



République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur
et de la recherche scientifique



Université echahid hamma lakhdar EL OUED

Faculté de la technologie

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention d'un diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie Chimique

Présenté par :

- Khedir Meriem
- Boukhalfa Sefyen

Thème

**Synthèses et caractérisation des nanoparticules
bimétalliques**

Soutenu le :29/09/2024

Devant le jury composé de :

| | | |
|--------------------|--------------------------|--------------------|
| Encadreur : | MCA.DJAMEL BARANI | UNIV.ELOUED |
| Président : | MCB.NACER CHAABIA | UNIV.ELOUED |
| Examineur : | PR.OMAR BEN MYA | UNIV.ELOUED |

Année universitaire : 2023-2024

Remerciements

"Qui ne remercie pas les gens ne remercie pas ALLAH"

Nous louons ALLAH avec une louange abondante et belle, et nous le bénissons en remplissant les cieux et la terre de sa générosité. Ensuite, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et notre profonde gratitude aux personnes suivantes :

Le Dr Djamel Barani, notre honorable superviseur, que ALLAH le préserve et prolonge sa vie. Nous le remercions pour sa bienveillance en supervisant ce mémoire, ainsi que pour ses conseils et ses orientations jusqu'à la fin et son achèvement.

Nous remercions les membres du comité d'examen, que ALLAH les préserve, pour leur gentillesse et leur générosité lors de la discussion de ce mémoire.

Nous tenons à remercier tous les enseignants respectables que nous n'oublions pas pour leur bonté, leur aide et leurs conseils tout au long de ces cinq années. Nous récoltons maintenant les fruits de nos efforts et des leurs, en commençant par le Dr. Hemmami Hadia, le Dr. Ben Mya Omar, la Dr. Ben Amor Ilham, le Dr. Zighoud El Aid, le Dr. Rouahna Nour Eddine, ainsi que tous les enseignants de la Faculté de Technologie et le personnel administratif. Nous les remercions tous individuellement.

Nous vous souhaitons le meilleur et nous demandons à ALLAH de préserver votre bien-être



Dédicace

Au nom d'Allah, que la prière et la paix soient sur le Mustafa et sur sa noble famille, Je dédie ce travail à mes chers parents, que ALLAH honore leurs visages, illumine leur chemin, préserve leur ombre et les protège. Que ALLAH me comble de leur bonté et de leur obéissance, et que rien de mal ne me touche en eux.

Je le dédie également à mes frères et sœurs, mes soutiens et mes repères solides qui ne vacillent pas. Que ALLAH les accorde en santé et en bien-être, les guide vers ce qu'Il aime et agréé, et qu'Il ne me montre aucun mal en eux. Que ALLAH protège leurs conjoints et leur descendance. Je tiens particulièrement à mentionner mon frère qui est comme un deuxième père pour moi. Que tu restes toujours sur le droit chemin, éclairé par ALLAH. Je le dédie également à ma sœur bien-aimée, ma deuxième mère. Que ALLAH lui accorde tout ce qu'elle désire et qu'Il protège sa famille.

Je le dédie également à la famille Khedir, des plus grands aux plus petits.

Je le dédie également à l'âme de mon cher oncle, Ahmed, que ALLAH ait son âme et l'accueille dans Son vaste paradis.

Je le dédie également aux épouses de mes frères, en particulier l'épouse de mon frère qui a tant attendu ma réussite, que la fin soit à la hauteur de ses attentes (Fatima).

Je le dédie également à mon cousin Hamza, à sa femme Khadidja et à leurs enfants (Anas et Maria). Que ALLAH les protège tous et les guide vers ce qu'Il aime et agréé.

Je dédie ce travail à mes amies de longue date et à mes chères amies, mes camarades d'études, que je nomme individuellement : Farah, Chaima Berretima, Rania, Sihem, Kenza Djerouni, Khouloud, Hanine Benzaoui, Asma Ben Sdira, Hanine Khalil, Hadil Boukhalfa, Doaa Oubbiche, Souheyla Guessoum, Anfal, Nidhal, Farha, Ahlem Dechri, Rabiaa, Nardjes Nasrat, et Sabrina Lobza. Je souhaite également le dédier à toutes celles que j'ai connues et à mes amies de résidence : Marwa Djemai, Besma, Kenza Boukhars, Marwa Ghwaini, Ikram Khoudre, Ikram Ammari, Ikram Limane, Shifa, Ahlam, Wisam, Iman, Wafa, Nour Haamdi, Fatima Dahnoun, Romaisa Babasaid et Donia Menacer

Je le dédie également à mes camarades d'études et à ma promotion qui obtiendront leur diplôme en 2024 dans la spécialité du génie chimique.

Je souhaite également le dédier au directeur des services universitaires, Djamel Gerisha, et à tous les employés de la résidence, en particulier Houssam, Bahir, Faisal, Al-Hawaidi, ami Al-Eid et ami Suleiman.

Je le dédie également à mes courageux compatriotes en Palestine occupée. Que ALLAH les libère de leur captivité et les protège.

Et enfin, je le dédie à mon neveu, Sino "Houssein". Que ALLAH le protège et veille sur lui. En conclusion, je me le dédie à moi-même, celle qui a travaillé dur et supporté beaucoup, et grâce à l'aide, la réussite et la guidance d'Allah, mes souhaits et aspirations se sont réalisés.



 *Meriem Khedir*



Dédicace

Nous remercions ALLAH Tout –Puissant qui nous a permis de mener à bien cette recherche scientifique et qui l’a inspiré avec santé bien-être détermination.

ALLAH merci , merci beaucoup , Nous adressons nos sincères remerciements et notre reconnaissance au professeur superviseur (DJAMEL BARANI) pour tous les précieux conseils et informations qu’ il nous a fournis et qui ont contribué à compléter le sujet de notre étude dans ses différents aspects .

Et n’oubliez pas de soumettre l’aimable formulaire à tous les professeurs et d’université respectés , Nous vous disons merci beaucoup pour tous vos efforts.

Merci infiniment à mes chers parents pour tout le soutien et l’encouragement qu’il m’ont apporté tout au long de mes études. Sans leur présence et leur soutien indéfectible , je n’aurais pas pu atteindre ce succès .

Je tiens à remercier mes frères et amis pour leur soutien inconditionnel et leur inspiration tout au long de mon parcours académique. Leur présence a été une source de force et de motivation pour moi .



 *Boukhalfa Sefyen*

Liste des figures

Chapitre 1 : Plantes et composés phénoliques

| | |
|---|----|
| Figure I.1 : Photo de la plante <i>Portulaca oleracea</i> | 6 |
| Figure I.2 : Feuilles et des fruits du <i>Trigonella foenum-graecum</i> L | 7 |
| Figure I.3 : Arbre de Neem indien (<i>Azadirachta Indica</i>) | 8 |
| Figure I.4 : <i>Thymus vulgaris</i> | 8 |
| Figure I.5: Classification des composés phénoliques..... | 9 |
| Figure I.6: Structure des polyphénols | 10 |
| Figure I.7 : Structure chimique de base et modèle de numérotation des flavonoïdes | 12 |
| Figure I.8 : Structure chimique du stilbène (resvératrol) | 12 |
| Figure I.9: Les formes mésomères du phénol | 13 |

Chapitre 2 : Propriétés et applications des nanoparticules

| | |
|--|----|
| Figure II. 1: Diagramme montrant la méthode de préparation d'une nanostructure de deux manières [3]..... | 18 |
|--|----|

Chapitre 3 : Techniques de caractérisations

| | |
|---|----|
| Figure III.1: Schéma simplifié des principaux composants d'un spectrophotomètre UV-Vis. 31 | |
| Figure III .2 : Schéma illustrant le principe du système UV-Vis | 32 |
| Figure III.3 : Dispositif de spectroscopie infrarouge | 33 |
| Figure III.4: Principe de fonctionnement de la spectroscopie FTIR | 34 |
| Figure III.5 : L'appareil à diffraction des rayons x | 34 |
| Figure III.6 : Schéma illustrant la diffraction des rayons X sur les plans cristallins..... | 35 |
| Figure III.7 : Microscope électronique à balayage (MEB) | 36 |
| Figure III.8 : Schéma du montage d'un Microscope à Balayage Electronique (MEB) | 36 |

Chapitre 4 : Synthèse et caractérisation de nanoparticules bimétallique

| | |
|--|----|
| Figure IV.1 : Schéma de diffraction des rayons X du ZnO et des NPs Mg@ZnO | 41 |
| Figure IV.2 : Spectres d'absorption UV-Vis du ZnO et des NPs Mg@ZnO..... | 41 |
| Figure IV.3 : Spectres FTIR du ZnO et des NPs Mg@ZnO | 42 |
| Figure IV.4 : Image MEB du ZnO et du Mg@ZnO | 43 |
| Figure IV.5 : Diagramme XRD des nanoparticules bi métalliques Ag-ZnO | 44 |
| Figure IV.6 : Spectre d'absorption UV-Vis des nanoparticules bi métalliques Ag-ZnO | 44 |

| | |
|--|----|
| Figure IV.7 : Spectres FTIR nanoparticules bi métalliques Ag-ZnO..... | 45 |
| Figure IV.8 : (a) Analyse EDX de la nanoparticule bi métallique Ag-ZnO, (b) Images MEB de la nanoparticule bi métallique Ag-ZnO | 46 |
| Figure IV.9 : Diagrammes de diffraction XRD du nanocomposite Ag-ZnO préparé dans l'extrait aqueux de feuilles | 47 |
| Figure IV.10 : UV-VIS des échantillons Ag-ZnO préparés à l'aide d'un extrait aqueux de feuilles de neem et d'un extrait de feuilles de neem à base d'éthanol..... | 48 |
| Figure IV.11 : Tracé de Tauc pour la mesure de la bande interdite. | 48 |
| Figure IV.12 : Spectres FTIR du neem pur et des nanocomposites Ag-ZnO utilisant l'extrait aqueux de feuilles de neem et l'extrait de feuilles de neem à base d'éthanol. | 49 |
| Figure IV.13 : Images MEB du nanocomposite Ag-ZnO synthétisé à l'aide d'un extrait aqueux de feuilles de neem. | 50 |
| Figure IV.14 : Diagrammes XRD des NCs ZnO-Ag, des NPs ZnO et des NPs Ag | 51 |
| Figure IV.15 : Spectre d'absorption UV-vis des NCs ZnO-Ag et ZnO pur | 51 |
| Figure IV.16 : Spectres FTIR de ZnO-Ag..... | 52 |
| Figure IV.17 : (a) Image TEM montrant les bandes de réseau du ZnO et de l'Ag, (b) : Spectre EDX obtenu à partir du MEB pour les NCs ZnO-Ag | 53 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau I.1 : Acides phénoliques : acides hydroxybenzoïques et hydroxycinnamiques..... | 11 |
|--|----|

Tables des matières

| | |
|---------------------------------|----------|
| Remercîments | i |
| Dédicace | ii |
| Dédicace | iii |
| <i>Liste des figures</i> | iv |
| <i>Liste des tableaux</i> | vi |
| Tables des matières..... | vii |
| Introduction | 1 |

PARTIE théorique

Chapitre 1 : Plantes et composés phénoliques

| | |
|---|----|
| 1. Introduction | 5 |
| 2. Les plantes étudiées | 5 |
| 2.1 <i>Portulaca oleracea</i> L..... | 5 |
| 2.1.1 La description botanique de la plante <i>Portulaca oleracea</i> : | 5 |
| 2.2 <i>Trigonella foenum-graecum</i> L..... | 6 |
| 2.2.1 Description botanique du <i>Trigonella foenum-graecum</i> L..... | 6 |
| 2.3 <i>Azadirachta indica</i> | 7 |
| 2.3.1. Description d' <i>Azadirachta indica</i> | 7 |
| 2.4 <i>Le Thym</i> | 8 |
| 2.4.1 Description botanique du thym | 9 |
| 3. Les composés polyphénoliques | 9 |
| 4. Classes principales des composés phénoliques | 10 |
| 4.1 <i>Acides phénoliques</i> | 10 |
| 4.1.1 Acides hydroxybenzoïques | 10 |
| 4.1.2 Acides hydroxycinnamiques | 10 |
| 4.2 <i>Flavonoïdes</i> | 11 |
| 4.3 <i>Les tanins</i> | 12 |
| 4.4 <i>Les stilbènes</i> | 12 |
| 5. Les propriétés chimiques des polyphénols | 12 |
| Conclusion..... | 13 |
| Références | 14 |

Chapitre 2 : Propriétés et applications des nanoparticules

| | |
|--|----|
| 1. Introduction | 18 |
| 2. Méthodes de préparation des nanoparticules..... | 18 |
| 2.1 <i>Méthodes chimiques</i> | 18 |

| | |
|---|----|
| ❖ Sol-gel : | 18 |
| ❖ Dépôt chimique en phase vapeur (CVD) : | 19 |
| ❖ Électrochimique : | 19 |
| 2.2 Méthodes physiques | 19 |
| ❖ Évaporation et condensation : | 19 |
| ❖ Dépôt sous vide : | 19 |
| ❖ Techniques de fragmentation et de broyage : | 19 |
| 2.3 Synthèse verte | 19 |
| 3. Propriétés des nanoparticules | 20 |
| 3.1 Propriétés optique..... | 20 |
| 3.2 Propriétés magnétique..... | 21 |
| 3.3 Propriétés électrique..... | 22 |
| 3.4 Propriétés catalytiques | 22 |
| 3.5 Propriétés Antimicrobiens | 22 |
| 3.6 Propriétés vibrationnelles..... | 23 |
| 4. Applications des nanoparticules | 23 |
| 4.1 Catalyse | 23 |
| 4.2 Imagerie médicale..... | 23 |
| 4.3 Thérapie anticancéreuse..... | 23 |
| 4.4 Électro catalyse..... | 24 |
| 4.5 Détection de gaz..... | 24 |
| 4.6 Applications environnementales | 24 |
| 5. Importance de la nanotechnologie | 24 |
| ❖ Avancées médicales : | 24 |
| ❖ Révolution de l'électronique et de l'informatique : | 24 |
| ❖ Amélioration des matériaux : | 25 |
| ❖ Efforts environnementaux : | 25 |
| ❖ Secteur de l'énergie : | 25 |
| ❖ Innovations industrielles : | 25 |
| Conclusion..... | 26 |
| Références | 27 |

PARTIE EXPERIMENTALE

Chapitre 3 : Techniques de caractérisations

| | |
|---|----|
| 1. Introduction | 31 |
| 2. Analyse spectrale de la lumière visible et ultraviolette (UV-Vis)..... | 31 |
| 3. Analyse spectrale infrarouge | 33 |
| 4. Diffraction des rayons x (XRD) | 34 |
| 5. Microscope électronique à balayage (MEB) | 35 |
| Conclusion..... | 37 |
| Références | 38 |

Chapitre 4 : Synthèse et caractérisation de nanoparticules bimétallique

| | |
|--|----|
| 1. Introduction | 40 |
| 2. Synthèse de nanoparticules de Mg@ZnO à partir de <i>Portulaca oleracea</i> | 40 |
| 2.1 Synthèse de nanocomposites Mg@ZnO..... | 40 |
| 2.2 Résultats et discussion | 40 |
| 2.2.1 Étude de la structure..... | 40 |
| 2.2.2 Études optique..... | 41 |
| 2.2.3 Études fonctionnels | 42 |
| 2.2.4 Études morphologiques | 42 |
| 3. Synthèse verte de nanoparticules bi métalliques Ag-ZnO à partir d'un extrait de feuille de <i>Trigonella foenum-graecum</i> | 43 |
| 3.1 Synthèse de nanoparticules bi métalliques Ag-ZnO | 43 |
| 3.2 Résultats et discussion | 43 |
| 3.2.1 Étude de la structure..... | 43 |
| 3.2.2 Études optique..... | 44 |
| 3.2.3 Études fonctionnels | 45 |
| 3.2.4 Études morphologiques | 45 |
| 4. Synthèse verte de nanoparticules bi métalliques Ag-ZnO à partir d'extraits de feuilles d' <i>Azadirachta indica</i> | 46 |
| 4.1 Synthèse de nanocomposites ZnO/CuO | 46 |
| 4.2 Résultats et discussion | 47 |
| 4.2.1 Étude de la structure..... | 47 |
| 4.2.2 Études optique..... | 47 |
| 4.2.3 Études fonctionnels | 48 |
| 4.2.4 Études morphologiques | 49 |

| | |
|---|-----------|
| 3. Synthèse verte et caractérisation de nanocomposites ZnO- Ag par <i>Thymus vulgaris</i> | 50 |
| 3.1 Synthèse de nanocomposites ZnO- Ag | 50 |
| 3.2 Résultats et discussion | 50 |
| 3.2.1 Étude de la structure..... | 50 |
| 3.2.2 Études optique..... | 51 |
| 3.2.3 Études fonctionnels | 51 |
| 3.2.4 Études morphologiques..... | 52 |
| Références | 53 |
| Conclusion générale..... | 54 |

A decorative horizontal frame with a scalloped, ornate border in a golden-brown color. The frame contains a light gray rectangular area where the text is placed.

Introduction générale

Introduction générale

Ces dernières décennies, les matériaux nanométriques ont suscité un vif intérêt en raison des effets de la taille quantique qui confèrent des propriétés uniques dans les domaines magnétique, optique, électrique et catalytique. Les nanoparticules d'oxydes de métaux de transition présentent des propriétés chimiques et physiques distinctes par rapport à leurs homologues de plus grande taille, et elles sont utilisées dans divers domaines tels que la chimie, la physique, la médecine, la biologie et la pharmacie [1].

La technique de synthèse verte est utilisée pour la fabrication de nanoparticules en utilisant des organismes microscopiques et des plantes. Cette méthode est considérée comme sûre, économique et respectueuse de l'environnement. Les plantes et les organismes microscopiques ont démontré leur capacité à absorber et à accumuler des ions minéraux inorganiques de leur environnement. Il est bien connu que les êtres vivants sont capables de synthétiser des nanoparticules à la fois à l'intérieur et à l'extérieur de leurs cellules. Les systèmes biologiques peuvent utiliser leurs processus chimiques organiques spécifiques pour convertir les ions minéraux inorganiques en nanoparticules, ouvrant ainsi la voie à une analyse chimique biologique jusqu'alors inconnue. La nanotechnologie, en collaboration avec la biologie, permet le développement d'un domaine avancé appelé nanobiotechnologie, qui inclut des organismes tels que les algues, les cyanobactéries, les actinomycètes, les bactéries, les virus, les levures, les champignons et les plantes. La capacité de chaque système biologique à générer des nanoparticules métalliques nanométriques varie. Cependant, toutes les formes de vie ne sont pas capables de produire des nanoparticules en raison de leurs activités enzymatiques et de leurs processus métaboliques internes. Par conséquent, les organismes vivants ou leurs extraits sont utilisés pour générer des nanoparticules métalliques par le biais d'un processus de réduction biologique des particules métalliques, conduisant ainsi à la formation de nanoparticules [2].

Ce mémoire est une étude bibliographique sur la synthèse verte de nanoparticules d'oxydes bimétalliques en utilisant des extraits aqueux de plantes. Notre travail est divisé en quatre chapitres :

- ✚ Le premier chapitre aborde les plantes et les composés phénoliques.
- ✚ Le deuxième chapitre présente les caractéristiques et les applications des nanoparticules.
- ✚ Le troisième chapitre porte sur les techniques de caractérisation.
- ✚ Le quatrième chapitre aperçu différente synthèse verte de nanoparticules bimétallique et leurs caractérisation.

Enfin, une conclusion générale sera proposée.

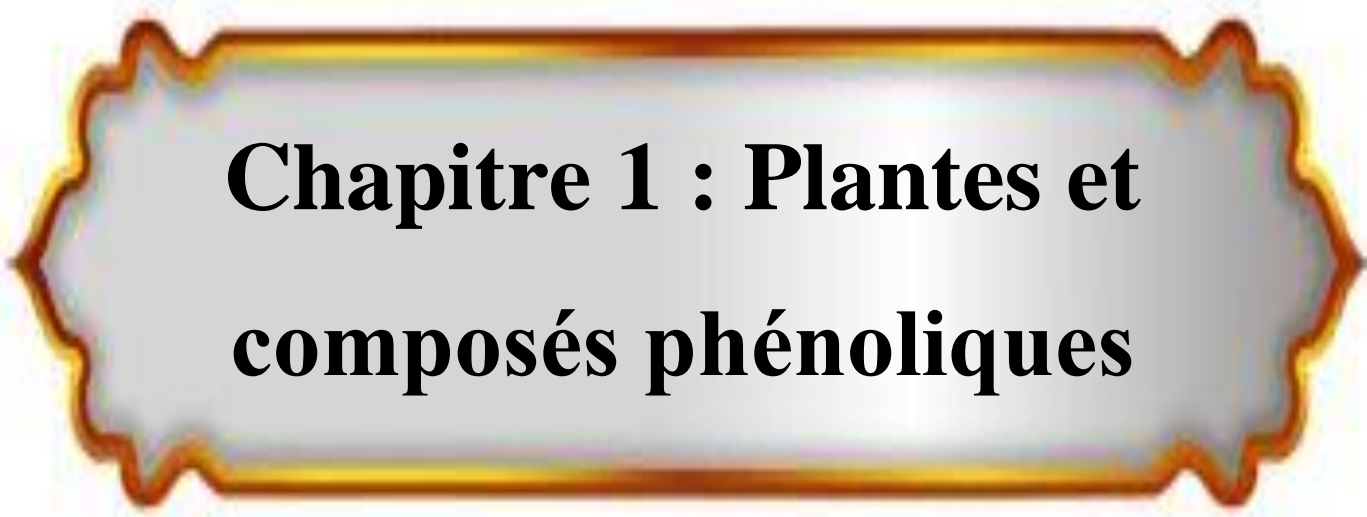
Références

[1] Ezhilarasi, A. A., Vijaya, J. J., Kaviyarasu, K., Zhang, X., & Kennedy, L. J. (2020). Green synthesis of nickel oxide nanoparticles using Solanum trilobatum extract for cytotoxicity, antibacterial and photocatalytic studies. *Surfaces and Interfaces*, 20, 100553.

[2] Zhang, D., Ma, X. L., Gu, Y., Huang, H., & Zhang, G. W. (2023). Green Synthesis of Metallic Nanoparticles and Their Potential Applications to Treat Cancer.

A decorative horizontal frame with a scalloped, ornate border in a golden-brown color. The frame contains a light gray gradient background.

PARTIE théorique



Chapitre 1 : Plantes et composés phénoliques

1. Introduction

Les plantes contiennent différents composés phénoliques, et ces composés ont attiré l'attention des scientifiques ces dernières années en raison de leurs bienfaits sur la santé humaine. Les composés phénoliques sont classés comme antioxydants et présentent des avantages pour la santé tels que la prévention des maladies cardiaques, la réduction des inflammations, la protection contre le cancer et le diabète. La présence de ces composés dans les plantes est attribuée à des facteurs environnementaux et physiologiques tels que les attaques d'insectes, les parasites, l'exposition aux rayons ultraviolets et les blessures. Les composés phénoliques se trouvent dans les plantes sous différentes formes telles que les flavonoïdes, les acides phénoliques et les tanins [1]. Voici quelques plantes étudiées et leurs composés phénoliques et leurs propriétés : *Portulaca oleracea* L, *Trigonella foenum-graecum* L, *Azadirachta indica*, Le Thym.

2. Les plantes étudiées

2.1 *Portulaca oleracea* L

Le pourpier (*Portulaca oleracea* L) est une plante herbacée de la famille des Portulacées. Ses feuilles sont consommées crues ou cuites et elle est largement répandue dans le monde depuis l'Antiquité. Elle pousse dans des endroits chauds pendant l'été et le printemps, fleurissant et produisant des graines rapidement après quarante jours de germination. En raison de sa valeur nutritionnelle et médicinale, elle a été répertoriée par l'Organisation mondiale de la santé et est considérée comme un "médicament curatif" [2].

2.1.1 La description botanique de la plante *Portulaca oleracea* :

Le pourpier commun est une plante annuelle de la famille des Portulacées. Il pousse en rampant et atteint une hauteur maximale de 30 cm. Ses tiges sont ramifiées, charnues et lisses, variant du vert au rouge. Les feuilles sont charnues, juteuses, vertes, de forme ovale inversée et arrondies au sommet. Les fleurs jaunes se forment à l'extrémité des tiges, avec deux sépales inégaux contenant cinq pétales libres et imbriqués à la base. Les graines, regroupées en forme d'ovale, mesurent environ 1 mm de diamètre et sont initialement de couleur brun rougeâtre, devenant noires à maturité. Dans l'ensemble, le processus de pollinisation est autogame pour cette plante du genre *Portulaca* [2].



Figure I.1 : Photo de la plante *Portulaca oleracea*

2.2 *Trigonella foenum-graecum* L

Le fenugrec, scientifiquement connu sous le nom de *Trigonella foenum-graecum*, appartient au genre botanique *Trigonella*. Son nom dérive du mot latin "trigonum" qui signifie triangle, probablement en référence à la forme triangulaire de ses fleurs. Le nom latin de l'espèce, *foenum graecum*, signifie "foin grec" en raison de l'odeur intense de la plante séchée de fenugrec [3].

2.2.1 Description botanique du *Trigonella foenum-graecum* L

Le fenugrec est une plante herbacée annuelle, qui peut être poilue ou glabre selon les variétés. Il appartient à la famille des Fabaceae, la deuxième plus grande famille de plantes à fleurs comprenant 650 genres et 18000 espèces [4]. Le fenugrec peut atteindre une hauteur de 30 à 60 cm et nécessite un sol calcaire et un peu d'humidité pour sa culture. Il possède une racine principale bien développée et une tige dressée, ramifiée, cylindrique et légèrement pubescente, souvent de couleur rose [5].

Les feuilles du fenugrec sont alternes, longuement pétiolées, avec deux stipules, et composées de trois folioles ovales et dentelées. Les fleurs du fenugrec sont sessiles, de type papilionacé, assez grandes et de couleur jaune pâle à violet clair. Elles se composent d'un calice à cinq sépales non divisés, d'une corolle à cinq pétales libres de forme triangulaire (d'où le nom de trigonelle), de dix étamines et d'un ovaire pluriovulé. Le fruit du fenugrec est une gousse linéaire contenant de 10 à 20 graines. Il est lisse avec de fines nervures longitudinales et se termine par un bec [5].



Figure I.2 : Feuilles et des fruits du *Trigonella foenum-graecum* L [6]

2.3 Azadirachta indica

Le neem a été décrit en 1830 par Du Jussieu à Ratisbonne, et il appartient au genre *Azadirachta* et à l'espèce *indica*. Le nom "neem", qui est très courant et se prononce simplement "nim", provient du sanskrit "nimba" qui signifie "arroser" et est abrégé en "arrosoir de saveur" (nimbrozia). La signification du nom commun *Azadirachta indica* suscite des débats. Il s'est avéré que "azadirachta" provient des mots persans "azad" (libre) et "drakhat" (arbre), signifiant "arbre libre", avec l'ajout du nom *Indica* qui fait référence à l'Inde, son lieu d'origine. Par conséquent, le nom scientifique du neem (*Azadirachta indica*) signifie "l'arbre libre de l'Inde" [7].

2.3.1. Description d'*Azadirachta indica*

Le neem est une plante verte attrayante avec de nombreuses feuilles. C'est un arbre à croissance rapide pouvant atteindre une hauteur de 15 à 20 mètres, et parfois même 20 à 30 mètres [8], et plus rarement 35 à 40 mètres. Il s'agit d'un arbre à feuillage persistant, mais dans les zones très sèches, les jeunes arbres peuvent parfois perdre la plupart ou la totalité de leurs feuilles pendant une période relativement courte. De nouvelles feuilles de couleur généralement rosâtre à verte peuvent réapparaître pendant les mois de mars et avril [7].



Figure I.3 : Arbre de Neem indien (*Azadirachta Indica*) [7]

2.4 Le Thym

Le thym est une plante herbacée appartenant au genre *Thymus*, également connue sous le nom de serpolet. Ce genre comprend plus de 300 espèces différentes. Le thym se caractérise par sa capacité à grimper ou à ramper, et il porte de petites fleurs de couleur rose pâle ou blanche. Ces plantes contiennent des huiles volatiles, ce qui les classe parmi les plantes aromatiques. Le thym commun contient une huile volatile principale appelée thymol, qui est un composé terpénoïde possédant des propriétés antiseptiques contre les bactéries. Dans le sud de la France, le thym est souvent désigné par le nom "farigoule", qui est le terme occitan utilisé pour le désigner [9].



Figure I.4 : *Thymus vulgaris* [10]

2.4.1 Description botanique du thym

Le thym est une petite plante semi-arbustive, vivace et dense, mesurant généralement de 7 à 30 cm de hauteur. Sa couleur générale est grisâtre ou vert grisâtre. La plante est composée de tiges ligneuses à la base et herbacées dans la partie supérieure, avec des tiges de forme cylindrique. Les tiges ligneuses se ramifient et forment des touffes denses ou de l'herbe très dense [10].

Les feuilles du thym sont très petites et ont une forme ovale, avec des bords enroulés vers le bas et des veines latérales bien visibles. Les tiges sont très courtes et de couleur blanchâtre sur le côté inférieur. Les fleurs se trouvent sur de courtes tiges et sont généralement regroupées en groupes de trois près des feuilles supérieures. Les fleurs du thym sont presque roses ou presque blanches, mesurant entre 4 et 6 mm de long. Le calice des tiges est bilabié et légèrement enflé. La corolle est de taille variable, légèrement plus longue que le calice. Les étamines sont insérées dans la corolle.

La floraison du thym commence en mai-début juin. Cette description botanique du thym commun est basée sur la source [10,11]

3. Les composés polyphénoliques

Les polyphénols se trouvent dans de nombreuses plantes médicinales et constituent un groupe diversifié de composés secondaires. Ils sont utilisés comme additifs recherchés dans l'industrie alimentaire, les cosmétiques, la médecine et d'autres domaines.

Les composés phénoliques jouent un rôle essentiel dans la pigmentation et la défense des plantes contre les maladies. Ces composés varient d'une famille de plantes à l'autre et d'un organe à l'autre, et peuvent évoluer à différentes étapes du développement de la plante [12,13].

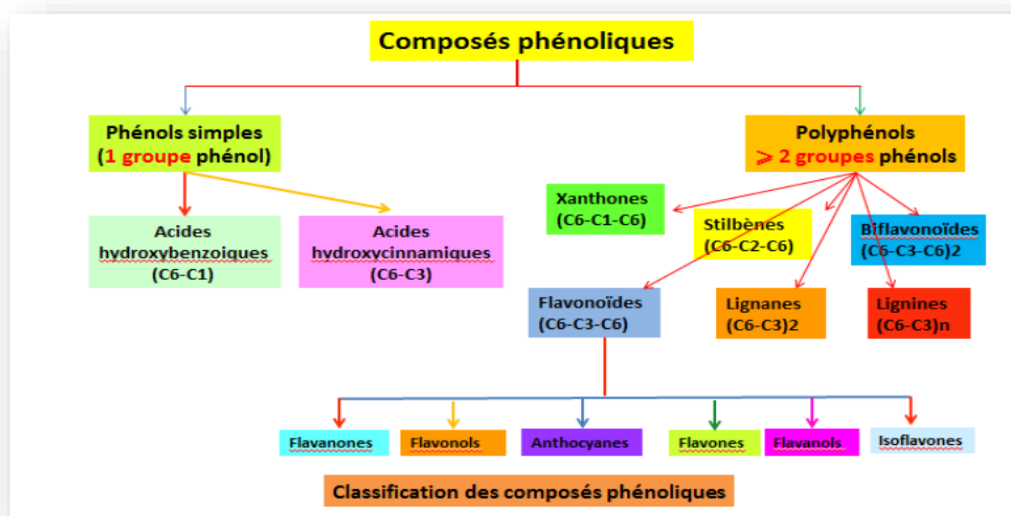


Figure I.5: Classification des composés phénoliques.

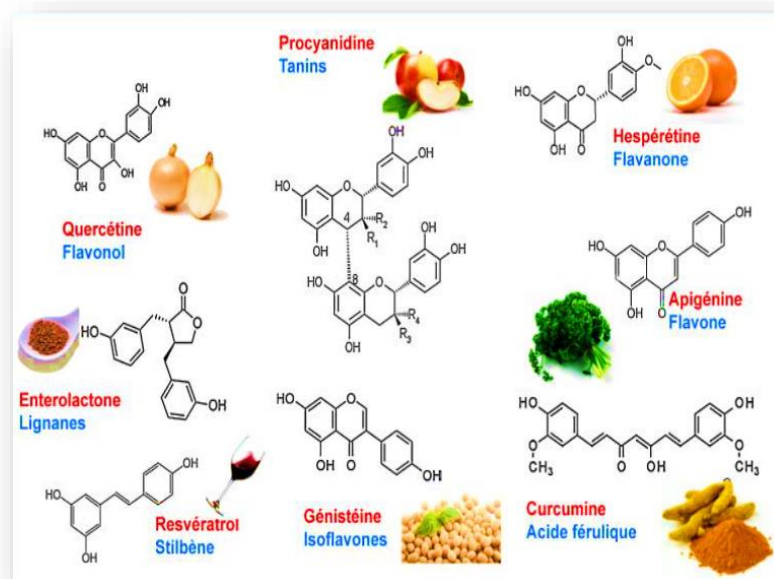


Figure I.6: Structure des polyphénols [14]

4. Classes principales des composés phénoliques

4.1 Acides phénoliques

Les principales catégories de composés polyphénoliques comprennent les acides phénoliques. Ces composés sont largement présents dans le règne végétal en tant que composés végétaux aromatiques secondaires. Ils contiennent un groupe carboxyle avec des groupes hydroxyle liés au noyau benzénique [12]. En fonction de la position des groupes hydroxyle, les acides phénoliques peuvent être classés en deux types principaux : les dérivés de l'acide benzoïque et les dérivés de l'acide cinnamique [15].

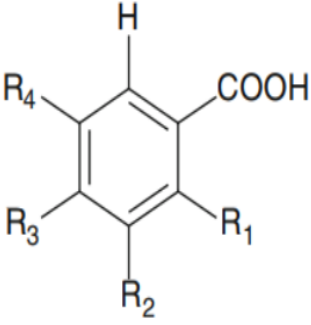
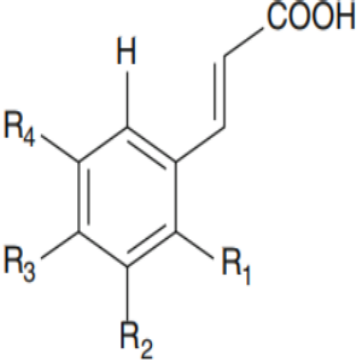
4.1.1 Acides hydroxybenzoïques

Cette catégorie comprend une structure de base commune qui est la structure (C6-C1). Elle comprend l'acide gallique, l'acide hydroxybenzoïque para, l'acide protocatéchique, l'acide vanillique et l'acide syringique [16].

4.1.2 Acides hydroxycinnamiques

Ces acides sont des composés aromatiques contenant une chaîne latérale composée de trois atomes de carbone (C6-C3). Les acides les plus courants de cette catégorie comprennent l'acide caféique, l'acide férulique, l'acide coumarique et l'acide sinapique (tableau I.1) [16].

Tableau I.1 : Acides phénoliques : acides hydroxybenzoïques et hydroxycinnamiques[17]

| Acides hydroxy benzoïques | | | | | |
|---|--------------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|
|  | Nom | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ |
| | Acide benzoïque | H | H | H | H |
| | Acide p-hydroxybenzoïque | H | H | OH | H |
| | Acide vanillique | H | OCH ₃ | OH | H |
| | Acide gallique | H | OH | OH | OH |
| | Acide protocatéchique | H | OCH ₃ | OH | OCH ₃ |
| | Acide syringique | H | H | H | OH |
| | Acide gentisique | OH | OCH ₃ | OCH ₃ | H |
| | Acide vératrique | H | H | H | H |
| | Acide salicylique | OH | H | H | H |
| Acides hydroxy cinnamiques | | | | | |
|  | Nom | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ |
| | Acide cinnamique | H | H | H | H |
| | Acide o-coumarique | OH | H | H | H |
| | Acide m-coumarique | H | OH | H | H |
| | Acide p-coumarique | H | H | OH | H |
| | Acide férulique | H | OCH ₃ | OH | H |
| | Acide sinapique | H | OCH ₃ | OH | OCH ₃ |
| | Acide caféique | H | OH | OH | H |

4.2 Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont les composés phénoliques les plus abondants dans les fruits et les légumes, représentant près des deux tiers des composés phénoliques alimentaires. Dans l'ensemble, ils sont considérés comme les plus bioactifs en tant que groupe. Ils sont des composés C₁₅ et ont tous une structure (C₆-C₃-C₆), composée de deux cycles benzéniques (A et B) reliés par un groupe de trois atomes de carbone. L'unité C₃ forme une chaîne aliphatique ou un cycle hétérocyclique à six éléments (cycle C) attaché au cycle A. Les flavonoïdes peuvent être divisés en six groupes ou familles, selon les différences dans le cycle pyrane. Dans chaque

famille, les composés individuels diffèrent dans leur motif d'hydroxylation et de méthylation des cycles A et B [18,19].

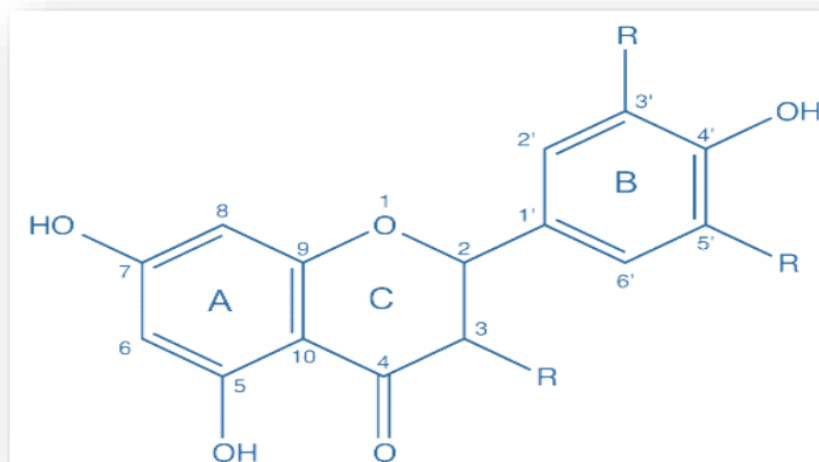


Figure I.7 : Structure chimique de base et modèle de numérotation des flavonoïdes [20]

4.3 Les tanins

Les tanins sont des composés phénoliques complexes et non cristallins, solubles dans l'eau et l'alcool, et ayant un goût fort et amer [21]. Ils ne sont pas des substances simples mais plutôt des assemblages de composés organiques complexes. Ils sont classés en fonction de leurs propriétés chimiques en tanins hydrolysables et tanins condensés ou proanthocyanidines [22].

4.4 Les stilbènes

Les stilbènes sont une classe supplémentaire de composés faisant partie des polyphénols, caractérisée par la présence d'une structure fondamentale de 1,2-diphényléthylène [23].

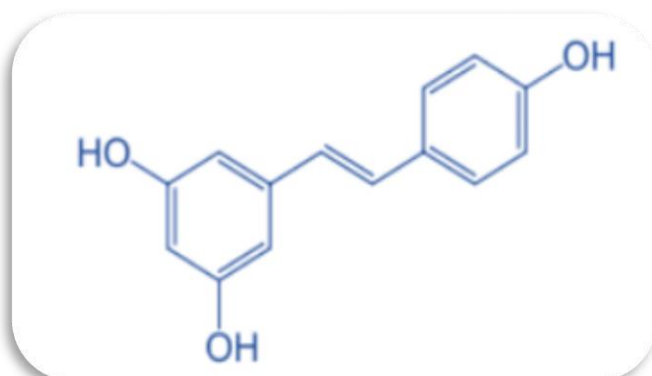


Figure I.8 : Structure chimique du stilbène (resvératrol) [23]

5. Les propriétés chimiques des polyphénols

Les propriétés chimiques des polyphénols dépendent principalement des noyaux phénoliques, en particulier des effets de résonance magnétique électronique (-M) et de résonance magnétique électronique donneur (+M). L'effet (+M) est exprimé par la liaison de l'oxygène avec le cycle et le groupe OH, ce qui augmente la distribution des électrons et entraîne une charge partielle négative sur des atomes spécifiques dans la molécule. L'effet (+M) peut être représenté par des formes homogènes qui montrent ce phénomène. [24,25].

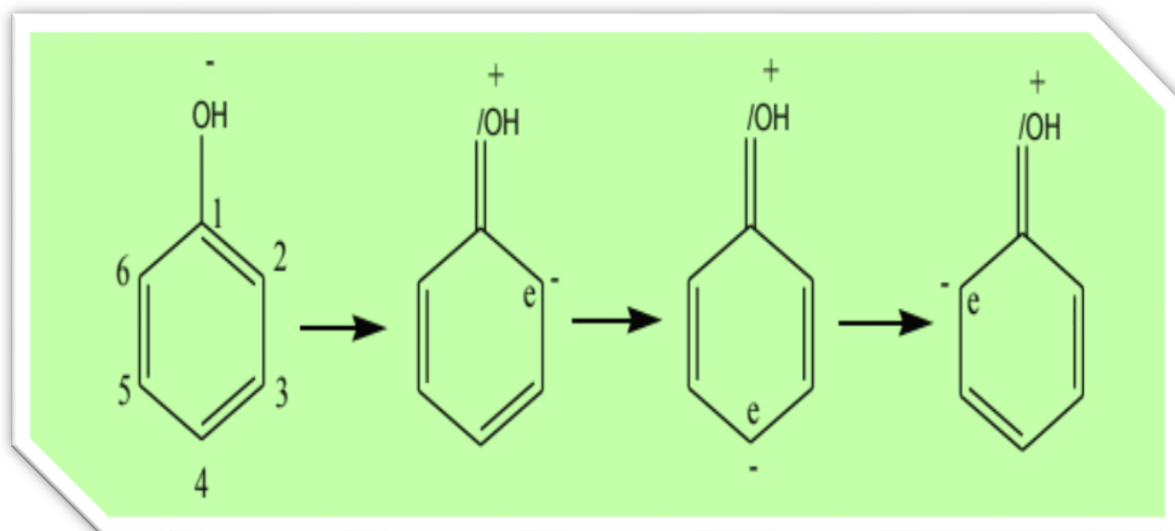


Figure I.9: Les formes mésomères du phénol [24]

Conclusion


Les plantes renferment plusieurs types des composés naturels. Les composés phénoliques, présents dans ces plantes, sont caractérisés par leur structure chimique composée de plusieurs unités phénoliques liées entre elles.

On retrouve une grande variété de composés phénoliques dans les plantes, tels que les flavonoïdes, les tanins, les stilbénoides, les coumarines, les anthocyanines, les catéchines, et d'autres encore. Chacun de ces composés possède des propriétés uniques qui influencent l'activité biologique et les bienfaits pour la santé des plantes.

Références

- [1] KHOLKHAL, F. (2014). Etude Phytochimique et Activité Antioxydante des extraits des composés phénoliques de *Thymus ciliatus* ssp *coloratus* et ssp *euciliatus* (Doctoral dissertation).
- [2] Lim, Y. Y., & Quah, E. P. (2007). Antioxidant properties of different cultivars of *Portulaca oleracea*. *Food chemistry*, 103(3), 734-740
- [3] Petropoulos, S., Karkanis, A., Martins, N., & Ferreira, I. C. (2016). Phytochemical composition and bioactive compounds of common purslane (*Portulaca oleracea* L.) as affected by crop management practices. *Trends in food science & technology*, 55, 1-10
- [4] Okafor, I. A., Ayalokunrin, M. B., & Orachu, L. A. (2014). A review on *Portulaca oleracea* (purslane) plant-its nature and biomedical benefits
- [5] Sanja, S. D., Sheth, N. R., Patel, N. K., Patel, D., & Patel, B. (2009). Characterization and evaluation of antioxidant activity of *Portulaca oleracea*. *Int. J. Pharm. Pharm. Sci*, 1(1), 74-84.
- [6] Parthasarathy, V. A., Chempakam, B., & Zachariah, T. J. (Eds.). (2008). *Chemistry of spices*. Cabi.
- [7] Singh, B., Kaur, R., & Singh, K. (2008). Characterization of *Rhizobium* strain isolated from the roots of *Trigonella foenum-graecum* (fenugreek). *African Journal of Biotechnology*, 7(20)
- [8] Oueslati, H. A., & Ghédira, K. (2015). Notes ethnobotanique et phytopharmacologique sur *Trigonella foenum-graecum*. *Phytothérapie*, 13, 234-238
- [9] Amira, N., & Ammari, A. Effet de l'utilisation du Neem «*Azadirachta indica*» sur la différenciation sexuelle du Tilapia «*Oreochromis niloticus*» (Doctoral dissertation, UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA).
- [10] Charles, D. J. (2012). *Antioxidant properties of spices, herbs and other sources*. Springer Science & Business Media
- [11] Bellakhdar, J. (1997). *La pharmacopée marocaine traditionnelle. Médecine arabe ancienne et savoirs populaires*
- [12] Bencheikh, D. (2018). Polyphenols and antioxidant properties of extracts from *Mentha pulegium* L. and *Matricaria camomilla* L (Doctoral dissertation).

- [13] Bujor, O. C., Talmaciu, I. A., Volf, I., & Popa, V. I. (2015). Biorefining to recover aromatic compounds with biological properties. *TAPPI J*, 14(3), 187-193.
- [14] Bamforth, C. W. (1999). Beer haze. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 57(3), 81-90.
- [15] Tsao, R. (2010). Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. *Nutrients*, 2(12), 1231-1246.
- [16] Ozcan, T., Akpınar-Bayızit, A., Yılmaz-Ersan, L., & Delikanlı, B. (2014). Phenolics in human health. *International Journal of chemical engineering and applications*, 5(5), 393-396
- [17] Goleniowski, M., Bonfill, M., Cusido, R., & Palazon, J. (2013). Phenolic acids. *Natural products*, 1951-1973.
- [18] de la Rosa, L. A., Moreno-Escamilla, J. O., Rodrigo-García, J., & Alvarez-Parrilla, E. (2019). Phenolic compounds. In *Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables* (pp. 253-271). Woodhead publishing
- [19] Verma, M. L., Sharma, S., Saini, R., Rani, V., & Kushwaha, R. (2020). Bioflavonoids: Synthesis, functions and biotechnological applications. In *Biotechnological production of bioactive compounds* (pp. 69-105). Elsevier
- [20] Yáñez, J. A., Remsberg, C. M., Takemoto, J. K., Vega- Villa, K. R., Andrews, P. K., Sayre, C. L., ... & Davies, N. M. (2012). Polyphenols and flavonoids: an overview. *Flavonoid Pharmacokinetics: Methods of Analysis, Preclinical and Clinical Pharmacokinetics, Safety, and Toxicology*, 1-69.
- [21] Mukherjee, P. K. (2019). Bioactive phytochemicals and their analysis. *Quality control and evaluation of herbal drugs*, 237-328
- [22] Bravo, L. (1998). Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition reviews*, 56(11), 317-333.
- [23] Bujor, O. C. (2016). Extraction, identification and antioxidant activity of the phenolic secondary metabolites isolated from the leaves, stems and fruits of two shrubs of the Ericaceae family (Doctoral dissertation, Université d'Avignon).
- [24] Soriani, M., Rice-Evans, C., & Tyrrell, R. M. (1998). Modulation of the UVA activation of haem oxygenase, collagenase and cyclooxygenase gene expression by epigallocatechin in human skin cells. *Febs Letters*, 439(3), 253-257
- [25] Dangles, O. (2006). *Les polyphénols en agroalimentaire*. Ed Tec et Doc Lavoisier, 29-50.



**Chapitre 2 : Propriétés et
applications des
nanoparticules**

1. Introduction

Les nanoparticules métalliques représentent un domaine fascinant de la nanotechnologie où deux métaux différents sont combinés à l'échelle nanométrique pour créer des matériaux aux propriétés uniques et variées. À cette échelle, les propriétés des matériaux peuvent être significativement différentes de celles de leurs homologues macroscopiques en raison des effets quantiques et de surface qui dominent. Les nanoparticules bimétalliques offrent ainsi un large éventail d'applications potentielles, allant de la catalyse à la biologie, en passant par l'électronique et la médecine [1].

2. Méthodes de préparation des nanoparticules

Il existe plusieurs méthodes de préparation des nanoparticules, chacune offrant ses propres avantages en termes de contrôle de la taille, de la morphologie, de la composition et de la structure des particules [2].

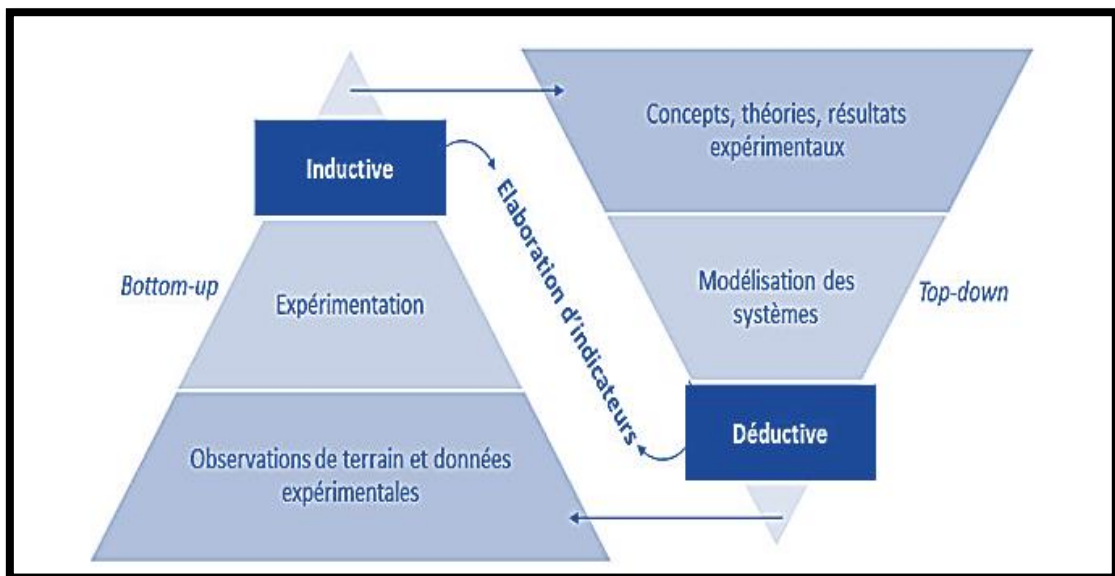


Figure II. 1: Diagramme montrant la méthode de préparation d'une nanostructure de deux manières [3].

Voici quelques-unes des méthodes les plus couramment utilisées :

2.1 Méthodes chimiques

❖ Sol-gel :

Cette méthode implique la formation d'un gel colloïdal à partir de précurseurs métalliques dans un solvant organique ou aqueux, suivi de la condensation pour former des nanoparticules. Elle permet un bon contrôle de la taille et de la morphologie des nanoparticules [4].

❖ Dépôt chimique en phase vapeur (CVD) :

Utilisée principalement pour les nanoparticules de matériaux semi-conducteurs, cette méthode implique la réaction de précurseurs gazeux pour former des nanoparticules sur un substrat solide [4].

❖ Electrochimique :

Les nanoparticules peuvent être formées par réduction électrochimique des ions métalliques dissous dans une solution électrolytique. Cette méthode est utile pour contrôler précisément la taille des nanoparticules formées [4].

2.2 Méthodes physiques**❖ Évaporation et condensation :**

• **Évaporation thermique** : Un matériau est porté à une température élevée, ce qui entraîne la formation de vapeurs qui se condensent pour former des nanoparticules. Cette méthode est couramment utilisée pour les métaux.

• **Évaporation par bombardement d'électrons** : Des électrons à haute énergie sont utilisés pour vaporiser un matériau cible, et les vapeurs ainsi produites se condensent pour former des nanoparticules [4]

❖ Dépôt sous vide :

• **Dépôt physique en phase vapeur (PVD)** : La source de matériau est évaporée ou pulvérisée sous vide et se condense sur un substrat pour former des nanoparticules. Des techniques telles que la pulvérisation cathodique sont utilisées à cet effet.

• **Dépôt chimique en phase vapeur assistée par plasma (PECVD)** : Un plasma est utilisé pour activer les précurseurs chimiques qui réagissent pour former des nanoparticules sur un substrat [4].

❖ Techniques de fragmentation et de broyage :

• **Broyage mécanique** : Des forces mécaniques sont utilisées pour réduire les matériaux en fragments nanométriques, formant ainsi des nanoparticules.

• **Méthodes de pulvérisation** : Des techniques telles que la pulvérisation de jets de gaz sont utilisées pour fragmenter les matériaux en nanoparticules [4].

2.3 Synthèse verte

La chimie verte utilise la technologie des nanoparticules vertes pour synthétiser des particules nanométriques à partir de sources naturelles et biodégradables, contribuant ainsi à réduire les dommages environnementaux. La fermentation des nanoparticules en utilisant des extraits végétaux offre une solution biologique pour extraire les métaux des déchets industriels.

Cette méthode est simple, rentable et respectueuse de l'environnement. La synthèse des nanoparticules vertes se distingue par la réduction de l'utilisation de substances chimiques dangereuses et la dépendance aux processus énergétiques, attirant l'attention pour sa capacité à réduire l'impact environnemental associé aux techniques traditionnelles de synthèse des nanoparticules [5,6].

Voici quelques aspects et méthodes clés impliqués dans la synthèse des nanoparticules vertes:

- ✚ **Extraits naturels** : L'utilisation d'extraits végétaux tels que le neem, le curcuma, l'aloé vera ou d'autres sources végétales contenant des composés bioactifs agissant comme des agents réducteurs et des stabilisateurs pour les nanoparticules. Ces extraits peuvent convertir les sels minéraux en particules nanométriques dans des conditions modérées.
- ✚ **Micro-organismes** : Certains micro-organismes tels que les bactéries, les champignons et les algues ont la capacité de synthétiser des nanoparticules. Ils produisent des enzymes et des métabolites capables de convertir les ions métalliques en particules nanométriques et de les stabiliser. Cette méthode présente une compatibilité biologique et ne nécessite pas de températures élevées ni de produits chimiques toxiques.
- ✚ **La synthèse assistée par micro-ondes** : Bien que cela ne soit pas naturellement "vert", l'utilisation des rayonnements micro-ondes peut réduire les temps de réaction et la consommation d'énergie par rapport aux méthodes traditionnelles de chauffage, ce qui rend le processus de synthèse plus efficace et moins impactant sur l'environnement.

Ces méthodes de préparation des nanoparticules offrent une flexibilité significative pour ajuster les propriétés des particules en fonction des exigences spécifiques de chaque application. Le choix de la méthode dépend souvent des objectifs de recherche, des contraintes de production et des propriétés souhaitées des nanoparticules [5].

3. Propriétés des nanoparticules

3.1 Propriétés optique

Les nanoparticules présentent de nombreuses propriétés optiques remarquables en raison de leur taille extrêmement réduite, située dans la plage nanométrique (de l'ordre de 1 à 100 nanomètres). Voici quelques-unes des propriétés optiques les plus significatives des nanoparticules :

- **Plasmons de surface** : Les particules métalliques telles que l'or, l'argent et le cuivre peuvent générer des oscillations collectives d'électrons appelées plasmons de surface. Ces plasmons de surface ont un impact sur l'interaction de la nanoparticule avec la lumière, ce qui modifie ses propriétés d'absorption et de diffusion.

- **Absorption et diffusion sélectives :** En raison de leur taille, les nanoparticules peuvent sélectivement absorber et diffuser la lumière en fonction de leur taille, de leur forme et de leur composition. Cette caractéristique peut être exploitée dans diverses applications telles que la catalyse, la détection biologique et les dispositifs optoélectroniques.
- **Effets quantiques :** Les nanoparticules semi-conductrices telles que le dioxyde de titane (TiO₂), le dioxyde de zinc (ZnO) ou les points quantiques (quantum dots) peuvent présenter des propriétés optiques quantiques en raison de leur taille nanométrique. Ces propriétés comprennent l'émission de lumière fluorescente et la capacité à ajuster leur bande interdite, ce qui est utile dans les applications de capteurs et d'imagerie.
- **Effet de taille :** La taille des nanoparticules peut directement influencer leur spectre d'absorption et d'émission. Par exemple, les nanoparticules de taille plus réduite ont tendance à présenter des bandes d'absorption et d'émission plus élevées [3].

3.2 Propriétés magnétique

Les nanoparticules se distinguent également par leurs propriétés magnétiques particulières en raison de leur petite taille et de leur composition. Voici quelques-unes des propriétés magnétiques les plus importantes des nanoparticules :

- **Superparamagnétisme :** De nombreuses nanoparticules magnétiques, telles que les particules de fer, de cobalt ou d'oxydes de métaux magnétiques, présentent un comportement superparamagnétique à température ambiante. Cela signifie qu'elles n'ont pas de magnétisme permanent en l'absence de champ magnétique, mais elles peuvent devenir magnétiques en présence d'un champ magnétique externe. Ce comportement est exploité dans des applications telles que l'imagerie par résonance magnétique (IRM), la séparation magnétique et la manipulation de médicaments.
- **Effet de taille :** La taille des nanoparticules a un impact significatif sur leurs propriétés magnétiques. À l'échelle nanométrique, les nanoparticules peuvent présenter des propriétés magnétiques différentes de celles des matériaux massifs. Cela peut entraîner des modifications de leurs propriétés magnétiques telles que l'aimantation rémanente et la température de Curie.
- **Interactions magnétiques entre nanoparticules :** Lorsque les nanoparticules sont proches les unes des autres, par exemple dans des agrégats ou des assemblages, leurs propriétés magnétiques peuvent être fortement influencées par les interactions magnétiques entre nanoparticules. Cela peut conduire à des comportements collectifs tels que la magnétorésistance géante et la magnétorésistance tunnel [7].

3.3 Propriétés électrique

Les particules nanométriques présentent plusieurs caractéristiques électriques distinctes en raison de leur petite taille et de leurs propriétés de surface. Voici quelques-unes des principales caractéristiques électriques des particules nanométriques :

- **Conductivité électrique** : Les particules nanométriques métalliques telles que l'or, l'argent, le cuivre et le platine présentent une conductivité élevée en raison du mouvement libre des électrons à travers leur structure cristalline. Cette conductivité peut être exploitée dans des applications telles que les circuits nanoélectroniques, les dispositifs optoélectroniques et les capteurs.
- **Capacité de stockage d'énergie** : Les particules nanométriques peuvent être exploitées pour améliorer les performances des dispositifs de stockage d'énergie tels que les batteries et les supercondensateurs. En raison de leur grande surface spécifique et de leur capacité à former des structures composites, il est possible d'augmenter la densité d'énergie, la vitesse de charge et de décharge.
- **Résistance et conductivité** : La résistance électrique des particules nanométriques peut être modifiée en fonction de leur taille, de leur forme et de leur composition. Par exemple, les nanofils métalliques peuvent présenter une résistance inférieure à leurs homologues macroscopiques en raison de l'amélioration de la diffusion de surface et des effets de taille quantique [7].

3.4 Propriétés catalytiques

Ce pourcentage élevé d'atomes de surface rend les matériaux plus réactifs d'un point de vue chimique, ce qui en fait des candidats extrêmement prometteurs pour les applications de catalyse hétérogène. Il a été démontré que des particules d'or nanostructurées d'un diamètre d'environ 3 nm catalysent activement l'oxydation du monoxyde de carbone (CO), tandis qu'elles restent inactives pour des tailles supérieures à 10 nm. Depuis ces observations, des efforts considérables ont été déployés pour étudier l'impact de la taille des nanoparticules sur leur activité catalytique. L'oxydation catalytique du CO augmente avec le diamètre des nanoparticules de ruthénium, passant de 2 à 6 nm. Il est important de noter que d'autres facteurs tels que la forme, la composition et l'état d'oxydation des nanoparticules peuvent également jouer un rôle dans leur réactivité catalytique. [8,9]

3.5 Propriétés Antimicrobiens

Les particules nanométriques métalliques possèdent des propriétés antimicrobiennes, agissant comme des réservoirs d'ions et maintenant leur activité pendant une période plus longue par rapport aux sels incorporés. Les particules nanométriques d'argent libèrent des ions

d'argent pendant une durée allant jusqu'à 100-200 jours, ce qui les rend plus efficaces que l'argent solide. La libération des ions d'argent contribue ainsi à leur activité antimicrobienne. L'activité des particules nanométriques d'or a été évaluée contre différentes bactéries pathogènes, montrant une plus grande efficacité dans l'inhibition de *Pseudomonas aeruginosa* et *Escherichia coli*. Les différences d'effet sont attribuées aux variations dans la composition des parois cellulaires bactériennes. [10,11]

3.6 Propriétés vibrationnelles

Dans le cas des nanocristaux, il y a un changement dans l'ordre cristallin qui entraîne l'apparition de nouveaux modes de vibration résultant de l'interférence entre les modes longitudinaux et transversaux. Les fréquences de vibration et les longueurs d'onde des particules nanocristallines à cœur-coquille métallique (Au-Pb) ont été étudiées à l'aide de la spectroscopie résolue en temps. Les résultats ont montré que ces modes de vibration sont influencés lorsque les métaux ont des propriétés d'élasticité différentes. [12,13]

4. Applications des nanoparticules

Les nanoparticules bimétalliques peuvent être utilisées dans une variété d'applications en raison de leurs propriétés uniques et synergiques. Voici quelques-unes des façons dont elles peuvent être utilisées :

4.1 Catalyse

Les nanoparticules bimétalliques sont largement utilisées comme catalyseurs dans diverses réactions chimiques. Leur activité catalytique peut être modulée en ajustant la composition, la taille et la morphologie des nanoparticules. Elles peuvent catalyser des réactions telles que l'hydrogénation, l'oxydation, la réduction et la polymérisation [3].

4.2 Imagerie médicale

Les nanoparticules bimétalliques peuvent être utilisées comme agents de contraste dans diverses techniques d'imagerie médicale telles que l'imagerie par résonance magnétique (IRM), la tomographie par émission de positrons (TEP) et la tomographie par émission de positrons (TDM). Leur capacité à absorber ou à émettre des rayonnements électromagnétiques peut être exploitée pour améliorer la visualisation des tissus biologiques [3].

4.3 Thérapie anticancéreuse

Les nanoparticules bimétalliques peuvent être utilisées pour délivrer des agents thérapeutiques tels que des médicaments anticancéreux directement aux cellules cancéreuses. En fonction de leur composition et de leur taille, elles peuvent être conçues pour cibler spécifiquement les cellules cancéreuses, réduisant ainsi les effets secondaires associés aux traitements conventionnels [3].

4.4 Électro catalyse

Les nanoparticules bimétalliques peuvent être utilisées comme électro catalyseurs dans les piles à combustible, les électrolyseurs et d'autres dispositifs électrochimiques. Leur grande surface spécifique et leurs propriétés électroniques uniques peuvent améliorer l'efficacité des réactions électrochimiques telles que la réduction de l'oxygène et l'oxydation du dioxyde de carbone [3].

4.5 Détection de gaz

Les nanoparticules bimétalliques peuvent être utilisées comme capteurs de gaz pour détecter des gaz nocifs ou des polluants dans l'environnement. Les changements dans les propriétés électriques, optiques ou catalytiques des nanoparticules en présence de gaz spécifiques peuvent être mesurés pour détecter et quantifier leur concentration [3].

4.6 Applications environnementales

Les nanoparticules bimétalliques peuvent être utilisées dans le traitement des eaux usées pour dégrader les polluants organiques ou pour catalyser des réactions de dépollution environnementale telles que la réduction de composés toxiques comme les oxydes d'azote (NO_x) ou les oxydes de soufre (SO_x) [5].

Ces exemples illustrent la polyvalence des nanoparticules bimétalliques et leur potentiel dans une large gamme d'applications scientifiques, technologiques et médicales. La conception et l'utilisation efficaces de ces nanoparticules dépendent souvent de facteurs tels que leur taille, leur composition, leur morphologie et leurs interactions avec l'environnement [5].

5. Importance de la nanotechnologie

La nanotechnologie revêt une importance significative dans divers domaines en raison de ses multiples applications et des possibilités qu'elle offre pour résoudre des problèmes complexes. Voici quelques points qui illustrent l'importance de la nanotechnologie :

❖ Avancées médicales :

La nanotechnologie ouvre de nouvelles voies pour le diagnostic précoce, le traitement ciblé et la prévention des maladies. Des nanoparticules peuvent être utilisées pour délivrer des médicaments directement aux cellules cancéreuses, réduisant ainsi les effets secondaires des traitements. De plus, la nanotechnologie permet le développement de dispositifs médicaux miniaturisés et hautement sensibles pour surveiller et traiter diverses affections [14].

❖ Révolution de l'électronique et de l'informatique :

La miniaturisation des composants électroniques grâce à la nanotechnologie a conduit à des avancées majeures dans les domaines de l'électronique et de l'informatique. Des dispositifs

plus petits et plus efficaces sont désormais possibles, ouvrant la voie à de nouveaux produits tels que les smartphones, les tablettes et les ordinateurs portables [14].

❖ **Amélioration des matériaux :**

Les nanomatériaux présentent des propriétés uniques qui peuvent être utilisées pour améliorer la performance des matériaux dans une variété d'applications. Par exemple, des nanoparticules peuvent être ajoutées aux polymères pour les rendre plus résistants et légers, ou incorporées dans les revêtements pour les rendre plus durables et hydrophobes [14].

❖ **Efforts environnementaux :**

La nanotechnologie offre des solutions innovantes pour résoudre les problèmes environnementaux tels que la dépollution de l'eau et de l'air, la gestion des déchets et la production d'énergie propre. Des nanomatériaux peuvent être utilisés pour filtrer les contaminants, catalyser des réactions chimiques écologiques et améliorer l'efficacité des technologies de production d'énergie renouvelable [14].

❖ **Secteur de l'énergie :**

La nanotechnologie joue un rôle crucial dans le développement de technologies énergétiques avancées, telles que les cellules solaires de nouvelle génération, les batteries hautes performance et les catalyseurs pour la conversion de l'énergie. Elle contribue à accroître l'efficacité énergétique et à réduire les émissions de gaz à effet de serre [14].

❖ **Innovations industrielles :**

La nanotechnologie stimule l'innovation dans de nombreux secteurs industriels, y compris l'automobile, l'aérospatiale, la construction et les produits de consommation. Des matériaux plus légers, plus résistants et plus durables peuvent être développés pour créer des produits de meilleure qualité et plus durables [14].

La nanotechnologie joue un rôle essentiel dans la résolution de défis complexes auxquels l'humanité est confrontée, tout en ouvrant la voie à de nouvelles opportunités et à des avancées technologiques significatives dans de nombreux domaines. Son importance réside dans sa capacité à transformer fondamentalement notre façon de vivre, de travailler et d'interagir avec le monde qui nous entoure [14].

Conclusion

Les nanoparticules métalliques représentent une classe de matériaux fascinante et prometteuse qui suscite un intérêt croissant dans le domaine de la nanotechnologie. Leur structure unique, composée de deux métaux distincts, leur confère des propriétés physiques et chimiques remarquables, offrant ainsi un large éventail d'applications potentielles dans divers domaines. Ces nanoparticules présentent plusieurs avantages significatifs. Leur capacité à catalyser des réactions chimiques spécifiques avec une efficacité accrue en fait des candidats idéaux pour une utilisation dans des processus de catalyse industrielle, tels que la production d'énergie propre, la conversion de la biomasse et la fabrication de produits chimiques de base. De plus, leur capacité à agir comme des agents de diagnostic et de traitement dans le domaine médical ouvre de nouvelles perspectives passionnantes pour la médecine personnalisée et la thérapie ciblée.

Références

- [1] Salah, M. (2017). "Organisation des nanostructures par des réseaux carrés de dislocations enterrés sur des substrats de silicium Si et d'alliage de gallium arséniure GaAs. Doctorat thesis (2006), Université de Batna 2."
- [2] Achour, M. B. (2015). Synthèse et caractérisation multi-échelle de nanoparticules pour des revêtements du secteur automobile (Doctoral dissertation, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris).
- [3] Gahn, S. J., & González, A. (2020). On the 'utilisation controversy': a comment. *Cambridge Journal of Economics*, 44(3), 703-707.
- [4] Thimann, C. (2016). L'assouplissement quantitatif: un défi pour l'épargne à long terme et la sécurité financière des ménages. *Revue d'économie financière*, (1), 213-224.
- [5] Ciuculescu, E.-D. (2006). Synthèse et étude des propriétés de nanoparticules magnétiques de type coeur- coquille, thèse de Doctorat, Université de Toulouse III-Paul Sabatier.
- [6] Iravani, S., Korbekandi, H., Mirmohammadi, S. V., & Zolfaghari, B. (2014). Synthesis of silver nanoparticles: chemical, physical and biological methods. *Research in pharmaceutical sciences*, 9(6), 385-406.
- [7] Badoni, S. (2021). Développement de la RMN hyperpolarisée par DNP pour la détermination structurale de nanoparticules de ZnO stabilisées par des ligands (Doctoral dissertation, Université Grenoble Alpes).
- [8] Nasrollahzadeh, M., Sajadi, S. M., & Rostami-Vartooni, A. (2015). Green synthesis of CuO nanoparticles by aqueous extract of *Anthemis nobilis* flowers and their catalytic activity for the A3 coupling reaction. *Journal of Colloid and Interface Science*, 459, 183-188.
- [9] Jeon, M. J., Jeon, J. K., Suh, D. J., Park, S. H., Sa, Y. J., Joo, S. H., & Park, Y. K. (2013). Catalytic pyrolysis of biomass components over mesoporous catalysts using Py-GC/MS. *Catalysis Today*, 204, 170-178.
- [10] Fortunati, E., Mattioli, S., Visai, L., Imbriani, M., Fierro, J. L. G., Kenny, J. M., & Armentano, I. (2013). Combined effects of Ag nanoparticles and oxygen plasma treatment on PLGA morphological, chemical, and antibacterial properties. *Biomacromolecules*, 14(3), 626-636.
- [11] Wen, P., Wang, Y., Wang, N., Zhang, S., Peng, B., & Deng, Z. (2018). Preparation and characterization of melamine-formaldehyde/Ag composite microspheres with surface-

enhanced Raman scattering and antibacterial activities. *Journal of colloid and interface science*, 531, 544-554.

[12] Duval, E., Boukenter, A., & Champagnon, B. (1986). Vibration eigenmodes and size of microcrystallites in glass: observation by very-low-frequency Raman scattering. *Physical Review Letters*, 56(19), 2052.

[13] Hodak, J. H., Henglein, A., & Hartland, G. V. (2000). Coherent excitation of acoustic breathing modes in bimetallic core– shell nanoparticles. *The Journal of Physical Chemistry B*, 104(21), 5053-5055.

[14] Maestrutti, M. (2007). *Les imaginaires des nanotechnologies* (Doctoral dissertation, Paris 10).



PARTIE
EXPERIMENTALE



Chapitre 3 : Techniques de caractérisations

1. Introduction

Pour avoir une idée des différentes propriétés des nanoparticules élaborées, afin de tirer des conclusions sur le protocole utilisé et de déterminer les facteurs à améliorer pour obtenir de bons résultats, il est nécessaire de réaliser une série de techniques d'analyse sur chaque échantillon élaboré. Ces techniques comprennent la diffraction des rayons X (DRX), la microscopie électronique à balayage (MEB), la spectroscopie infrarouge et la spectroscopie UV-Vis.

En utilisant ces différentes techniques, nous pouvons obtenir des informations complètes sur les propriétés physiques, chimiques et optiques des nanoparticules élaborées, ce qui nous aide à améliorer les méthodes utilisées dans leur élaboration et à obtenir de meilleurs résultats. [1]

2. Analyse spectrale de la lumière visible et ultraviolette (UV-Vis)

La spectroscopie UV-Vis (ultraviolette-visible) est une technique analytique utilisée pour mesurer la quantité de longueurs d'onde absorbées ou transmises à travers un échantillon. Cette technique repose sur l'absorption de la lumière par l'échantillon et son effet sur sa composition, ce qui permet de déterminer les composants et leur concentration. La lumière transporte une certaine quantité d'énergie, les longueurs d'onde les plus courtes transportant une plus grande quantité d'énergie. Lorsque l'énergie de la lumière correspond aux écarts d'énergie entre l'état fondamental et l'état excité des électrons dans la substance, l'absorption de la lumière se produit dans l'échantillon. La spectroscopie UV-Vis est utilisée pour obtenir des informations qualitatives sur les liaisons des substances et déterminer la concentration des composants absorbants dans l'échantillon. Cette méthode est non destructive et rapide, ce qui la rend utile en chimie, en analyse chimique et en biochimie [1].

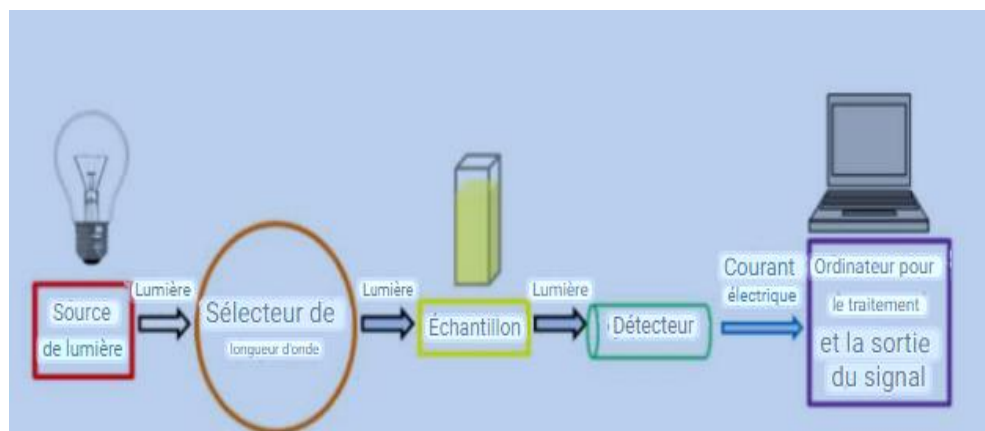


Figure III.1: Schéma simplifié des principaux composants d'un spectrophotomètre UV-Vis.

Le principe de la spectroscopie ultraviolette-visible (UV-Vis) repose sur l'absorption de la lumière et les transitions électroniques dans les molécules. Les énergies utilisées dans ces processus se situent généralement au même niveau d'énergie que les liaisons moléculaires, et elles peuvent parfois provoquer la rupture de ces liaisons. Les transitions électroniques sont décrites par la longueur d'onde et le coefficient d'absorption molaire. Ces transitions se produisent dans les régions ultraviolette et visible du spectre, et une plage spécifique du spectre est utilisée pour l'analyse, chaque région ayant ses propres caractéristiques. Les règles de sélection déterminent si les transitions électroniques sont autorisées ou interdites, en fonction de la correspondance entre l'énergie du photon, les écarts d'énergie entre les états et les changements de moment dipolaire [2].

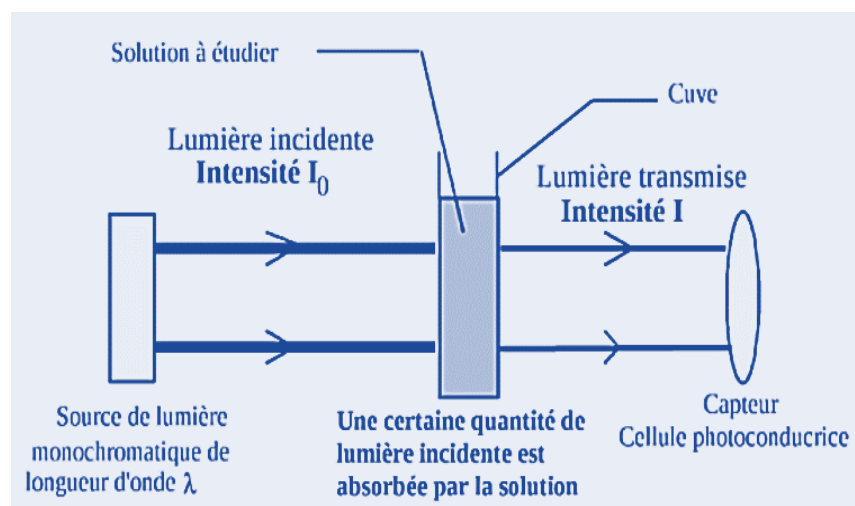


Figure III .2 : Schéma illustrant le principe du système UV-Vis

- Les transitions électroniques dans les molécules se produisent dans les régions des rayons ultraviolets et visibles.
- Les rayons ultraviolets sont divisés en rayons ultraviolets proches et en rayons ultraviolets lointains.
- La plage utilisée dans l'analyse est de 190 à 400 nanomètres pour les rayons ultraviolets et de 400 à 800 nanomètres pour le visible.
- Chaque région spectrale a ses propres caractéristiques. Par exemple, les rayons ultraviolets favorisent le bronzage de la peau et stimulent la production de vitamine D.

- Les règles de sélection déterminent si la transition électronique est autorisée ou interdite, en fonction de la correspondance entre l'énergie du photon, la différence d'énergie entre les états et le changement de moment dipolaire [3].

3. Analyse spectrale infrarouge

Les ondes infrarouges sont des ondes électromagnétiques thermiques générées par des objets et des particules chaudes. Lorsqu'elles sont absorbées par des objets, l'énergie des ondes infrarouges se manifeste sous forme de chaleur, car cette énergie excite les atomes de la matière, augmentant ainsi leur mouvement vibratoire et donc leur température. Les rayons infrarouges se situent après les rayons visibles et avant la région des micro-ondes, et ils peuvent affecter les niveaux d'énergie vibratoire et rotationnelle des molécules. Ils sont divisés en trois principales zones : les infrarouges proches ($1200-4000\text{ cm}^{-1}$), les infrarouges moyens ($200-4000\text{ cm}^{-1}$) et les infrarouges lointains ($10-200\text{ cm}^{-1}$) [4].

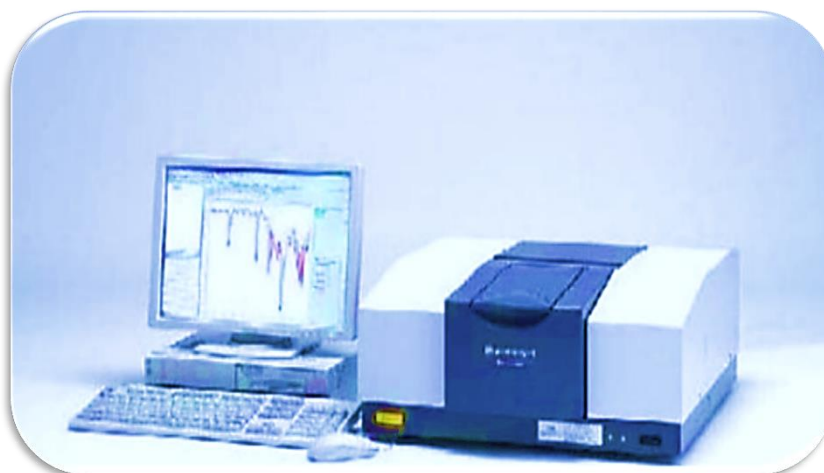


Figure III.3 : Dispositif de spectroscopie infrarouge [4]

Le principe de l'identification des groupes fonctionnels dans les composés chimiques repose sur la spectroscopie infrarouge. La spectroscopie infrarouge repose sur l'énergie de vibration des molécules, qui représente à la fois l'énergie potentielle et l'énergie cinétique des molécules dues à leurs mouvements vibratoires. Lorsque la polarisation du composé change, il y a absorption des rayons infrarouges. Les photons doivent avoir une énergie égale à l'énergie de transition de la molécule, lui permettant de passer d'un état d'énergie basse à un état excité, convertissant ainsi cette énergie en énergie vibratoire [4,5].

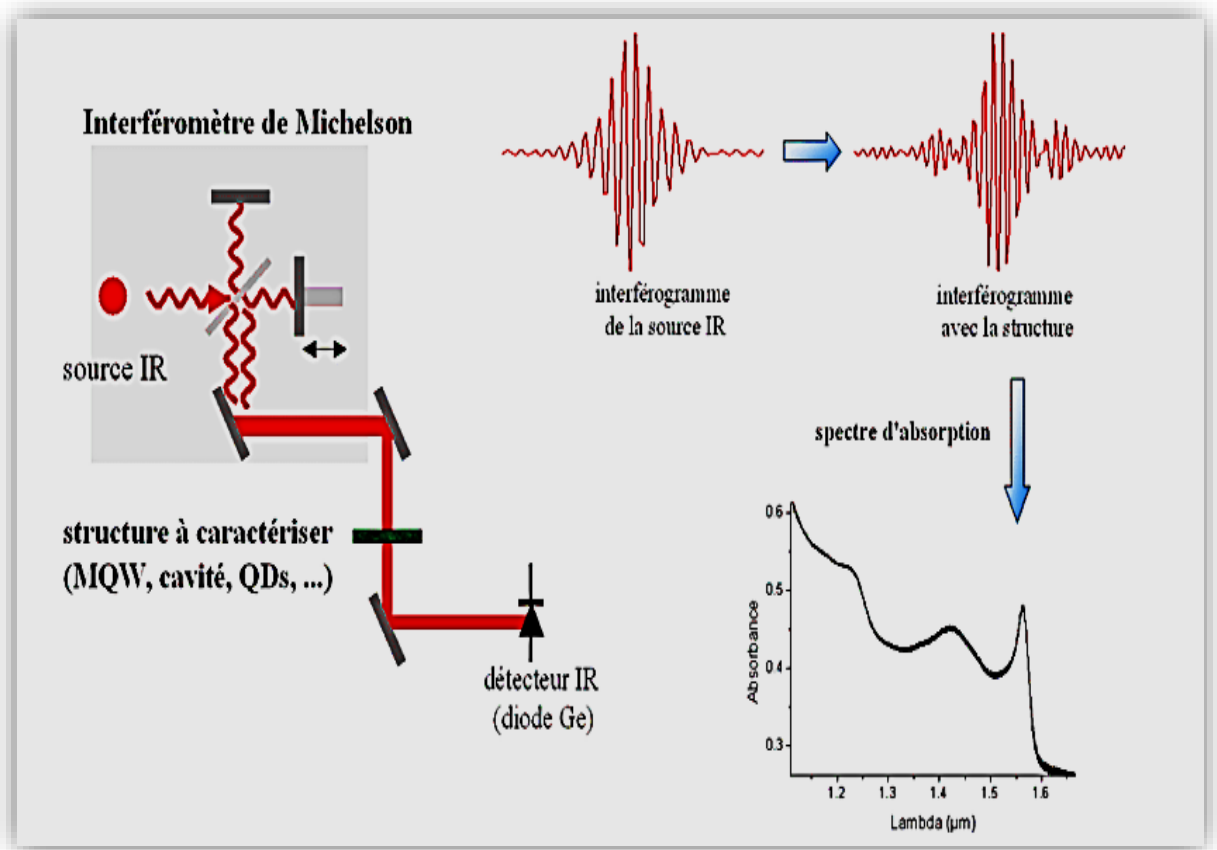


Figure III.4: Principe de fonctionnement de la spectroscopie FTIR [6].

4. Diffraction des rayons x (XRD)

La diffraction des rayons x (XRD) est l'une des méthodes les plus couramment utilisées pour étudier l'état cristallin des solides. Lorsque les rayons X traversent un cristal, leur diffraction nous fournit une excellente mesure de la proximité du matériau avec un état cristallin idéal ou avec un état vitreux (non cristallin) [7].



Figure III.5 : L'appareil à diffraction des rayons x

La loi de Bragg stipule que les ondes des rayons X se superposent de manière constructive lorsqu'elles rencontrent des plans parallèles du réseau cristallin, comme illustré dans la figure (III.6). Si la distance entre les plans parallèles est représentée par (d), la différence de chemin entre les faisceaux des rayons X réfléchis à partir de ces plans du réseau cristallin donne lieu à une réflexion régulière et se produit à partir des plans supérieurs et de la surface [7].

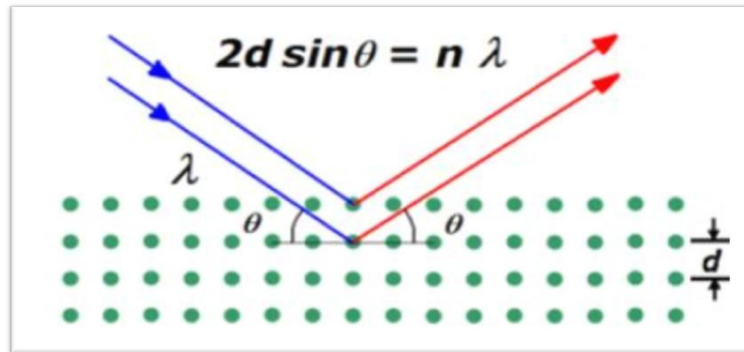


Figure III.6 : Schéma illustrant la diffraction des rayons X sur les plans cristallins [7]

Lorsque θ représente l'angle d'incidence limité entre le faisceau incident et la surface réfléchissante, une interférence constructive des faisceaux réfléchis se produit lorsque la différence de chemin est égale à un nombre entier de longueurs d'onde du faisceau incident. Ainsi, la condition de diffraction est satisfaite lorsque :

$$2 d \sin \theta = n \lambda \quad (\text{III. 1})$$

Lorsque n représente l'angle d'ordre de diffraction, cette relation est connue sous le nom de loi de Bragg. Il en découle que la réflexion à partir de plans parallèles espacés d'une distance d spécifique ne se produit qu'à des angles déterminés (angles de Bragg). De plus, il est nécessaire que la longueur d'onde soit égale ou inférieure au double de cette distance [7], soit :

$$n \lambda \leq 2d \quad (\text{III. 2})$$

5. Microscope électronique à balayage (MEB)

Le microscope électronique à balayage (MEB) est un type de microscope électronique qui permet de visualiser un échantillon en le balayant avec un faisceau d'électrons à haute énergie [4].

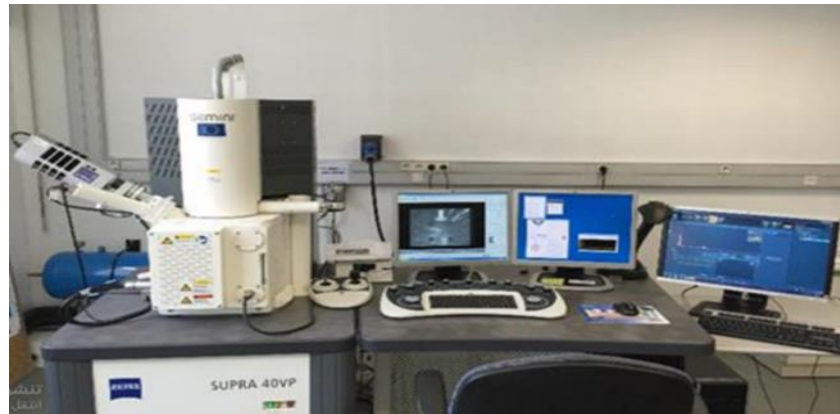


Figure III.7 : Microscope électronique à balayage (MEB) [4]

Les électrons interagissent avec les atomes constituant la surface de l'échantillon, produisant des signaux qui contiennent des informations sur la géométrie de la surface, sa composition et d'autres propriétés telles que la conductivité électrique. Ces signaux proviennent du faisceau d'électrons qui entre en collision avec l'échantillon. La méthode de détection la plus couramment utilisée dans le microscope électronique à balayage est la détection des électrons secondaires. Il est noté que le microscope à balayage est capable de produire des images avec une résolution très élevée de la surface de l'échantillon, atteignant des tailles allant de 1 à 5 nanomètres. Les images obtenues au microscope à balayage sont en trois dimensions, ce qui aide à comprendre la structure de surface de l'échantillon [8,9].

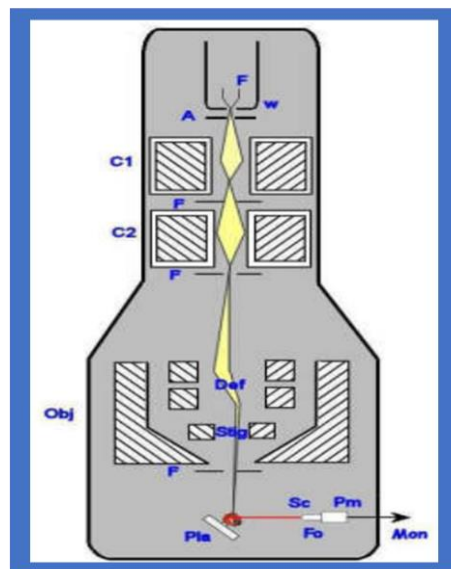


Figure III.8 : Schéma du montage d'un Microscope à Balayage Electronique (MEB) [10]

Conclusion


Dans ce chapitre, nous avons décrit différentes techniques de caractérisation des nanoparticules. Par exemple, nous avons utilisé la microscopie électronique à balayage (MEB) pour déterminer la morphologie des particules. Nous avons également utilisé la diffusion des rayons X (DRX) pour obtenir des informations sur les orientations cristallographiques de croissance (telles que l'orientation préférentielle et la taille des grains). De plus, la spectroscopie ultraviolette (UV-Vis) a été utilisée pour différencier les propriétés optiques telles que la transmission et l'absorption de la lumière, ainsi que pour estimer la bande interdite optique. La spectroscopie FTIR nous permet de détecter les vibrations caractéristiques des liaisons chimiques. La connaissance exhaustive de toutes ces caractéristiques nous aide à déterminer les propriétés uniques de nanoparticules en vue de les orienter vers une application spécifique avec précision.

Références

- [1] Alouache, A. (2019). Synthèse, caractérisation et étude électrochimique de nouvelles structures bases de Schiff bidentates et leurs complexes: Identification par rayons-X (Doctoral dissertation).
- [2] SAHRAOUI, W., & MEKHLOUFI, R. Synthèse vert et caractérisation des nanoparticules à base de CuO et leur application en photocatalyse (élimination de bleu de méthylène) (Doctoral dissertation, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA).
- [3] Jacques, V. (2009). Application de la diffraction cohérente des rayons X à l'étude de défauts topologiques dans les structures atomiques et électroniques (Doctoral dissertation, Université Paris Sud-Paris XI).
- [5] Décombe, L. P. (1909). La célérité des ébranlements de l'éther: L'énergie radiante.. (No. 9). C. Naud.
- [6] Levallois, C. (2006). Étude et réalisation de lasers à cavité verticale mono et multi-longueurs d'onde émettant à 1, 55 μm (Doctoral dissertation, INSA de Rennes).
- [8] Jang, H. M., Moon, J. H., & Shin, H. J. (1991). An enhanced rate of the high-Tc phase formation in the Bi–Ca–Sr–Cu–O superconductor by the two-step reaction and rapid heating. *Journal of materials research*, 6(5), 916-927.
- [9] Bernard, C. (2007). Propriétés mécaniques des nanotubes de carbone en tant que nanosondes et leur fonctionnalisation par bio-nanoparticules (Doctoral dissertation, Université Sciences et Technologies-Bordeaux I)
- [10] Sofiani, Z. (2007). Contributions à l'étude des propriétés optiques non linéaires de nanoparticules en couches minces à base de ZnO (Doctoral dissertation, Université d'Angers).

Les références arabes :

- [4] غطاس, بودينة, & سلاف . Biosynthèse de nanoparticules à base d'extrait de plante (Doctoral dissertation, جامعة قاصدي مرباح ورقلة).
- [7] امل ابراهيم ابراهيم لبد. (2013). اثر بعض موضوعات منهاج العلوم بتطبيقات النانوتكنولوجي واثره على مستوى الثقافة العلمية لطلبة الصف الحادي عشر في غزة (Doctoral dissertation, Al-Azhar University, Gaza).



**Chapitre 4 : Synthèse et
caractérisation de
nanoparticules bimétallique**

1. Introduction

La synthèse de nanoparticules bi métalliques (NPs) a fait l'objet d'intenses recherches au cours de la dernière décennie, principalement en raison de leurs propriétés uniques et de leurs applications potentielles d'un point de vue technologique. Elles sont actuellement utilisées dans différents domaines technologiques et diverses méthodes de synthèse chimique ont été rapportées.

Dans ce chapitre, nous passerons en revue quelques études basées sur la synthèse verte de certaines nanoparticules bi métalliques synthétisées à partir d'extraits de plantes, ainsi que les techniques de leur caractérisation.

2. Synthèse de nanoparticules de Mg@ZnO à partir de *Portulaca oleracea*

Dans cet article, les nanocomposites de Mg@ZnO ont été biosynthétisées à l'aide d'une biomasse (extrait végétal de *Portulaca oleracea*).

Les caractéristiques chimiques et physiques des nanocomposites de Mg@ZnO ont été étudiées à l'aide de diverses techniques de caractérisation, notamment FTIR, UV, XRD et MEB [1].

2.1 Synthèse de nanocomposites Mg@ZnO

Au départ, 0,3 mg de ZnO y a été dispersé dans 70 ml d'eau bi-distillée, ont été mélangés pendant 2 heures. La solution de ZnO dispersée a ensuite été mélangée avec 70 ml de 0,04 MgCl₂ et 70 ml d'extrait de *Portulaca oleracea*, et la réaction a été agitée à 80 °C pendant 2 h. Le nanocomposite a ensuite été retiré de la solution par centrifugation à 10 000 rpm pendant 15 min, séché pendant 24 h à 100 °C dans un four à air chaud, puis calciné pendant 4 h à 550 °C. Le produit en poudre du nanocomposite Mg@ZnO a été broyé dans un mortier et un pilon [1].

2.2 Résultats et discussion

2.2.1 Étude de la structure

La phase et la cristallinité des nanoparticules de ZnO pures et décorées au magnésium (Mg²⁺), telles qu'elles ont été fabriquées, ont été étudiées par XRD. Leurs spectres sont présentés dans la figure IV.1.

Les pics XRD de Mg@ZnO ont montré des pics cristallins d'oxyde de zinc similaires avec deux pics supplémentaires liés aux ions magnésium situés autour de 49,60° et 54,65° correspondant à la carte JCPDS N° : 96-900-8507. Ces deux pics indiquent la présence de magnésium dans les nanoparticules de ZnO décorées, confirmant la construction réussie d'un composite hybride (Mg@ZnO).

Les valeurs des constantes de réseau du ZnO pur et des nanoparticules de ZnO décorées de Mg sont respectivement ($a=3,2493 \text{ \AA}$; $c=5,2057 \text{ \AA}$) et ($a=3,2093 \text{ \AA}$; $c=5,2103 \text{ \AA}$). En conséquence, la taille moyenne des cristallites a été évaluée à l'aide de la formule de Scherrer.

La taille moyenne des cristallites est de 22,40 nm et 21,84 nm pour les nanoparticules de ZnO pur et de Mg@ZnO respectivement [1].

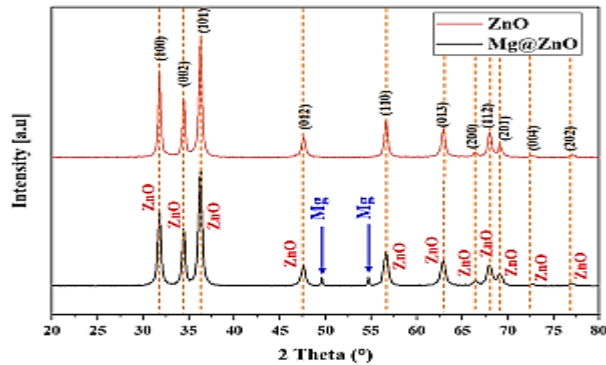


Figure IV.1 : Schéma de diffraction des rayons X du ZnO et des NPs Mg@ZnO

2.2.2 Études optique

La figure 2 illustre les spectres d'absorption UV-Vis des nanoparticules de ZnO pures et décorées de Mg en fonction de la longueur d'onde dans la gamme 200-800 nm. La figure IV.2 montre que les nanoparticules de ZnO et de Mg@ZnO ont une forte absorbance à 366 nm. Cela s'explique par le fait que les molécules dans l'état d'énergie le plus bas qui sont excitées à des niveaux d'énergie plus élevés absorbent une plus grande partie de l'énergie des photons incidents [1].

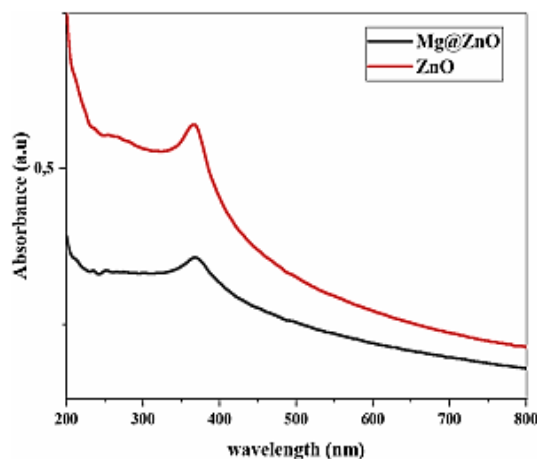


Figure IV.2 : Spectres d'absorption UV-Vis du ZnO et des NPs Mg@ZnO

2.2.3 Études fonctionnels

La figure IV.3 montre les spectres FTIR de l'extrait de *Portulaca oleracea* ainsi que des nanoparticules de ZnO pures et décorées au Mg.

La présence de groupes fonctionnels de *Portulaca oleracea* pour la formation de ZnO a été confirmée par cette analyse. Les résultats confirment que les composés poly phénoliques de l'extrait de *Portulaca oleracea* sont responsables de la formation de nanoparticules de ZnO.

L'apparition de la bande à 1048 et 1406 cm^{-1} pourrait être attribuée à C-O (étirement) et C = O en raison de l'acidité de Lewis et cet étirement symétrique CO en raison du groupe d'acidité de Bronsted qui est présents sur la surface des nanoparticules. Alors que l'étirement vibratoire à 608 cm^{-1} montre la présence de l'étirement Zn-O correspondant, ce qui est cohérent avec une structure würtzite.

L'intensité des pics dans le spectre IR de l'extrait de *Portulaca oleracea* a été réduite dans les spectres de ZnO et de Mg@ZnO. Il est donc confirmé que les composés poly phénoliques de *Portulaca oleracea* agissent comme des agents réducteurs, couvrants et liants [1].

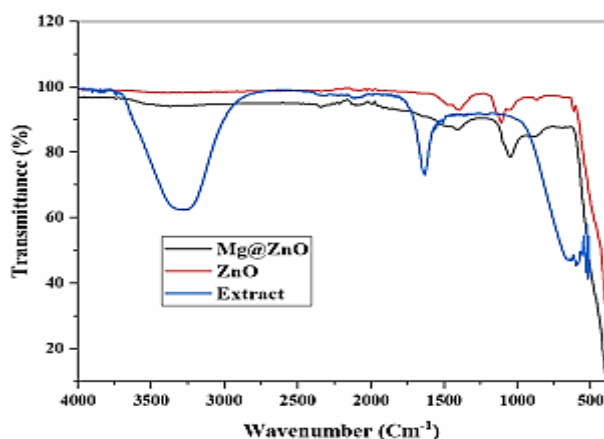


Figure IV.3 : Spectres FTIR du ZnO et des NPs Mg@ZnO

2.2.4 Études morphologiques

La morphologie des nanoparticules synthétisées étudiées à l'aide de l'analyse MEB est présentée dans la figure IV.4. Comme on peut le voir, les particules ont des formes irrégulières et des tailles différentes. D'après les histogrammes de distribution de la taille des particules, la taille moyenne des échantillons de ZnO et de Mg@ZnO était respectivement de 85 et 75 nm [1].

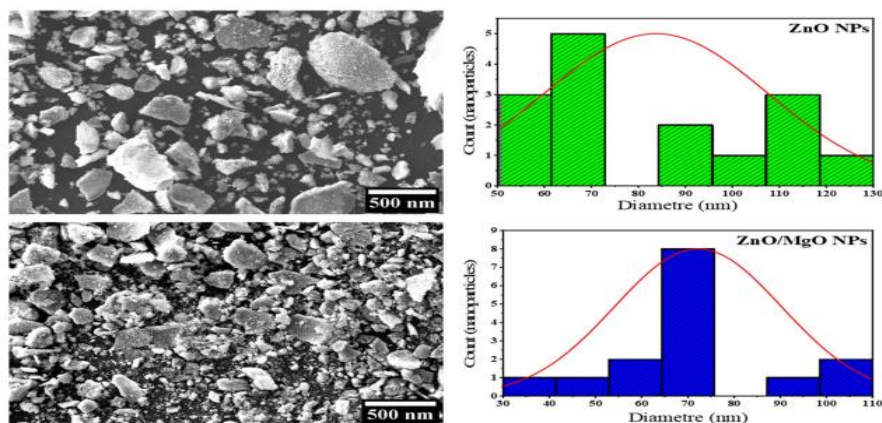


Figure IV.4 : Image MEB du ZnO et du Mg@ZnO

3. Synthèse verte de nanoparticules bi métalliques Ag-ZnO à partir d'un extrait de feuille de *Trigonella foenum-graecum*

Dans la présente étude, la synthèse biologique de nanoparticules bi métalliques Ag-ZnO a été réalisée à l'aide d'un extrait hydro alcoolique de feuilles de fenugrec. Les nanoparticules bi métalliques métal/oxyde semi-conducteur sont excellentes en raison de leurs propriétés optiques, électriques, magnétiques et chimiques qui ne sont pas détectées dans les composants individuels. Les nanoparticules bi métalliques Ag-ZnO synthétisés ont été étudiés à l'aide de méthodes telles que FTIR, UV vis, et SEM-EDX [2].

3.1 Synthèse de nanoparticules bi métalliques Ag-ZnO

Une solution d'AgNO₃ (1,96 mg dans 4 ml d'éthanol à 50 %) et un extrait condensé de fenugrec (10 ml) ont été ajoutés à la solution d'hydroxyde de potassium/nitrate susmentionnée et agités pendant 5 minutes. Le mélange entier a été transféré dans un récipient en téflon et chauffé à 120 °C pendant 12 heures dans un four. Immédiatement après la centrifugation, le précipité a été dissous dans de l'eau distillée et l'éthanol de mercure a été centrifugé plusieurs fois. Le précipité final a été séché à température ambiante dans l'obscurité, puis placé dans un four à 400 °C pendant 2 heures [2].

3.2 Résultats et discussion

3.2.1 Étude de la structure

La cristallinité et la pureté des nanoparticules bi métalliques Ag-ZnO synthétisés, ainsi que d'autres caractéristiques, ont été étudiées par cristallographie à rayons X. Le diagramme XRD des nanoparticules bi métalliques Ag-ZnO synthétisés à l'aide de l'extrait de fenugrec est illustré à la figure IV.5. Les six pics principaux montrés aux valeurs 2θ de 32,34, 34,63, 36,45, 47,5, 56,73, 63,07 et 68,08 peuvent être liés à la phase ZnO. Par ailleurs, les quatre principaux pics apparaissant aux valeurs 2θ de 38,26, 44,45, 64,56 et 77,48 peuvent être liés à la phase Ag.

Sur la base des résultats de l'analyse XRD, on peut conclure que le produit obtenu à partir de la synthèse verte utilisant l'extrait de Fenugrec est un complexe composé de nanoparticules d'Ag et de ZnO. Par conséquent, les résultats XRD confirment que l'Ag a été introduite avec succès dans le nanoparticules bi métalliques Ag-ZnO [2].

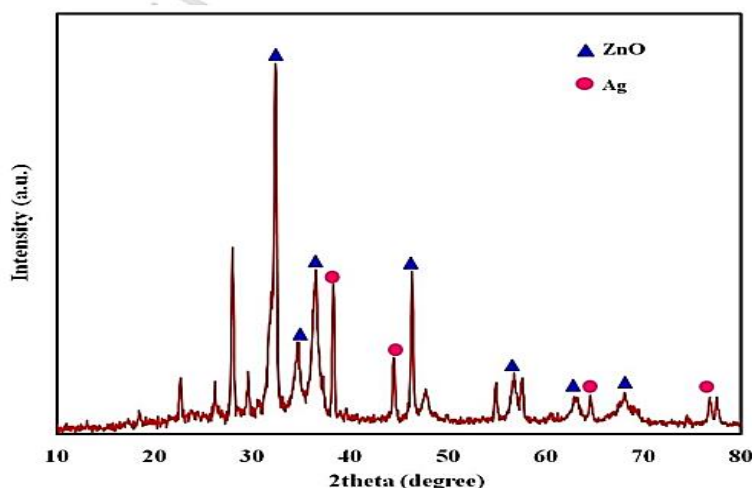


Figure IV.5 : Diagramme XRD des nanoparticules bi métalliques Ag-ZnO

3.2.2 Études optique

La spectroscopie d'absorption UV est une approche préliminaire et très performante pour examiner la synthèse biologique des nanoparticules. La figure IV.6 montre la spectroscopie d'absorption des nanoparticules bi métalliques synthétiques Ag-ZnO dans le spectre UV-visible. En ce qui concerne les nanoparticules bi métalliques Ag-ZnO synthétisés, la large bande à 450 nm indique la présence de nanoparticules d'Ag et la forte bande à 369 nm indique la synthèse de nanoparticules de ZnO [2].

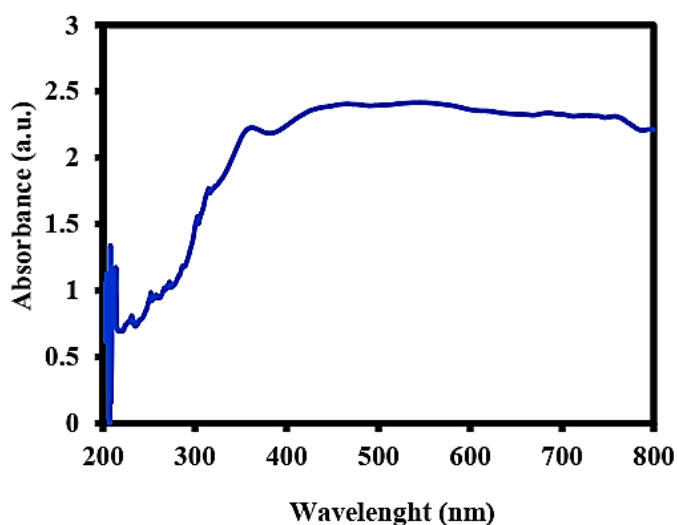


Figure IV.6 : Spectre d'absorption UV-Vis des nanoparticules bi métalliques Ag-ZnO

3.2.3 Études fonctionnels

Le spectre FTIR typique des nanoparticules bi métalliques Ag-ZnO est illustré à la figure IV.7. Les résultats des spectres FTIR ont montré que la bande nette à environ 520 cm^{-1} était liée à la vibration de la liaison ZnO dans la composition ZnO, et que les bandes faibles dans la plage de 900 à 1500 cm^{-1} appartenaient aux composants extraits à la surface des nanoparticules bi métalliques Ag-ZnO [2].

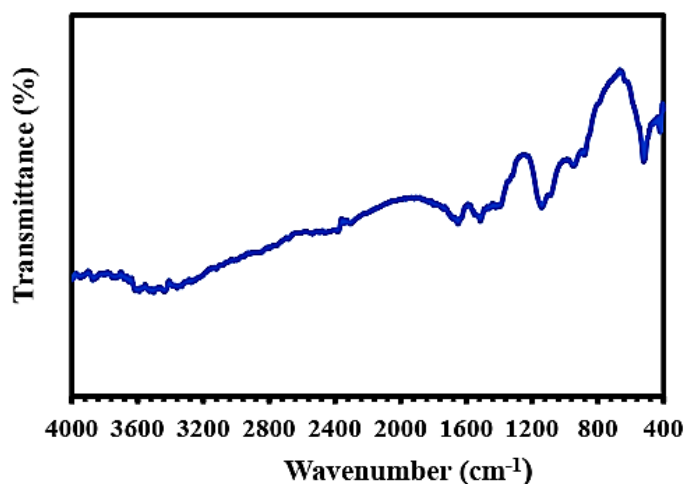


Figure IV.7 : Spectres FTIR nanoparticules bi métalliques Ag-ZnO

3.2.4 Études morphologiques

Le spectre EDX (IV.8a) a montré que les nanoparticules bi métalliques Ag-ZnO ont été synthétisées avec un pourcentage de pureté de 88,94, les impuretés étant liées aux étapes de préparation de l'échantillon. Dans la nanoparticule bi métallique Ag-ZnO synthétisé, le pourcentage en poids d'Ag était de 5,60, et le poids de ZnO était de 86,02.

La figure IV.8b montre les images de microscopie électronique à balayage (MEB). Les résultats des images MEB ont révélé que l'Ag était une nanoparticule sphérique et fine et que le ZnO se présentait sous la forme de bâtonnets et de plaques. Les constituants bioactifs de l'extrait de fenugrec sont impliqués dans la formation de nanoparticules d'Ag et de ZnO en tant qu'agents de réduction et de fermeture [2].

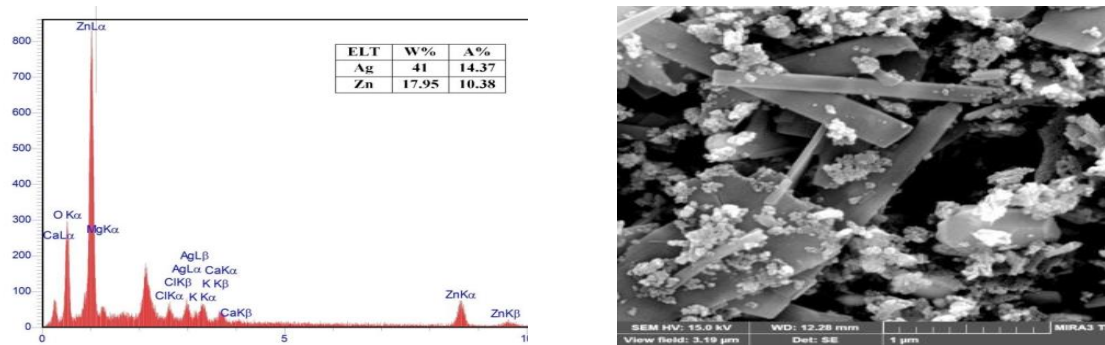


Figure IV.8 : (a) Analyse EDX de la nanoparticule bi métallique Ag-ZnO, (b) Images MEB de la nanoparticule bi métallique Ag-ZnO

4. Synthèse verte de nanoparticules bi métalliques Ag-ZnO à partir d'extraits de feuilles d'*Azadirachta indica*

Cet article étudie la synthèse de nanocomposites Ag-ZnO par la méthode hydrothermale en utilisant des extraits de feuilles d'*Azadirachta indica* dans différents solvants, à savoir l'eau et l'éthanol. La caractérisation des nanocomposites Ag-ZnO ainsi préparés a été effectuée à l'aide de la diffraction des rayons X (XRD), du microscope électronique à balayage (MEB), de la spectroscopie X à dispersion d'énergie (EDX) et de la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) afin d'examiner les propriétés structurales, morphologiques et optiques des nanocomposites préparés [3].

4.1 Synthèse de nanocomposites ZnO/CuO

La préparation en deux étapes du nanocomposite Ag-ZnO s'est faite tout d'abord par médiation verte suivie d'une approche hydrothermale (illustrée à la figure 2). Une solution de nitrate de zinc hexahydraté 0,9 M est préparée dans 20 ml d'eau bidistillée et une solution d'hydroxyde de sodium est ajoutée goutte à goutte à la solution ci-dessus.

La couleur de la solution passe d'aqueuse à laiteuse. Une solution de nitrate d'argent 0,1 M est ajoutée à la solution ci-dessus et 10 ml d'extrait de plante sont également ajoutés goutte à goutte. La couleur de la solution devient rouge foncé. La solution est maintenue sur l'agitateur magnétique pendant une demi-heure à une température de 60 °C, puis transférée dans un autoclave qui est maintenu dans un four pendant 8 h à 120 °C. Les précipités obtenus sont filtrés et lavés en utilisant simultanément de l'eau distillée double et de l'éthanol, puis séchés pour d'autres caractérisations. La même procédure est suivie pour préparer l'autre échantillon à l'aide de l'extrait végétal dans l'éthanol [3].

4.2 Résultats et discussion

4.2.1 Étude de la structure

Dans le cas de l'échantillon Ag-ZnO (éthanol), les pics positionnés à 31.81°, 34.45°, 36.28°, 47.58°, 56.611°, 62.90°, 66.36°, 67.91°, 69.09° et 72.54° indexés comme les plans (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), (201) et (004) respectivement ont confirmé la structure hexagonale wurtzite des NPs de ZnO correspondant ainsi aux données standards (JCPDS file N° 36-1451).

En revanche, dans le cas de l'Ag, les positions des pics sont similaires à celles du premier cas. Le pic positionné à 29.31° peut être dû à des molécules/protéines végétales. Le pic d'intensité le plus élevé du plan (101) dans les deux cas indique que l'orientation la plus préférable des nanoparticules de ZnO est dans le plan (101). Les motifs distincts de l'Ag et du ZnO confirment la formation d'une phase métallique Ag à la surface du ZnO, ce qui s'explique par le fait que le rayon ionique de l'argent (Ag^+), est plus grand que le rayon ionique du Zn^{2+} , ce qui permet de former un nanocomposite cristallin [3].

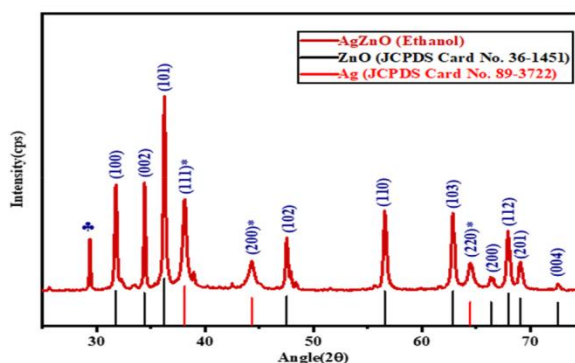


Figure IV.9 : Diagrammes de diffraction XRD du nanocomposite Ag-ZnO préparé dans l'extrait aqueux de feuilles

4.2.2 Études optique

La figure IV.10 montre le graphique UV-VIS des échantillons préparés à l'aide des différents extraits de neem et la bande interdite énergétique des deux échantillons est calculée à l'aide du diagramme de Tauc, comme le montre la figure IV.11. Les pics d'absorption maximum dans les deux échantillons ont été obtenus à 313 nm et un autre pic est obtenu à 439 nm dans le cas du nanocomposite Ag-ZnO utilisant l'extrait aqueux de feuilles de margousier et à 423 nm dans le cas de l'Ag-ZnO (éthanol), ce qui confirme l'interaction entre l'argent et l'oxyde de zinc. Le pic à 360 nm dans le cas de l'Ag-ZnO (éthanol) peut être attribué à la nature longitudinale des nanorods de ZnO. On peut constater qu'il y a une diminution remarquable de la bande interdite dans le cas du nanocomposite Ag-ZnO préparé à partir de l'extrait aqueux de

feuilles de margousier, qui est calculée comme étant de 2,5 eV et dans le cas des autres échantillons, elle était d'environ 3,0 eV [3].

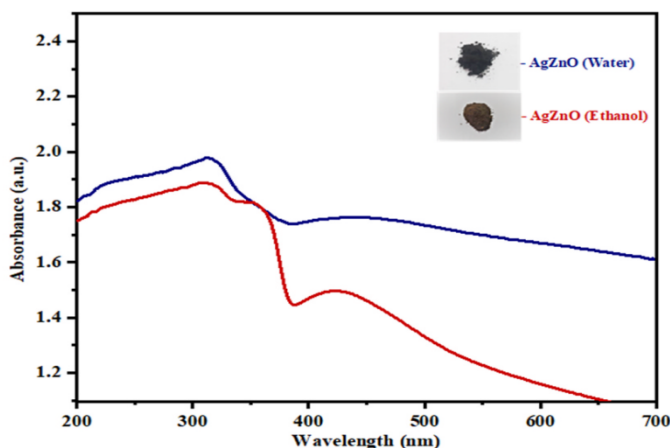


Figure IV.10 : UV-VIS des échantillons Ag-ZnO préparés à l'aide d'un extrait aqueux de feuilles de neem et d'un extrait de feuilles de neem à base d'éthanol.

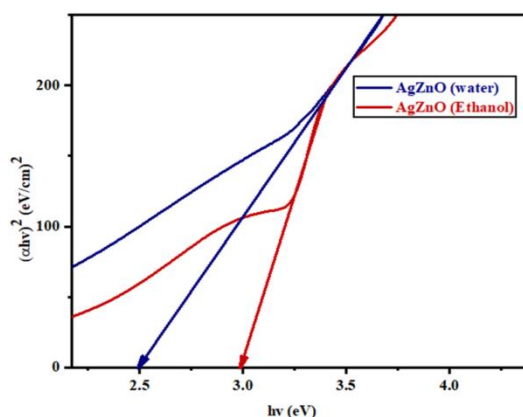


Figure IV.11 : Tracé de Tauc pour la mesure de la bande interdite.

4.2.3 Études fonctionnels

Le spectre FTIR des nanocomposites Ag-ZnO synthétisés à l'aide de l'extrait de feuilles de neem dans différents solvants ainsi que le spectre FTIR du neem pur. La forte bande d'étirement aux alentours de $3400\text{-}3248\text{ cm}^{-1}$ correspond au chevauchement de la vibration de flexion de N-H du groupe amine et de la vibration d'étirement OH du groupe phénolique dans l'extrait de feuilles de neem. Ces groupes OH présents dans les phénols agissent comme un agent réducteur de Zn^{+2} en ZnO et d' Ag^+ en Ag. Après avoir mélangé l'extrait de feuille de neem avec la solution de précurseur, une forte diminution de l'intensité du pic est capturée à 3333 cm^{-1} comme le montre la figure IV.12, ce qui justifie que les groupes phénoliques du neem participent à la réaction de réduction.

Le pic à 1637 cm^{-1} dans la feuille du neem correspond à l'étirement $\text{C}=\text{O}$ du groupe $-\text{COOH}$. Dans la littérature, il a été rapporté que ces groupes $\text{C}=\text{O}-\text{C}$ et $\text{C}=\text{O}$ peuvent agir en tant qu'agent stabilisateur.

Cependant, dans le cas de l'Ag-ZnO synthétisé en utilisant l'extrait de feuilles de neem dans différents solvants, la large bande de 3070 à 3400 cm^{-1} correspond à l'étirement du groupe O-H (hydroxyle) de l'eau absorbée et le petit pic à 1650 cm^{-1} est dû aux vibrations de flexion des groupes hydroxyde ($-\text{OH}$) absorbés à la surface des échantillons préparés. Le pic à 1580 cm^{-1} représente l'étirement du groupe $\text{C}=\text{O}$ dans le cas du nanocomposite Ag-ZnO (éthanol). La forte courbure à 1392 et 1362 cm^{-1} dans les deux tracés est due au mode de courbure des liaisons $\text{C}=\text{O}$ asymétriques. Les faibles courbures observées en dessous de 1045 cm^{-1} sont liées à des vibrations résiduelles organiques. La courbure près de 860 cm^{-1} est due à la courbure hors plan des liaisons C-H des alcènes. La bande d'absorption caractéristique à 500 cm^{-1} est liée aux liaisons Zn-O. Les graphiques montrent clairement que l'intensité des pics augmente dans le cas du nanocomposite Ag-ZnO (éthanol) [3].

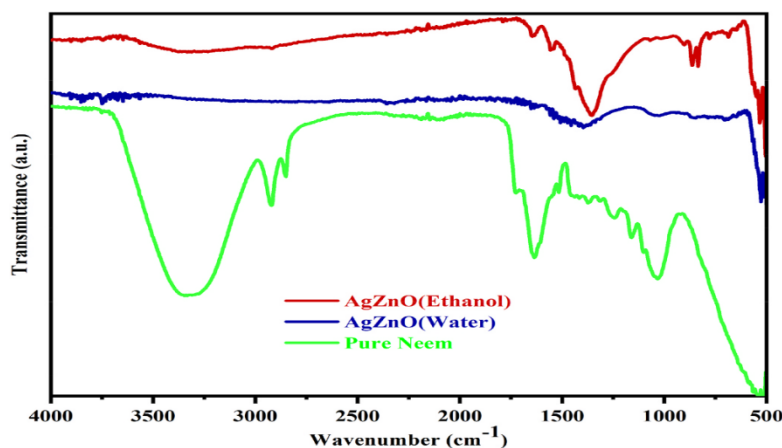


Figure IV.12 : Spectres FTIR du neem pur et des nanocomposites Ag-ZnO utilisant l'extrait aqueux de feuilles de neem et l'extrait de feuilles de neem à base d'éthanol.

4.2.4 Études morphologiques

La morphologie et la taille des particules dans les échantillons synthétisés sont étudiées à l'aide d'un microscope électronique à balayage (MEB). Lorsque le faisceau d'électrons tombe sur la surface de l'échantillon, divers signaux sont produits, notamment des électrons secondaires, des électrons rétrodiffusés, des électrons auger et des rayons X caractéristiques. Ces signaux, qui contiennent des informations sur la topographie et la composition de la surface, sont capturés à l'aide de détecteurs. Les nanoparticules d'Ag sphériques sont formées à la surface de ZnO et sont agrégées à la surface de ZnO avec une taille comprise entre 60 et 220 nm, voire moins, comme le montre la figure IV.13 [3].

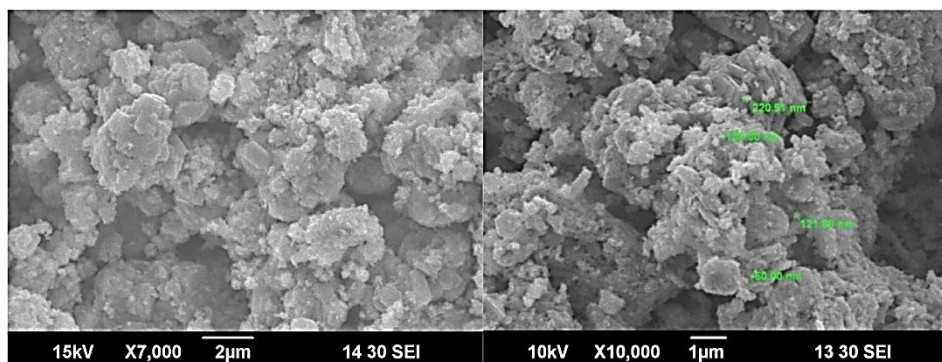


Figure IV.13 : Images MEB du nanocomposite Ag-ZnO synthétisé à l'aide d'un extrait aqueux de feuilles de neem.

3. Synthèse verte et caractérisation de nanocomposites ZnO- Ag par *Thymus vulgaris*

Dans cette étude, des nanocomposites ZnO-Ag ont été synthétisés à moins de 20 nm par une méthode bio-hydrothermique simple et respectueuse de l'environnement en utilisant un extrait aqueux de feuilles de *Thymus vulgaris* (Thym).

Les caractéristiques chimiques et physiques des nanocomposites de ZnO- Ag ont été étudiées à l'aide de diverses techniques de caractérisation, notamment FTIR, UV, XRD et MEB [4].

3.1 Synthèse de nanocomposites ZnO- Ag

Des solutions de nitrate d'argent (10/N), de nitrate de zinc (1 M) et d'hydroxyde de sodium (10 M) de différents volumes ont été préparées et mélangées sous agitation pendant 30 minutes. 0,5 ml d'extrait de feuille de thym a été ajouté à 11,5 ml de toutes les solutions ci-dessus et sonifié pendant 45 minutes. 12 ml de la solution ont été transférés dans une pochette en téflon et placés dans un autoclave. L'autoclave a été placé dans un four à air chaud pendant 4 heures à 150°C. Il a ensuite été refroidi à température ambiante et lavé plusieurs fois avec de l'eau bidistillée et de l'éthanol par centrifugation à 7000 rpm pendant 15 minutes. Le précipité a été recueilli et conservé pour séchage à 50°C pendant 24 heures [4].

3.2 Résultats et discussion

3.2.1 Étude de la structure

Les diagrammes XRD des NCs ZnO-Ag synthétisés ont été révélés par la mesure de diffraction des rayons X de la poudre. La figure IV.14 illustre le diagramme XRD des NCs ZnO-Ag. Les pics du diagramme XRD montrent la structure métallique face-centre-cubique (fcc) de l'Ag (carte JCPDS N° 04-0783) et la structure hexagonale wurtzite de ZnO (carte JCPDS N° 36-1451). Les pics XRD pour ZnO-Ag démontrent la formation de phases claires et distinctes pour l'Ag et le ZnO. La formation de phases distinctes pour le ZnO et l'Ag dans le

ZnO-Ag révèle la fabrication d'un nanocomposite cristallin. Les pics identifiés représentent la pureté du nanocomposite [4].

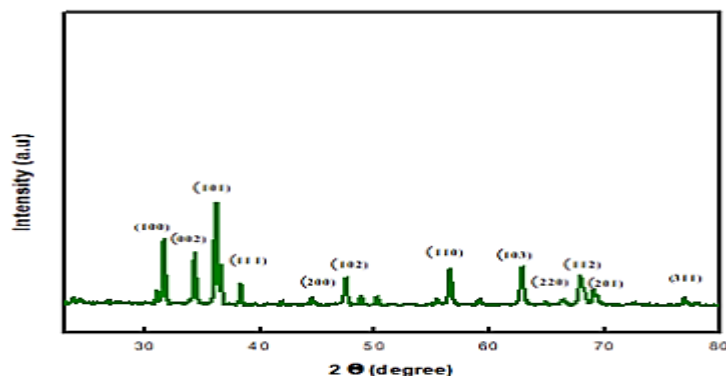


Figure IV.14 : Diagrammes XRD des NCs ZnO-Ag, des NPs ZnO et des NPs Ag

3.2.2 Études optique

L'absorption optique des NCs ZnO-Ag à température ambiante a été évaluée par spectroscopie UV-Vis. La figure IV.15 montre la spectroscopie UV visible des échantillons préparés et du ZnO pur. Le spectre UV-Vis des NCs ZnO-Ag présente un pic d'absorption maximal à 381 nm, tandis que le ZnO en vrac présente un pic à 373 nm [4].

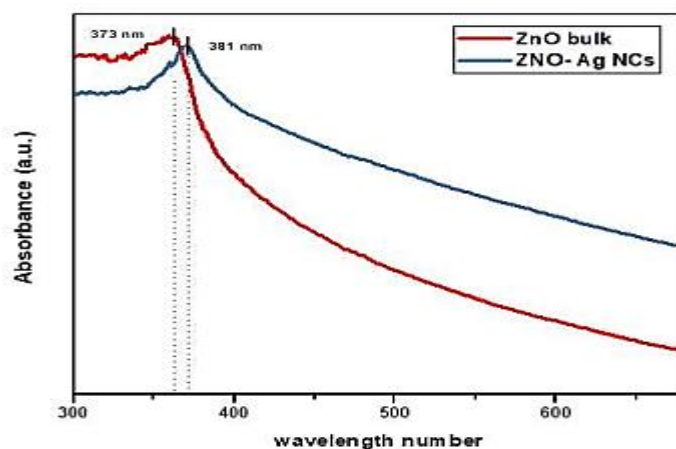


Figure IV.15 : Spectre d'absorption UV-vis des NCs ZnO-Ag et ZnO pur

3.2.3 Études fonctionnels

Le spectre IR typique de NCs ZnO-Ag est présenté à la figure IV.16. Le spectre FTIR de NC présente des pics importants à 458, 1380 et 3450 cm^{-1} . Le fort pic d'absorption à 460 cm^{-1} est attribué à la vibration d'étirement Zn-O des NP de ZnO. L'intensité du pic ZnO diminue après la formation de NP d'Ag à la surface des NP de ZnO. La bande spectrale à 1384 cm^{-1} correspond à l'étirement symétrique de l'acétate. L'existence d'une large bande à 3449 cm^{-1} correspond à la vibration d'étirement du mode O-H. Cela peut être dû au fait que l'acétate n'a

pas de mode d'étirement. Cela peut être dû aux groupes hydroxyles de l'eau. Le pic d'absorption à 1041 cm^{-1} dans l'extrait de feuilles de thym correspond à l'étirement C-N dans l'amine primaire. Le petit pic à 1615 cm^{-1} est attribué au mode de flexion O-H dû à l'adsorption de molécules d'eau.

L'extrait de feuilles de thym contient des composés polyphénoliques dont les principaux constituants sont le thymol, l'isothymol, suivis par les monoterpènes, le linalol et l' α -terpnoeol [4].

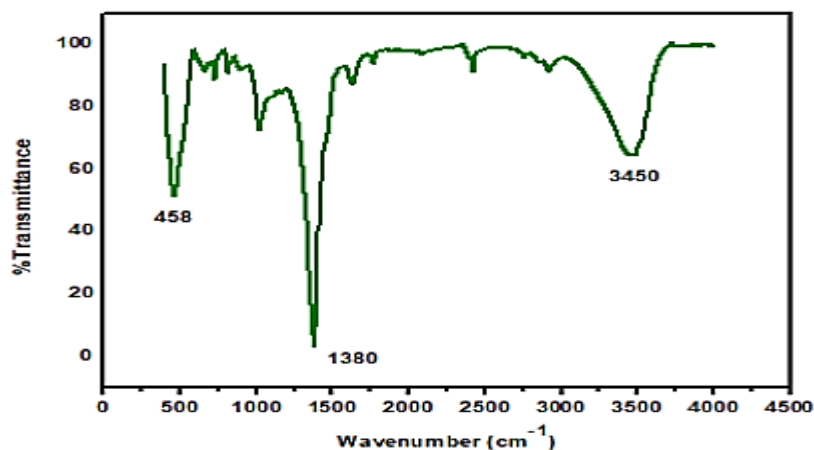


Figure IV.16 : Spectres FTIR de ZnO-Ag

3.2.4 Études morphologiques

La figure 8a illustre la morphologie et la taille des NC ZnO-Ag synthétisés à l'aide d'un MEB qui montre la formation de nanoparticules d'Ag sphériques de $\sim 20\text{ nm}$ à la surface des particules de ZnO. Les NCs étaient évidentes sur les images MEB. La taille des NC est inférieure à 20 nm . La figure 8b montre le schéma EDX correspondant. Le résultat montre qu'il n'y a pas d'autres impuretés dans le profil EDX. Les résultats EDX indiquent visiblement la présence de Zn, Ag et O dans les NC synthétisés. L'analyse élémentaire par EDX indique que 30,74, 15,90 et 53,36 pourcentages de poids des NCs sont respectivement pour le Zn, l'Ag et l'O [4].

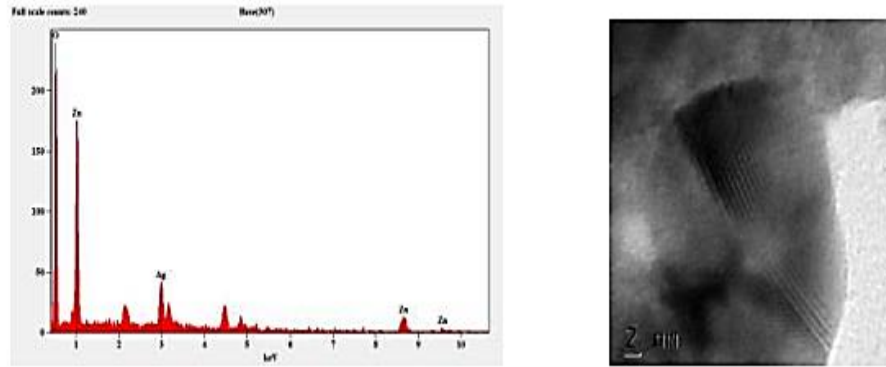


Figure IV.17 : (a) Image TEM montrant les bandes de réseau du ZnO et de l'Ag, (b) : Spectre EDX obtenu à partir du MEB pour les NCs ZnO-Ag

Références

- [1] Barani, D., Tedjani, M. L., Younes, Z., Meneceur, S., Laouini, S. E., & Hammami, H. (2023). Biomass-mediated synthesis of ZnO and Mg@ ZnO nanoparticles for enhancing the degradation of m-toluidine and p-toluidine. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(8), 7311-7318.
- [2] Noohpishch, Z., Amiri, H., Farhadi, S., & Mohammadi-Gholami, A. (2020). Green synthesis of Ag-ZnO nanocomposites using *Trigonella foenum-graecum* leaf extract and their antibacterial, antifungal, antioxidant and photocatalytic properties. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 240, 118595.
- [3] Slathia, Surbhi, Tripti Gupta, and R. P. Chauhan. "Green synthesis of Ag-ZnO nanocomposite using *Azadirachta indica* leaf extract exhibiting excellent optical and electrical properties." *Physica B: Condensed Matter* 621 (2021): 413287.
- [4] Zare, M., Namratha, K., & Byrappa, K. (2018). Green synthesis and characterization of ZnO-Ag nanocomposite by *Thymus vulgaris*. *Int. J. Sci. Res. Sci. Technol*, 4(5), 1636-1640.

A decorative horizontal frame with a scalloped, ornate border in a golden-brown color. The frame contains a light gray rectangular area in the center.

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude a abouti à des résultats intéressants sur la caractérisation de nanoparticules extraites de différentes plantes, notamment *Portulaca oleracea* L, *Trigonella foenum-graecum* L, *Azadirachta indica* et Le Thym. Les techniques de spectrophotométrie UV-Vis et d'analyse spectrale infrarouge (FTIR), ainsi que la microscopie électronique à balayage (MEB) et la diffraction des rayons X (DRX), ont été utilisées pour caractériser ces nanoparticules.

L'utilisation de la technique UV-Vis a permis de déterminer les propriétés optiques des nanoparticules, telles que l'absorption et l'émission, ce qui contribue à identifier leur composition et leur taille particulaire. La technique FTIR a quant à elle permis d'analyser les liaisons chimiques et les groupes fonctionnels présents dans les nanoparticules, fournissant ainsi des informations supplémentaires sur leur structure moléculaire.

L'utilisation de la technique DRX a contribué à déterminer les propriétés cristallines des nanoparticules et leur arrangement cristallin. Enfin, la technique MEB a été utilisée pour étudier la forme et la taille de surface des nanoparticules, ce qui a permis de mieux comprendre leur géométrie et leur distribution à l'échelle nanométrique.

Les résultats ont montré que les nanoparticules bimétalliques synthétisés par les extraits de *Portulaca oleracea* L, *Trigonella foenum-graecum* L, *Azadirachta indica* et le Thym possèdent des propriétés distinctives et une applicabilité dans divers domaines. Ces nanoparticules offrent des possibilités prometteuses dans des domaines tels que la médecine, l'industrie, l'agriculture et d'autres applications technologiques.

En résumé, la caractérisation des nanoparticules bimétalliques synthétisés par les extraits de *Portulaca oleracea* L, *Trigonella foenum-graecum* L, *Azadirachta indica* et le Thym à l'aide des techniques UV-Vis, FTIR, MEB et DRX a permis de mieux comprendre leur composition, leurs propriétés et leur distribution cristalline, ouvrant ainsi la voie à leur utilisation dans des applications futures novatrices et efficaces.

La synthèse de nanoparticules d'oxydes bimétalliques en utilisant des extraits aqueux de plantes est une technique simple, peu coûteuse, respectueuse de l'environnement et qui ne présente aucun danger pour la santé humaine. Par conséquent, cette technique nous permet de synthétiser des nanoparticules utilisées dans diverses applications chimiques, physiques, médicales, biologiques et pharmaceutiques.

Résumé

La technique de synthèse de nanoparticules d'oxydes métalliques en utilisant des extraits aqueux de plantes est utilisée pour produire des matériaux nanométriques aux propriétés uniques. La nanotechnologie et la nanobiotechnologie sont des domaines importants qui bénéficient de l'utilisation de nanoparticules dans divers domaines. L'utilisation d'organismes vivants et de leurs extraits pour synthétiser des nanoparticules métalliques est une méthode sûre et respectueuse de l'environnement. Les nanoparticules d'oxydes métalliques se distinguent par leurs propriétés chimiques et physiques uniques, ce qui les rend précieuses dans les applications scientifiques et technologiques

Mots-clés:

Nanoparticules, synthèse, extraits aqueux, propriétés uniques, nanotechnologie, applications.

Abstract

The technique of synthesizing metal oxide nanoparticles using aqueous extracts from plants is employed to produce nanoscale materials with unique properties. Nanotechnology and nanobiotechnology are important fields that benefit from the use of nanoparticles in various domains. Utilizing living organisms and their extracts to synthesize metal nanoparticles is a safe and environmentally friendly approach. Metal oxide nanoparticles are distinguished by their unique chemical and physical properties, making them valuable in scientific and technological applications.

Keywords:

nanoparticles, synthesis, aqueous extracts, unique properties, nanotechnology, applications.

ملخص:

تُستخدم تقنية تخليق جسيمات أكاسيد المعادن النانومترية باستخدام استخلاصات مائية من النباتات لإنتاج مواد نانومترية ذات خصائص فريدة. تعد النانوتكنولوجيا والنانوبيوتكنولوجيا مجالات مهمة تستفيد من استخدام الجسيمات النانوية في مجالات متنوعة. استخدام الكائنات الحية واستخلاصاتها لتخليق جسيمات المعادن النانومترية هو طريقة آمنة وصديقة للبيئة. تتميز جسيمات أكاسيد المعادن النانومترية بخصائصها الكيميائية والفيزيائية الفريدة، مما يجعلها قيمة في التطبيقات العلمية والتكنولوجية.

الكلمات المفتاحية: جسيمات أكاسيد المعادن النانومترية، تخليق، استخلاصات مائية، خصائص

فريدة، نانوتكنولوجيا، تطبيقات.