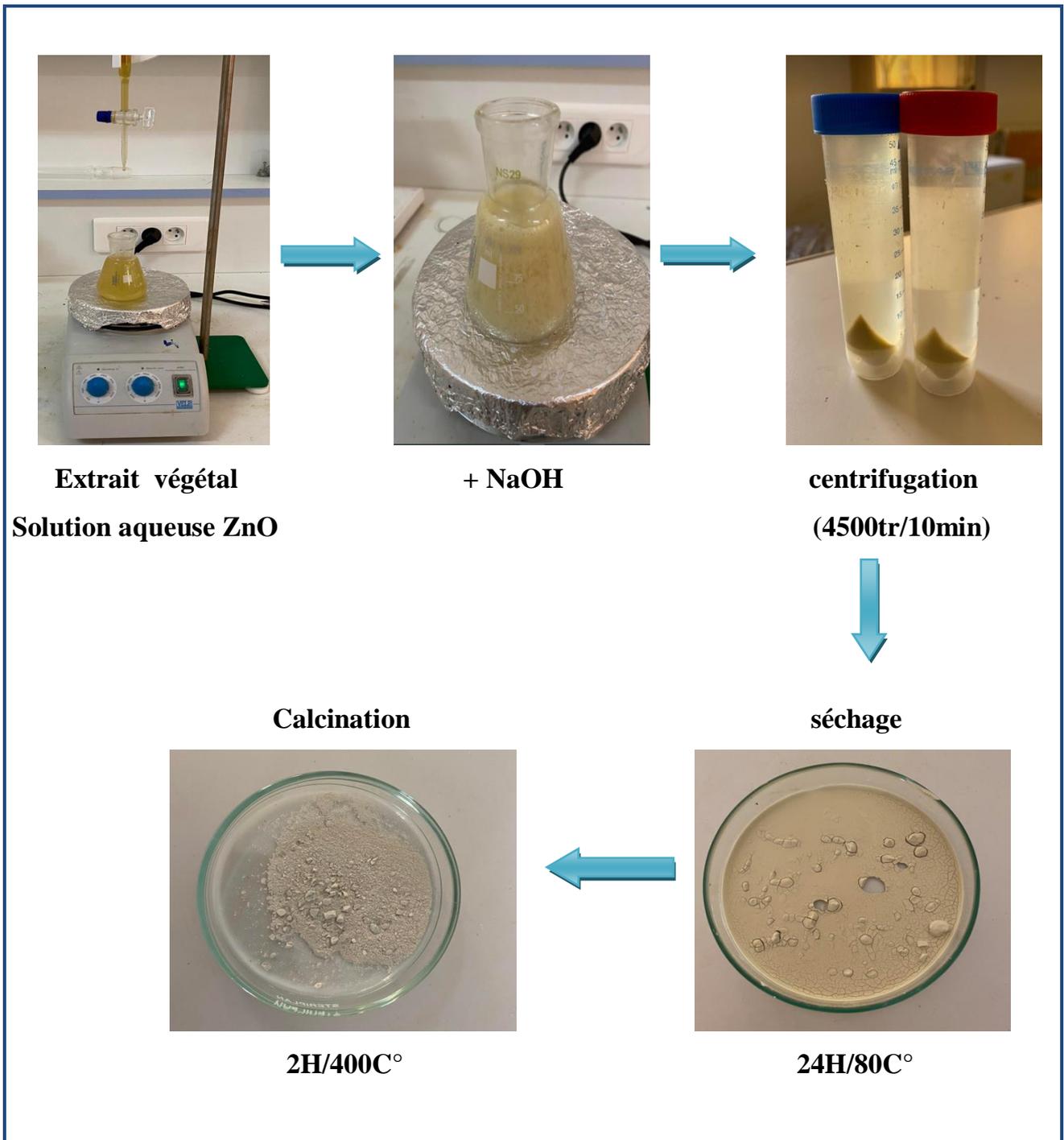


Figure II.8: les étapes de préparation des nanoparticules d'oxyde de zinc

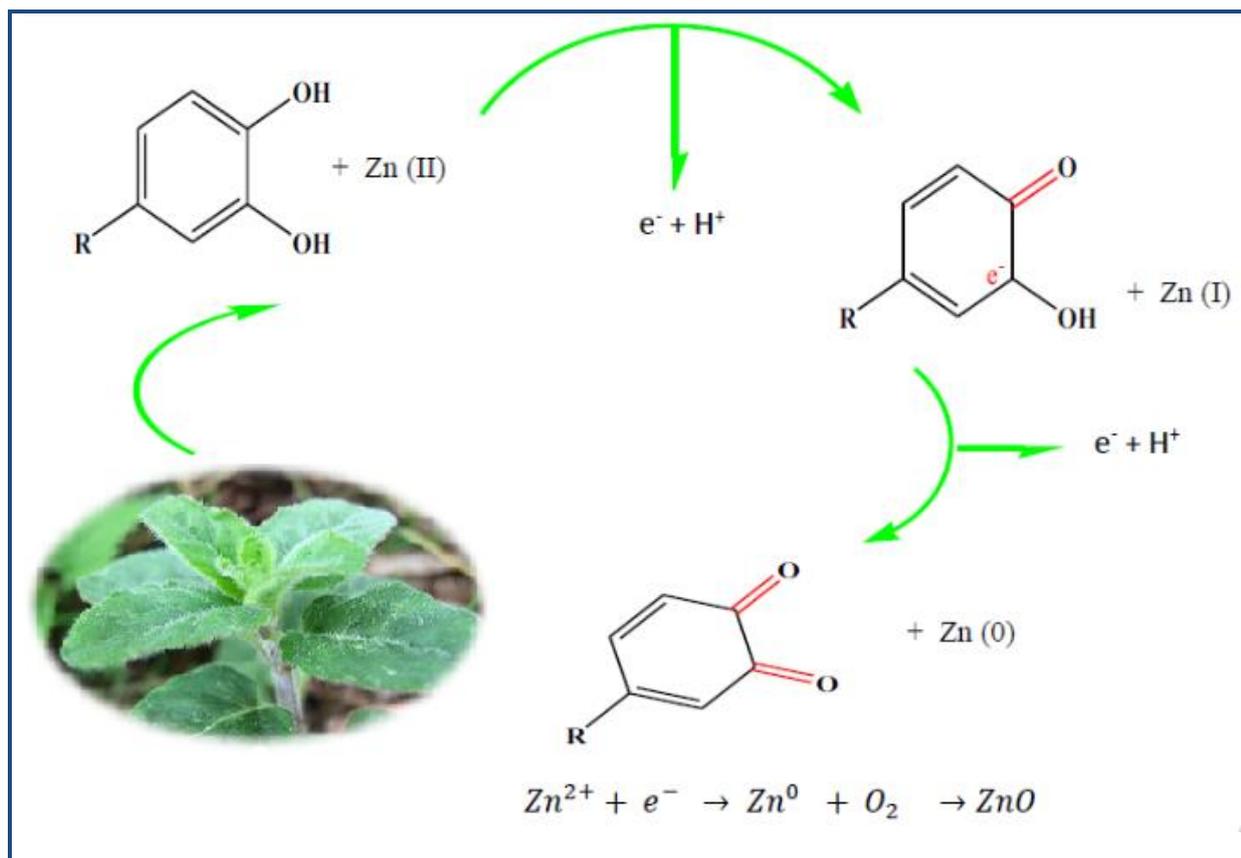


Figure II.9: Mécanisme supposé de la synthèse des NPs d'oxyde de zinc à partir de l'extrait de feuilles de la *M. aquaticus*

II.7. Test photocatalytique :

L'évaluation des propriétés photocatalytiques des poudres synthétisées se fait par utilisation du bleu de méthylène comme un polluant dans le laboratoire de chimie à l'Université Belhadj Bouchaïb Ain Temouchente.

II.7.1. Photo-catalyseurs :

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

II.7.2 Type d'irradiation utilisé :

Dans cette étude nous allons utiliser une source d'irradiation naturelle. Le rayonnement solaire reçu par la terre est un rayonnement électromagnétique composé essentiellement : d'ultraviolet (UV) [200 – 400 nm], de visible (vis) [400 – 800 nm] et d'infrarouge (IR) [800 – 1400 nm].

II.7.3. Protocole expérimental :

Tout d'abord, 0,015 g de nanoparticules préparés (NPS) sont dispersées dans 20 ml d'une solution de bleu de méthylène de concentration 10^{-5} mol/L, la suspension obtenue de (BM, NPS) est agitée dans l'obscurité pendant 30 minutes pour assurer l'équilibre d'adsorption / désorption. Après l'équilibre ($t = 0$ min), la suspension (BM, NPs) a été exposé sous irradiation solaire de 11h00 à 14h00 . Pendant l'irradiation, 4 ml de suspension sont prélevés après 30 min, 60 min et 2h respectivement à l'aide d'une seringue jetable et centrifugés pour séparer les deux phases (BM, NPS). Finalement, l'absorbance de la solution extraite est mesurée par un spectrophotomètre d'absorption UV-vis dans la gamme de [200 – 800 nm]. Pour plus de clarté, la plupart de toutes les étapes sont présentées dans un diagramme comme illustré dans la **Figure II.10** .

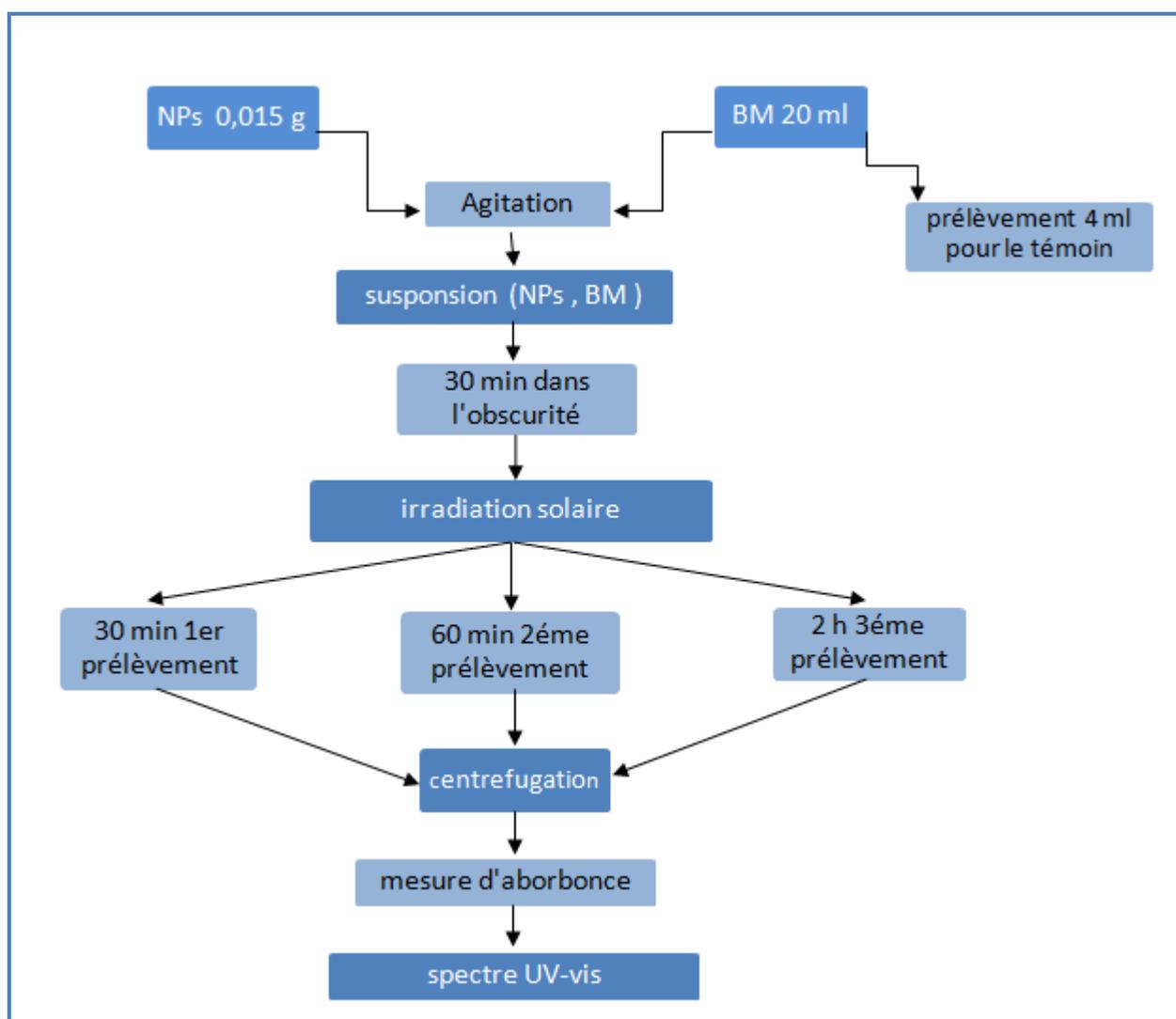


Figure II.10: les étapes de test photocatalytique.

II.8. Test antibactérien :

L'évaluation des propriétés antibactériennes des poudres synthétisées a été réalisée dans laboratoire de Biologie à l'Université Bel hadj Bouchaib Ain Temouchente.

II.8.1. Souches bactériennes :

Des souches bactériennes de Gram positive tels que *Staphylococcus aureus* [ATCC : 43300], *Staphylococcus aureus* [ATCC : 25930] et de Gram négative comme *E.coli*, *P.acip22* ont été sélectionnées comme modèles de contamination bactérienne.

II.8.2. Agents antimicrobiens :

Les nanoparticules de ZnO synthétisées par la méthode biologique ont été utilisées comme des agents antimicrobiens inorganiques.

II.8.3. Protocole expérimental :

La méthode de diffusion sur disque « agar » a été utilisée pour évaluer l'efficacité antibactérienne des poudres synthétisées et pour mesurer la zone d'inhibition de croissance de quatre souches bactériennes. Les étapes de l'expérience peuvent être résumées comme suit :

1 /Préparation de milieu de culture (milieu solide) pour les bactéries :

- Mettre la gélose Muller-Hinton dans un bain marie.
- Couler le milieu (M-H) dans les boites pétris et laisser-le refroidir avant utilisation.

2/ Préparation de l'inoculum de la suspension bactérienne.

3/ Étaler l'inoculum de bactéries sur les boites de pétri, contenant Muller-Hinton.

4/ prendre quelques milligram de poudre synthétisée (NPs de ZnO) et le mettre sur les bactéries dans le centre de pétri.

5 / Incuber les boites à 37 °C pendant 24 h dans l'étuve.

6/ Mesurer la zone d'inhibition.

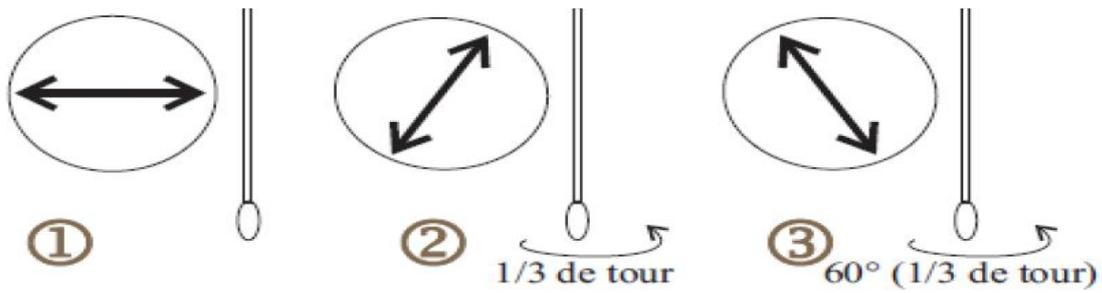


Figure II.11 : méthode d'ensemencement de bactérie sur la boîte pétri.

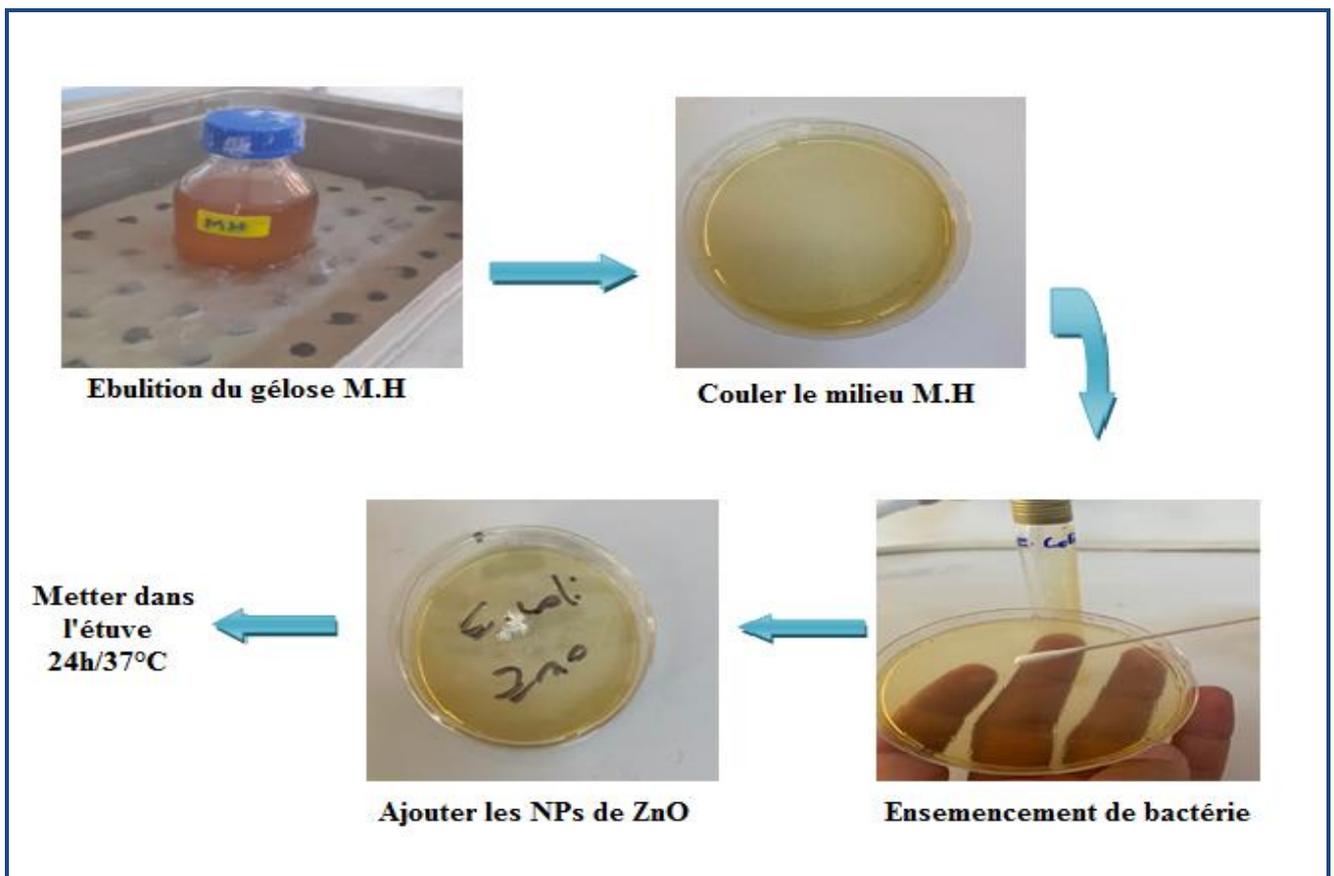


Figure II.12: les étapes d'évaluation l'activité antibactérien des NPs de ZnO sur disque agar.

II.9. Techniques expérimental d'analyse:

La partie la plus importante de la recherche sur les NPs est la caractérisation qui est généralement basée sur la taille, la morphologie, la cristallinité, la charge et la composition des NPs. Les techniques les plus utilisées pour la caractérisation des NPs comprennent généralement la spectroscopie ultraviolette visible (UV-Vis), Microscopie électronique à balayage (MEB), la Diffraction des rayons X (DRX), la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR).

II.9.1. Spectroscopie UV-visible :

La spectroscopie UV-Visible est la méthode incontournable et la plus simple d'utilisation dans l'identification des NPs métalliques. En effet, les nanoparticules métalliques (argent, cuivre, Zinc) présentent des propriétés optiques particulières liées à un effet classique d'exaltation du champ électrique, souvent appelé confinement diélectrique[15]. Les spectres d'absorbance d'échantillons contenant des nanoparticules métalliques ont systématiquement observés dans les études.



Figure II.13: Appareil d'UV-Visible de l'université d'Ain temouchent.

II.9.1.1. Principe de fonctionnement :

Le principe consiste à exciter l'échantillon avec une source de lumière blanche et à recueillir l'intensité transmise par l'échantillon 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 se compose d'une source lumineuse (lampes) qui permet des émissions continues sur toute la gamme de longueur d'onde *d'UV - vis*, d'un

monochromateur pour sélectionner la longueur d'onde, d'un photomètre pour séparer la lumière en deux faisceaux, d'un photodétecteur, d'un amplificateur et d'un logiciel pour le traitement de signal. Les données sont généralement tracées comme une extinction en fonction de la longueur d'onde[16].

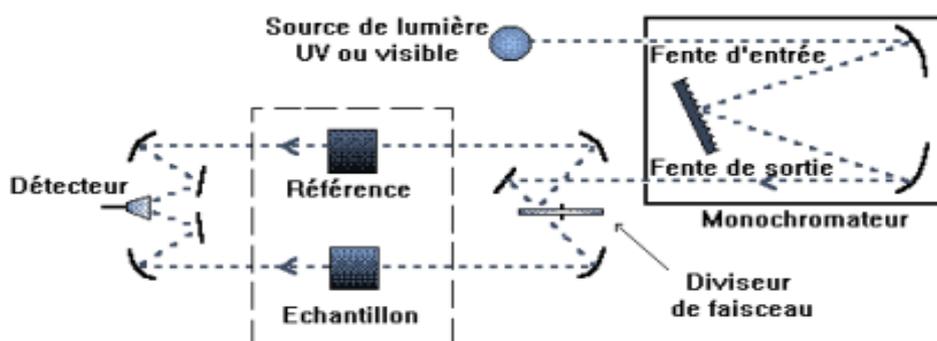


Figure II.14: Représentation schématique du spectrophotomètre UV-visible[16].

II.9.1.2. Absorbance de nanoparticules d'zinc :

Par rapport aux objets macroscopiques, les nanoparticules ont un numéro atomique plus élevé et donc plus d'électrons libres à la surface. L'excitation de la surface métallique par la lumière provoque une vibration collective des électrons de surface. Excitation d'électrons (P) Une résonance se produit et la longueur d'onde concernée est ainsi absorbée : c'est ce qui est observé dans le spectre UV-Vis[17].

II.9.2. Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR):

La spectroscopie FT-IR est une technique pour obtenir des informations sur Différents groupes fonctionnels à partir de positions de pointe dans le spectre. Information La reconnaissance et la stabilisation des nanoparticules peuvent également être lues à partir de cette analyse[18].

II.9.2.1. Principe de fonctionnement :

Le principe du FTIR est basé sur l'absorption d'un ou plusieurs rayonnements infrarouges Double faisceau pour l'échantillon à analyser. Il permet en détectant la fréquence de Propriétés vibrationnelles des liaisons chimiques pour l'analyse fonctionnelle chimique présent dans le matériau. Le faisceau infrarouge est dirigé vers l'interféromètre de Michelson, qui module Chaque longueur d'onde du faisceau de lumière diffère en fréquence. Dans ce dernier, regrouper La lumière incidente est divisée en deux parties par le séparateur. Ces deux

parties refléteront Sur les miroirs, l'un est fixe et l'autre mobile. Lorsque les deux faisceaux se recombinent, Des interférences destructives ou constructives se produisent en fonction de l'emplacement Miroir amovible. Le faisceau modulé est ensuite réfléchi vers l'échantillon à partir de deux miroirs, où L'absorption se produit. Le faisceau atteint alors le détecteur et est converti en signal électrique.

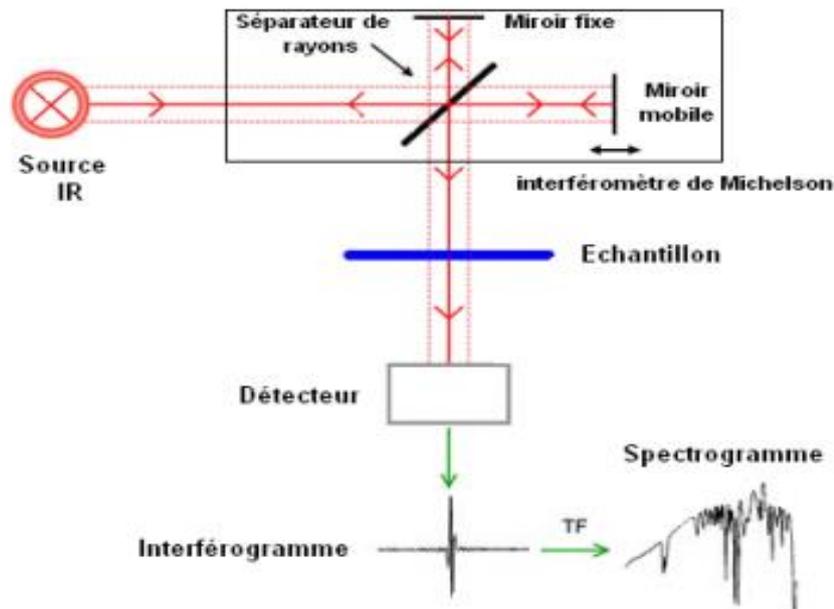


Figure II.15: Illustration schématique d'un système FTIR[19].

II.9.3. Microscopie électronique à balayage MEB :

Le MEB ou SEM (Scanning Electron Microscopy) est une technique de microscopie électronique qui basé sur le principe de l'interaction des électrons avec la matière pour produire des images haute résolution des surfaces. Un MEB consiste en un faisceau d'électrons qui balaye la surface de la particule à analyser. Ces particules sont analysées par différents détecteurs, ce qui permet de reconstruire une image 3D de la surface[20].

II.9.3.1. Principe de fonctionnement :

Un microscope électronique à balayage fonctionne en synchronisant le mouvement du faisceau d'électrons sur l'échantillon avec le mouvement du faisceau d'électrons sur l'écran cathodique. La luminosité du spot est modulée par un signal issu d'un détecteur spécifique issu de l'interaction du faisceau principal avec le matériau.

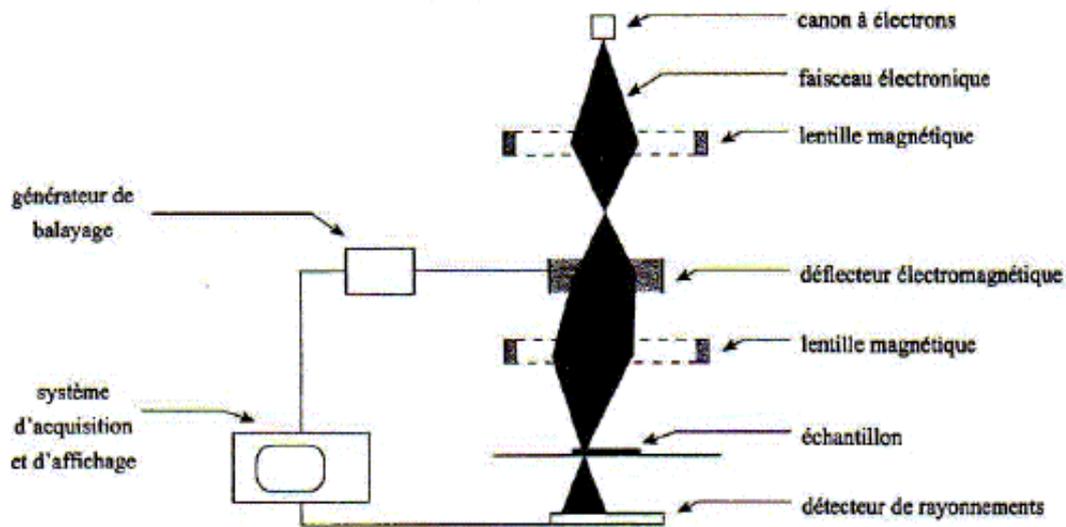


Figure II.16: Représentation schématique du MEB[21].

II.9.4. 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[22].

II.9.4.1. Principe de fonctionnement :

Lors d'une analyse par cette technique, un faisceau de rayons X monochromatique, émis par une source de radiation $CuK\alpha$, est envoyé sur l'échantillon à analyser sous un angle θ (Figure II.16), et un détecteur reçoit le faisceau de rayons X diffracté par cet échantillon cristallin et on enregistre l'intensité I en fonction de l'angle de diffraction 2θ . Lorsque la loi de Bragg est vérifiée, un pic de diffraction correspondant à la famille de plans atomiques cristallins est obtenu sur le diffractogramme ($I, 2\theta$) [23].

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

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 et n l'ordre de la diffraction[24].

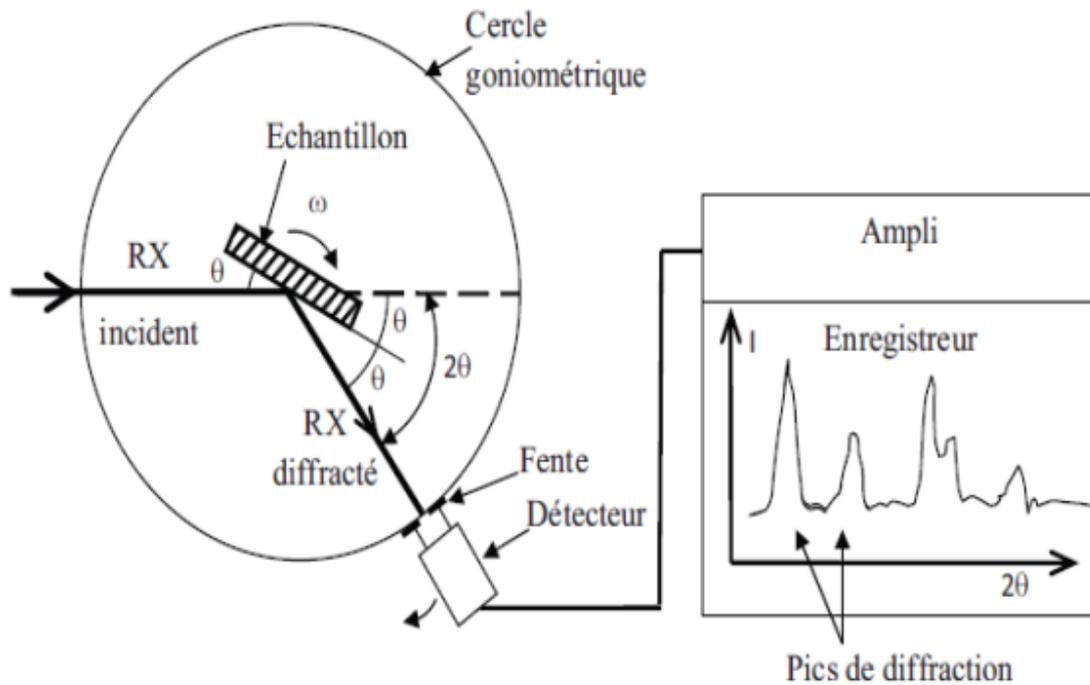
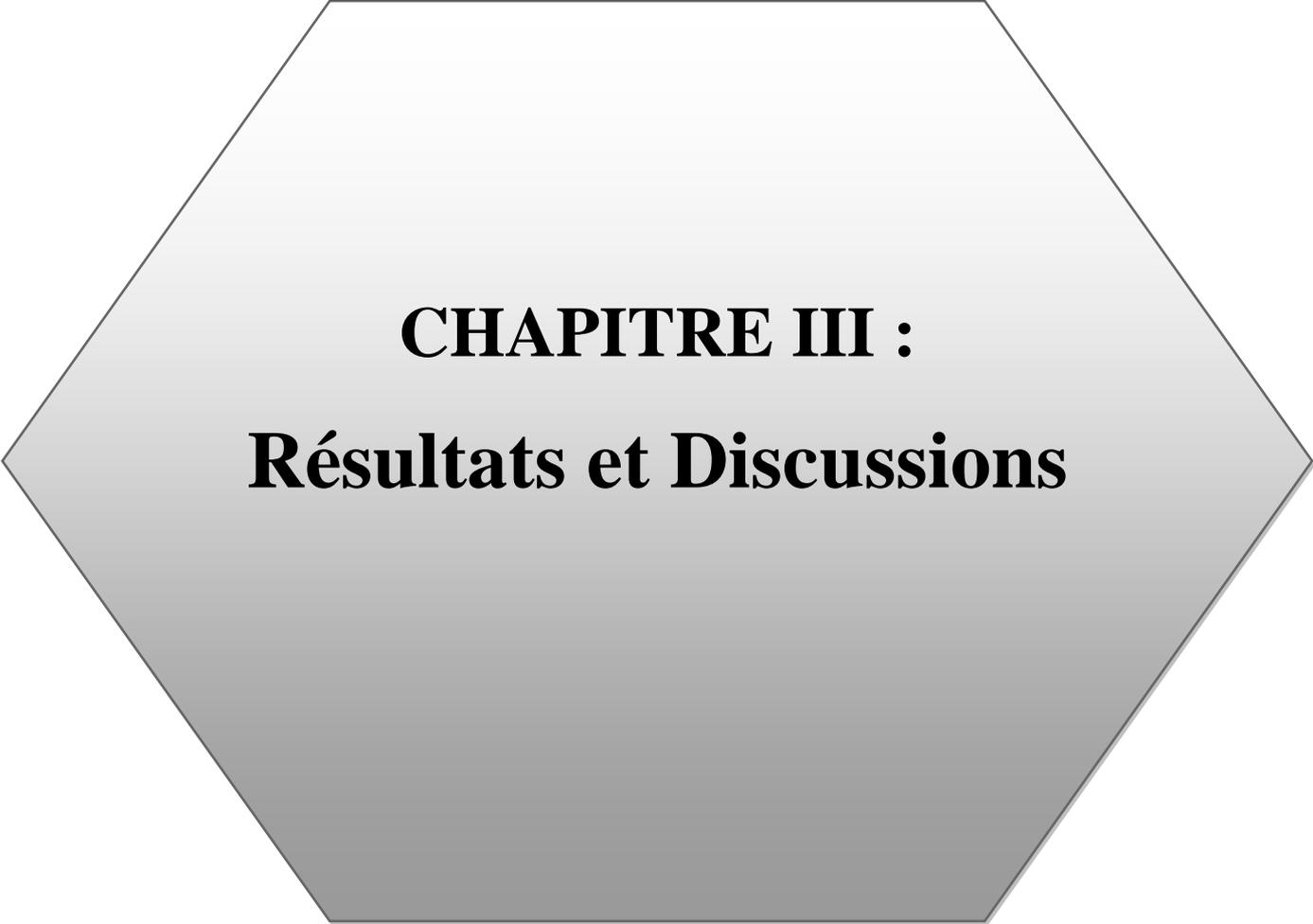


Figure II.17: Représentation schématique des conditions de la loi de Bragg, diffraction de rayons X par une famille de plans atomiques cristallins[23].

Référence du chapitre III :

1. <https://www.aquaportail.com/fiche-plante-2764-mentha-aquatica.html>.
2. Guillard, C., B. Kartheuser, and S. Lacombe, *La photocatalyse: dépollution de l'eau ou de l'air et matériaux autonettoyants*. Tech. Ing. Génie Procédés Prot. Environ, 2011.
3. Colmenares, J.C. and R. Luque, *Heterogeneous photocatalytic nanomaterials: prospects and challenges in selective transformations of biomass-derived compounds*. Chemical Society Reviews, 2014. 43(3): p. 765-778.
4. Chong, M.N., et al., *Recent developments in photocatalytic water treatment technology: a review*. Water research, 2010. 44(10): p. 2997-3027.
5. Benzitouni, S. and M. Zaatat, *Etude des propriétés optiques, mécaniques, antibactériennes et photocatalytiques des nanostructures à base d'oxyde métalliques "ZnO"*, 2018, université oum el bouaghi.
6. Huang, N., et al., *One-step pyrolytic synthesis of ZnO nanorods with enhanced photocatalytic activity and high photostability under visible light and UV light irradiation*. Journal of Alloys and Compounds, 2015. 648: p. 919-929.
7. Babuponnusami, A. and K. Muthukumar, *Advanced oxidation of phenol: a comparison between Fenton, electro-Fenton, sono-electro-Fenton and photo-electro-Fenton processes*. Chemical Engineering Journal, 2012. 183: p. 1-9.
8. Zhang, J., et al., *Mechanism of photocatalysis*. Photocatalysis: Fundamentals, Materials and Applications, 2018: p. 1-15.
9. Cenens, J. and R. Schoonheydt, *Visible spectroscopy of methylene blue on hectorite, laponite B, and barasym in aqueous suspension*. Clays and Clay Minerals, 1988. 36: p. 214-224.
10. Bolotin, P., S. Baranovsky, and M. Evstigneev, *Spectrophotometric investigation of the hetero-association of Caffeine and thiazine dye in aqueous solution*. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2006. 64(3): p. 693-697.
11. Beer, R., *Pocket atlas of endodontics*. 2006: Thieme.
12. Benamraoui, F., *Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture*, 2018.

13. Amarah, J.O.M., *Removal of Methylene Blue from Industrial Wastewater in Palestine Using Polysiloxane Surface Modified with Bipyrazolic Tripodal Receptor*, 2015.
14. Saidi, F.Z., *Elimination du Bleu de Méthylène par des Procédés d'Oxydation Avancée*, 2013.
15. Low, L.W., et al., *Adsorption studies of methylene blue and malachite green from aqueous solutions by pretreated lignocellulosic materials*. *Separation Science and Technology*, 2013. 48(11): p. 1688-1698.
16. Chetouane, K., K. Ghaddar, and S.E. Kouras, *ETUDE CINETIQUE DE LA DEGRADATION PHOTOCATALYTIQUE ET PHOTOINDUITE DU COLORANT BLEU DE METHYLENE EN SOLUTION AQUEUSE*, 2021, université de jijel.
17. Skoog, D.A., F.J. Holler, and S. Crouch, *Principles of instrumental analysis*. Thomson Brooks. Cole, Canada, 2007.
18. Taabouche, A. and A. Bouabellou, *Contribution à l'étude structurale et microstructurale de films de ZnO obtenus par ablation laser*. 2017.
19. Taabouche, A. and A. Bouabellou, *Etude structurale et optique de films minces ZnO élaborés par voie physique et/ou chimique*. 2017.
20. Vaufrey, D., *Réalisation d'OLED à émission par la surface: optimisation de structures ITO/semiconducteurs organiques*, 2003, Ecully, Ecole centrale de Lyon.
21. Sun, Y., et al., *Synthesis and photoluminescence of ultra-thin ZnO nanowire/nanotube arrays formed by hydrothermal growth*. *Chemical Physics Letters*, 2006. 431(4-6): p. 352-357.
22. HAFRI, S., *Etude de la croissance des nanostructures de ZnO déposées par la technique spray ultrasonique*, 2015, Université Mohamed Boudiaf des sciences et de la technologi.
23. Maniguet, L., et al., *Principes de base et évolution de la microscopie électronique à balayage*. 4ème Journée Scientifiques et Techniques du Réseau des Microscopistes de l'INRA, 2013.
24. Chibane, Y.A., C. Bencharif, and S. Benzitouni, *Synthèse et caractérisation des nanoparticules de ZnO*. 2020.
25. Rahmane, S., *LABORATION ET CARACTERISATION DE COUCHES MINCES PAR SPRAY PYROLYSE ET PULVERISATION MAGNETRON*, 2008, Université Mohamed Khider Biskra.
26. Aida, M. and N. Bouhssira, *Elaboration des films minces d'oxyde de zinc par évaporation et par pulvérisation magnétron et étude de leurs propriétés*. 2017.



CHAPITRE III :
Résultats et Discussions

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons la discussion des résultats obtenus à partir de la caractérisation des nanoparticules de d'oxyde de zinc synthétisés par méthode verte. Ainsi, les résultats de cette étude peuvent être obtenus de différentes manières. De plus nous avons évaluée la performance de ces nanoparticules par des tests d'activité antibactérienne et photocatalytique.

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

III.2.1. Caractérisation par spectrophomètre ultraviolet –visible :

Le spectre d'absorption de la lumière *UV – vis* des *NPs* de *ZnO* été explorés dans la plage de 350 à 800 nm et présentés dans la **Figure III.1**

Comme nous pouvons le voir sur cette figure, l'échantillon présentent un bond d'absorption clair dans la région *UV* à $\sim 380\text{ nm}$, ce qui correspond à l'absorption fondamentale de semi-conducteur *ZnO*. L'absorption fondamentale de *ZnO* se réfère au transfert d'électron de la bande de valence (principalement formée par les orbitales 2P des anions $\text{O}^{2-} / \text{O} : 1s^2 2s^2 2p^4$) vers la bande de conduction (principalement formée par les orbitales 4S des cations $\text{Zn}^{+2} / \text{Zn} : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2$). Le résultat est accordé avec littérature[1].

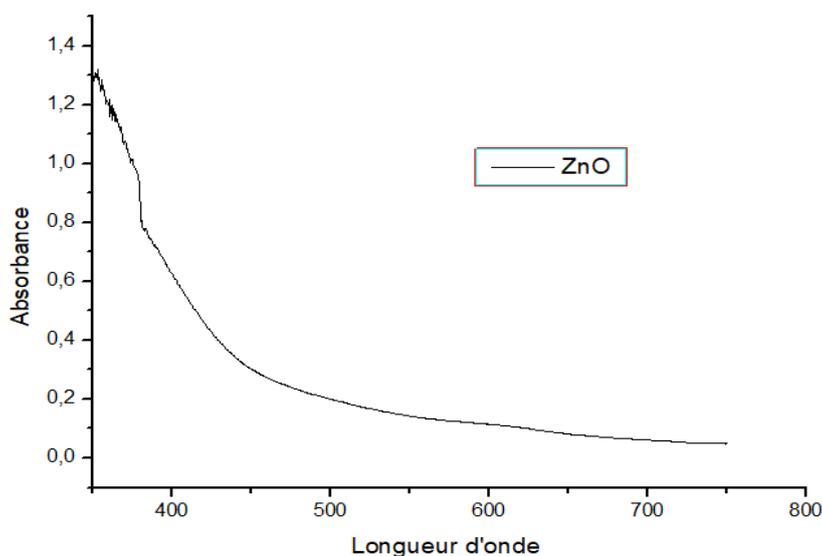


Figure III.1 : Le spectre d'absorbance de la lumière *UV – vis* des *NPs* de *ZnO*.

III.2.2. Caractérisation par diffraction des rayons X (DRX) :

La **figure III.** Présente le spectre de diffraction des rayons X des NPs de ZnO. Dans cette figure on observe d'une part trois pics intenses à degré 2θ : $32,25^\circ$, $34,98^\circ$ et $36,79^\circ$ ont été observés qui correspondent respectivement aux plans : (100), (002) et (101) Ils ont confirmé l'existence de NPS ZnO. nous pouvons observer l'écart de position de pointe par rapport aux données de référence du ZnO ayant la carte JCPDS N° 36-1451 (Joint Committee Powder Diffraction System). En outre des pics de diffraction sont indexés rugueux et étroits indiquent que le produit a une bonne structure cristalline de propriétés hexagonale de type würtzite. Le résultat est accordé avec littérature[2].

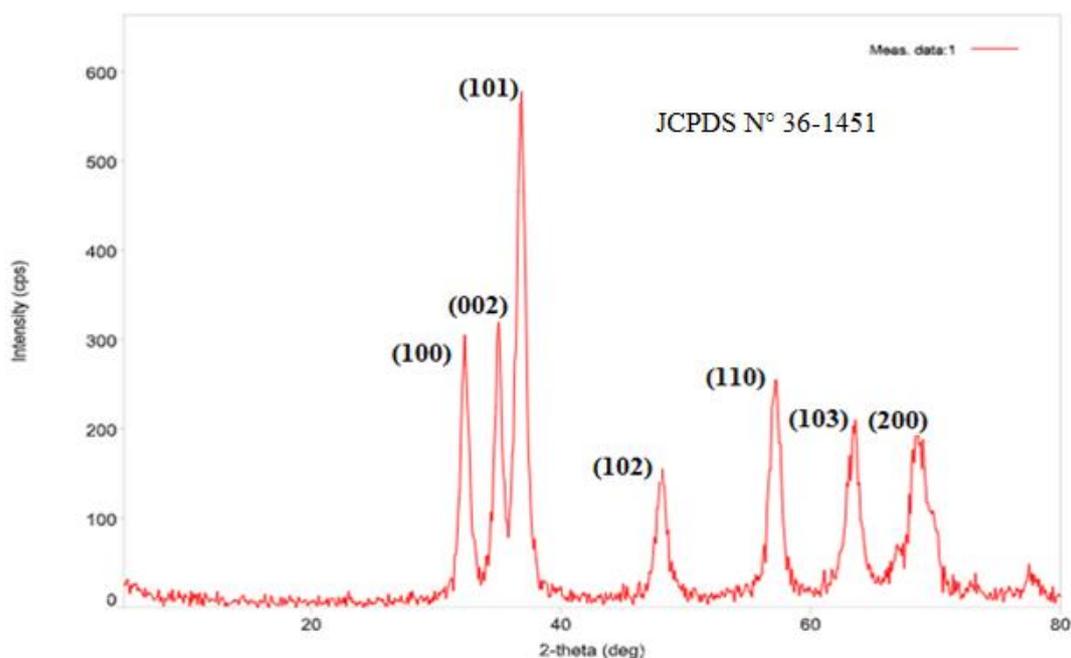


Figure III.2 : Diffraction des rayons X des nanoparticules de ZnO.

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

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

La dégradation photocatalytique du *BM* sous le rayonnement solaire naturel a été appliquée pour évaluer l'activité photocatalytique des nanoparticules d'oxyde de zinc préparées. Pour la comparaison, les tests photocatalytiques sont réalisés dans les mêmes conditions expérimentales. la concentration de *BM* extrait de la solution aqueuse après l'action des nanoparticules de ZnO a changé avec le temps sont surveillées en détectant le changements d'absorption maximale dans le spectre *UV – vis* à 664 nm .

III.3.1.1. La photocatalyse par les nanoparticules de ZnO :

Tout d'abord, nous avons étudié la photocatalyse du bleu de méthylène par les nanoparticules de ZnO . La **Figure III.4 (a)** montrent la variation temporelle des spectres d'absorption de *UV – vis* sans et avec les NPs de ZnO sous un rayonnement solaire pendant 120 min . Dans les deux cas, le pic d'intensité l'absorption de bleu de méthylène à 664nm diminue progressivement avec le temps, confirmant le vieillissement du groupe chromosphérique de *BM*. Après 120min , le pic d'absorption de *BM* est presque nulle, indiquent le changement complet de couleur de l'eau par le photocatalyseur. De plus, la réduction de l'intensité du couleur bleu d'eau à presque transparent présenter sur la photographie numérique (**Figure III.4 b**) à cause de la dégradation du groupe auxochrome (méthyle ou méthylamine). le résultat est accordé avec littérature[3].

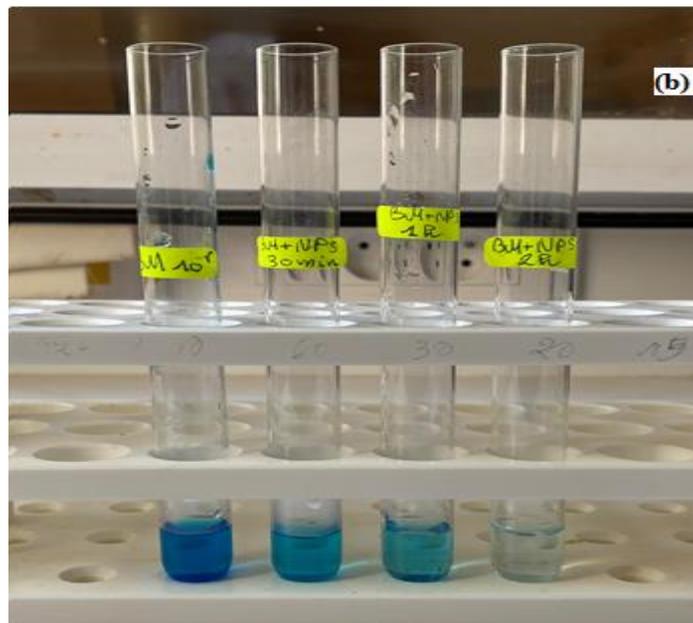
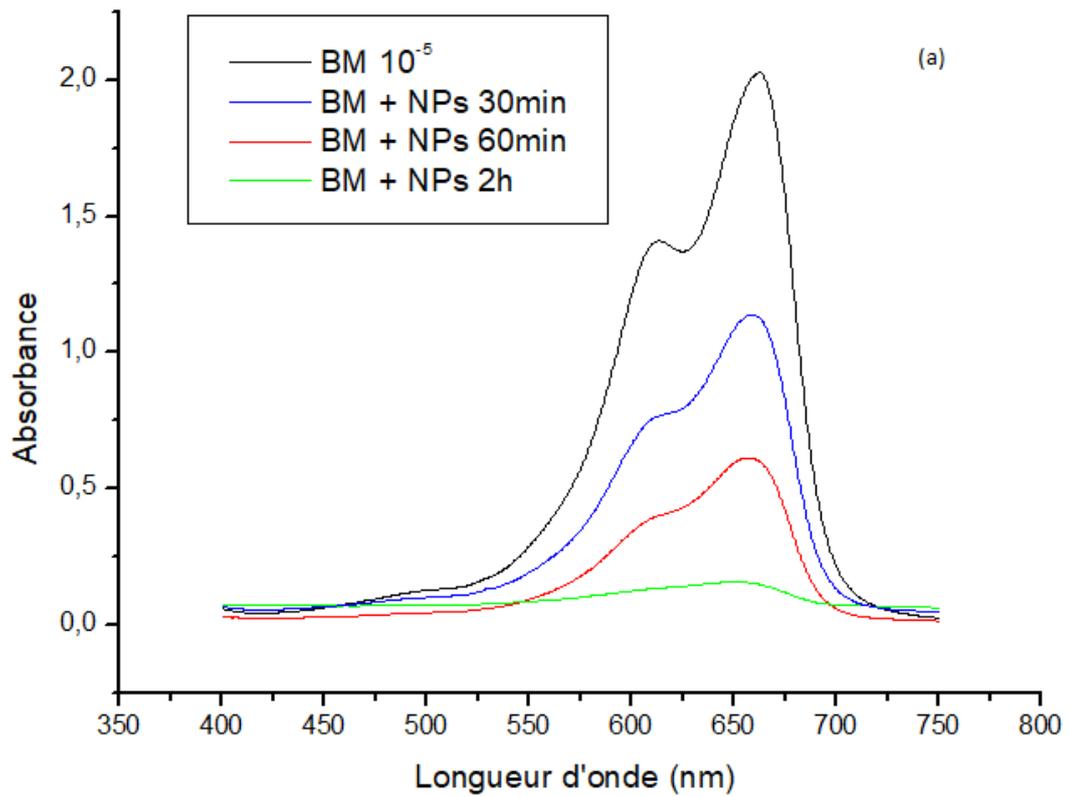
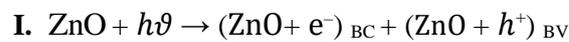


Figure III.4 : (a) Variation temporelle des spectres d'absorbance *UV – vis* de *BM* (sans et avec effet des *NPs* de *ZnO*), sous irradiation solaire. (b): photographie numérique montrant le changement de couleur du *BM* en fonction du temps à l'effet des *NPs* de *ZnO*.

III.3.1.2. Mécanismes de l'activité photocatalytique de ZnO :

Selon les résultats expérimentaux mentionnés ci-dessus, de mécanisme possible de dégradation photocatalytique de BM par les nanoparticules de ZnO sous irradiation de la lumière solaire ($UV - Vis$) sont proposé sur la **Figure III.5**.

Après la photo-excitation des *NPs* de ZnO par la lumière solaire (rayonnement *UV*), les paires électron/trou (e^- , h^+) ont été générés en transférant un électron de la bande de valence à la bande de conduction de ZnO. Par la suite, les photogénérés (e^- , h^+) diffuseraient vers les surfaces du nanoparticule. Cependant, ces paires électron/trou peuvent soit se recombiner en dissipant l'énergie sous forme de chaleur, soit être utilisées pour induire une oxydation sur les surfaces des *NPs* pour former des radicaux hydroxyle et oxygène[4, 5].



Les électrons et les trous séparés peuvent être consommés pour former des radicaux $O^{-2\bullet}$ et OH^\bullet très réactifs. Ces radicaux libres peuvent ensuite minéraliser les polluants organiques et dégrader leurs structures en dioxyde de carbone et en eau (CO_2 et H_2O) en tant que produits finaux. La dégradation photocatalytique de BM peut être résumée comme suit[6]:

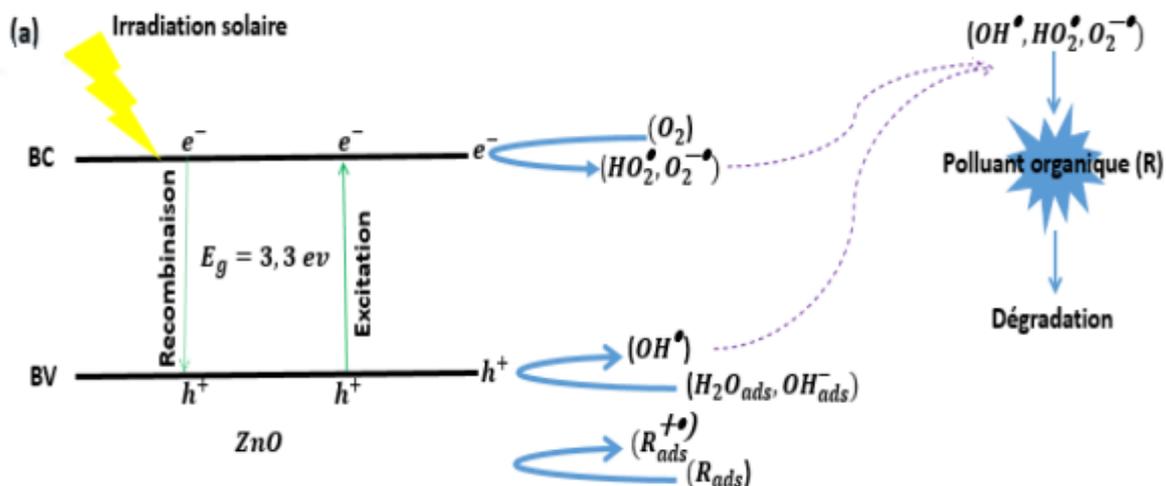
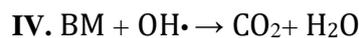
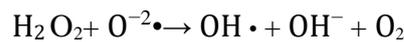
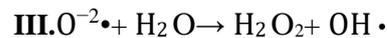


Figure III.5: Diagramme de bande d'énergie avec mécanisme photocatalytique proposé, sous irradiation de la lumière solaire[6].

III.3.2. Évaluation de l'activité antibactérienne des NPs de ZnO synthétisées :

L'activité antibactérienne des poudres synthétisées contre quatre souches bactériennes a été évaluée par la méthode de diffusion sur disque (agar). La figure III.6 montre des images numériques de l'activité antibactérienne des nanoparticules de ZnO et les mesures de la zone d'inhibition sont présentées dans le tableau III.1.

les NPs de ZnO posséder une bonne activité bactéricide, dans les tests expérimentaux 3 de 4 bactéries choisies sont affectées par la poudre synthétisée. les zones d'inhibition maximales ont été mesurées. On observe une efficacité antibactérienne remarquable contre les bactéries à Gram négative comme *E. coli* (35 mm), *P. acip* (23 mm) qui sont recouvertes par une couche cellulaire fine de Peptidoglycane. Cette disposition peut faciliter l'accès des ions libérés de NP dans les cellules. Par contre la mesure de zone d'inhibition des souches bactériennes à Gram positif *Staphylococcus aureus* [ACCP 43300] (15 mm) et *Staphylococcus aureus* [ACCP 25932] (0 mm) montrée une activité antimicrobienne plus faible, cette bactérie est connue par sa grande résistance à cause de sa surface cellulaire qui est plus épaisse par rapport aux bactéries à Gram négative.

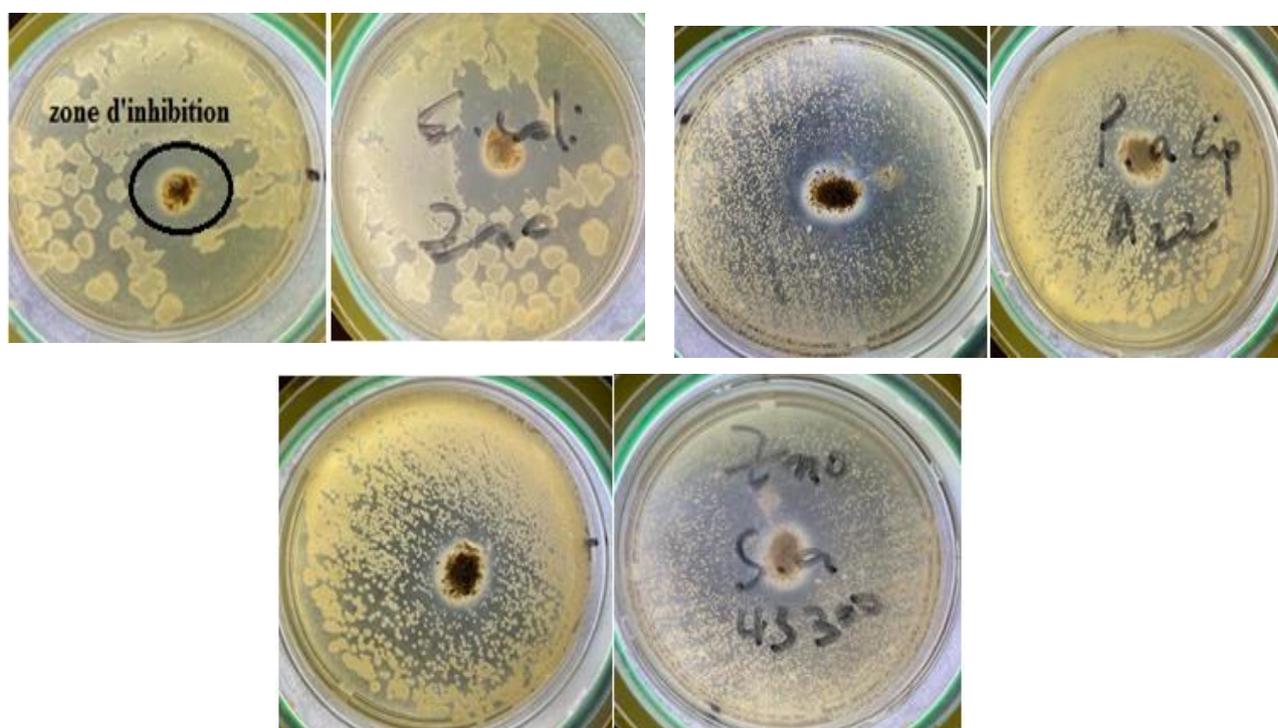




Figure III.6 : Images photographiques montrant les zones d'inhibitions produites par des Poudres synthétisées.

Tableau III.1: Les diamètres des zones d'inhibition en (mm).

Souches bactériennes	Gram négative		Gram positive	
	E. coli	P.acip 22	S.a 25930	S.a 43300
Zone d'inhibition	35mm	23mm	0	15mm

III.4.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous concluons que nous avons réussi à synthétiser des nanoparticules de ZnO par méthode verte à l'aide des feuilles de la menthe aquatique . Nous avons prouvé le succès de ce travail avec des résultats obtenus par différents techniques de caractérisation Et nous l'avons appliqué dans la photocatalyse et l'activité antibactériens leur efficacité était bonne.

Références du chapitre III :

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. Chibane, Y.A., C. Bencharif, and S. Benzitouni, *Synthèse et caractérisation des nanoparticules de ZnO*. 2020.
4. Udayachandran Thampy, U., et al., *Enhanced photocatalytic activity of ZnO–NiO nanocomposites synthesized through a facile sonochemical route*. SN Applied Sciences, 2019. **1**: p. 1-15.
5. Prakoso, S., et al. *The influence of narrow optical gap silver oxide on zinc oxide nanoparticles produced by microwave-assisted colloidal synthesis: photocatalytic studies*. in *Journal of Physics: Conference Series*. 2016. IOP Publishing.
6. Kandjani, A.E., et al., *Controlling core/shell formation of nanocubic p-Cu₂O/n-ZnO toward enhanced photocatalytic performance*. Langmuir, 2015. **31**(39): p. 10922-10930.

Conclusion Générale :

Dans ce travail de mémoire nous avons élaboré et caractérisé des nanoparticules (NPs) d'oxyde de zinc (ZnO) par méthode biologique à l'aide des feuilles de la plante menthe aquatique. L'objectif principal de ce mémoire se concentre sur la synthèse des NPs par méthode verte non toxique à haute rendement et respectueux d'environnement et d'étudier leurs activité photocatalytique et antibactérienne, Cela aide à lutter contre la pollution de l'eau et la propagation des bactéries.

Parmi les différents techniques de caractérisation l'étude par DRX a montré que les (NPs) ont été synthétisés en bonne qualité cristallines, avec une structure hexagonale de type würtzite. En outre, L'étude optique par le spectrophotomètre ultraviolet-visible a montré que l'absorption fondamentale de ZnO à la région 380 nm se réfère au transfert d'électron de la bande de valence vers la bande de conduction.

Nous avons évalué la performance de poudre synthétisé par utilisé comme catalyseur dans la dégradation de bleu de méthylène (BM) et comme agent antibactérienne contre des bactéries de Gram négative et de Gram positive, les résultats obtenus confirme la bonne efficacité des nanoparticules d'oxyde de zinc.

ملخص:

في هذه الدراسة، تم الحصول على جزيئات أكسيد الزنك النانوية في شكل مسحوق بالتخليق الأخضر باستخدام المستخلص الطبيعي لأوراق النعناع المائي. أولاً، تمت دراسة امتصاص أكسيد الزنك في منطقة 380 نانومتر. يظهر التحليل بالأشعة السينية الجودة البلورية الجيدة للمنتج مع قمم محددة جيداً على المستويات (002) و (100) و (101) المفهرسة على أنها بنية سداسية. أظهر مجهر المسح الإلكتروني أن حجم الجسيمات النانوية يتراوح ما بين 16 - 20 نانومتر، ثانياً، يتم تقييم هذا المسحوق المركب عن طريق الاختبارات التحفيزية الضوئية والمضادة للبكتيريا، والنتائج التي تم الحصول عليها كانت جيدة. يوفر استخدام مستخلص أوراق النعناع المائي عملية تخليق جزيئات نانوية منخفضة التكلفة وصدقة للبيئة.

Résume :

Dans cette étude, des nanoparticules de ZnO sous forme de poudre ont été obtenues par la synthèse verte utilisant l'extrait naturel de feuilles de menthe aquatique. Dans un premier temps, On a étudié l'absorption par UV-Vis dans la région 380 nm. DRX montre la bonne qualité cristalline du produit ZnO avec des pics très bien définis sur les plans (002), (100) et (101) indexés comme une structure hexagonale (würtzite). Le MEB a montré que les nanoparticules de synthèse. Dans un second temps l'évaluation de ces poudre synthétisé se fait par des tests photocatalytique et antibactérienne, les résultats obtenus sont bons. En conséquence, l'utilisation de l'extrait des feuilles de menthe aquatique offre un processus de synthèse des nanoparticules à faible coût et respectueux de l'environnement.

Abstract :

In this study, zinc oxide nanoparticles in powder form were obtained by green synthesis using the natural extract of water mint leaves. First, the absorption of par in the 380 nm region was studied. shows the good crystalline quality of the product with very well defined peaks on the (002), (100) and (101) planes indexed as a hexagonal structure. The showed that synthetic nanoparticles. In a second time the evaluation of these synthesized powder is done by photocatalytic and antibacterial tests, the results obtained are good. As a result, the use of water mint leaf extract offers a low-cost and environmentally friendly nanoparticle synthesis process.