



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

Département de génie des procédés et la pétrochimie

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

Master académique

Filière : Génie des procédés

Option : Génie Chimique

Synthèse verte de nanoparticules de ZnO décorées

Soutenu le 05/06/2023

Présenté par :

Guessouma Zohra

Reguia Chaima

Saoud Faten

Djebali wessal

Ouellabi Saoussen

Devant le Jury:

Dr. Barani Djamel

Dr. Chaabia Nacer

Dr. Ben sghir Bachir

Encadreur

Examineur

Président

Université El Oued.

Université El Oued.

Université El Oued.

Année Universitaire : 2022-2023



Remercîments

Au nom de Dieu le Miséricordieux, Louange à Dieu, par la grâce duquel de bonnes actions ont été accomplies, et que la prière et la paix soient sur le Prophète de la miséricorde, Maintenant, nous remercions Dieu d'avoir pu accomplir ce mémoire après beaucoup d'efforts.

Nous ne pouvons manquer d'exprimer nos remerciements et notre gratitude à notre encadreur le **Docteur " BARANI Djamel "**, qui nous a accompagnés tout au long de cette recherche minutieuse et nous a guidés sur le chemin avec ses précieux et précieux conseils. Nous remercions également les membres du jury pour l'acceptation à examiner ce travail, sans oublier la contribution de l'administration du département et ces enseignants pour les facilités qu'ils nous ont fournies, ainsi que tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin par des conseils ou des critiques.





Dédicace

A mon père qui m'a dessiné et à ma mère qui l'a colorié... A ma soeur et mes frères... A
un ami fidèle qui ne m'a jamais abandonné... "Oussama".... Je leur dédie ce travail

Etudiant GUESSOUMA ZOHRA





Dédicace

Je dédie ce fruit de mes efforts à la première femme que mes yeux ont vue, la source de ma tendresse, à qui je cherche à plaire, et dont les pieds sont au paradis, ma mère, que Dieu la protège.

À qui le Seigneur m'a donné son amour et sa bonté, à qui a contribué à mon éducation et a cherché à être dans les rangs les plus élevés et les meilleurs, à la personne qui était derrière tous mes pas sur le chemin de la connaissance, mon père bien-aimé, que Dieu protège lui.

Et tout mon respect et ma profonde gratitude à tous mes frères Ikram, Nour Al-Houda, Mariam et mon cher frère Abd El-Nour.

Et à mon grand-père et ma grand-mère, que Dieu ait pitié d'eux tous, à toute la famille, amis et collègues qui m'ont accompagné et encouragé dans mes pas quand les jours les ont submergés... Vous avez tout mon amour et mon respect.

Etudiant WESSAL DJEBALI





Dédicace

À la première personne dont ma langue a prononcé le nom et mon cœur a battu, celle qui m'a donné l'espoir pour lequel je vis, à celle qui a donné sa vie pour moi et m'a ordonné d'accomplir sa mission dans la vie, alors elle a éclairé moi le chemin et elle était l'idéal pour nous, à celle à qui j'ai donné toute ma vie, ma mère, puis ma mère, puis ma mère bien-aimée

Que Dieu te protège pour nous et fasse de toi une lumière pour nous

À celui qui n'a pas d'égal qui a été et sera celui qui vit dans mes profondeurs et qui a été derrière chaque pas que j'ai fait sur mon chemin à celui qui m'a enseigné les principes de la vie et m'a élevé sur l'honnêteté et la sincérité, mon cher père, que Dieu le protège pour nous et fasse de lui un soutien dans nos vies

À qui la vie n'est pas complète sans eux mes chers frères Abd al-Hamid, al-Bashir, Muhammad, Abbas, et mes chères sœurs, Amal, Wasila, Masouda, Asmaa et la gâtée Khawla.

A mon grand-père et ma grand-mère, que Dieu ait pitié d'eux, à mes tantes, oncles, voisins et tous ceux que j'aime

A toutes celles avec qui je sirote tout l'amour, la fraternité et l'amitié, et avec qui j'ai eu les souvenirs les plus précieux et les plus beaux moments, mes amies et copines, chacune s'appelant Hizia, Faten, Sara, Ikram.

Etudiant REGUIA CHAIMA





Dédicace

Je dédie cette graduation à celle qui m'a appris à donner et à celle dont je porte le nom avec fierté, et j'espère que Dieu prolongera ta vie pour que tu voies des fruits dont le temps est venu d'être récoltés après une longue attente de « mon cher père. »

Et à mon ange dans la vie, au sens de l'amour, de la tendresse et de la dévotion, au sourire de la vie et au secret de l'existence, et à celle dont la supplication était le secret de ma réussite, ma très chère bien-aimée "ma mère bien-aimée".

Et à ceux qui ont un grand mérite à m'encourager et à me motiver, et de qui j'ai appris la persévérance et la diligence, et à ceux que je suis plus âgé et sur qui je compte, et à ceux avec la présence desquels j'ai acquis une force et un amour sans limites, et à ceux avec qui j'ai appris le sens de la vie, « mes frères et sœurs ».

Et à ceux qui jouissaient de la fraternité et se distinguaient par la loyauté et le don, et à ceux qui les accompagnaient dans les chemins heureux et tristes de la vie, j'ai marché, et à ceux qui étaient avec moi sur le chemin du succès et du bien, "mon cher amis » avec la grâce de Dieu,

Merci à tous ceux qui m'ont soutenu et m'ont donné un coup de main, et je demande à Dieu le succès pour vous et moi.

Etudiant SAOUD FATEN





Dédicace

Tous ceux qui ont prononcé la parole du monothéisme avec sa langue et y ont cru dans son cœur, à tous ceux qui ont prié pour le meilleur des créatures, Muhammad, que la paix et les bénédictions soient sur lui.

"Mes deux honorables parents, que Dieu les protège et prenne soin d'eux et prolonge leur vie."

A l'âme de mon grand-père et de ma grand-mère, que Dieu leur fasse miséricorde

À tous les membres de ma famille et à tous ceux qui m'ont aidé à terminer la recherche

À tous mes collègues de l'université.

Etudiant OUELLABI SAOUSSEN



ملخص

يعتبر التوليف الأخضر للجسيمات النانوية من المستخلص المائي لنباتات مختلفة ، تقنية بسيطة وسهلة وغير مكلفة وصديقة للبيئة.

في هذا الموضوع ، تم إجراء بحث بيبليوغرافي حول التوليف الأخضر لجسيمات ZnO النانوية وزخرفتها بمواد مختلفة. الهدف من هذه الدراسة هو تحسين خصائص الجسيمات النانوية ZnO ، والتي من خلالها يتم تحسين النشاط التحفيزي الضوئي للجسيمات النانوية. يهدف هذا البحث أيضًا إلى معرفة الظروف التجريبية من ناحية ، وقوة المستخلص الطبيعي للنباتات المختلفة في التوليف الأخضر للجسيمات النانوية من ناحية أخرى. تم استخدام العديد من تقنيات التوصيف مثل التحليل الطيفي المرئي للأشعة فوق البنفسجية ، والتحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء (FTIR) ، وحيود الأشعة السينية (XRD) والفحص المجهر الإلكتروني (SEM) لتوصيف الجسيمات النانوية ، مثل الجوانب البصرية والمورفولوجية والبلورية من ZnO وتزيينها الجسيمات النانوية ZnO

الكلمات المفتاحية

الجسيمات النانوية ، المستخلص ، الخصائص ، التوليف الأخضر ، أكسيد الزنك ، الزخرفة.

Résumé

La synthèse verte de nanoparticules à partir de l'extrait aqueux de différentes plantes est une technique simple, facile, peu coûteuse et respectueuse de l'environnement.

Dans ce sujet, une recherche bibliographique sur la synthèse verte de nanoparticules de ZnO, et leurs décorations par différents matériaux a été réalisée. L'objectif de cette étude est centré sur l'amélioration des propriétés de nanoparticules de ZnO, et à travers lequel améliorer l'activité photo catalytique des nanoparticules. Cette recherche vise à connaître aussi les conditions opératoires d'une part, et le pouvoir de l'extrait naturel de différentes plantes dans la synthèse verte de nanoparticules d'une autre part. Il y a beaucoup de techniques de caractérisation telles que la spectroscopie UV visible, la spectroscopie infrarouge (FTIR), la diffraction des rayons X (DRX) et la microscopie électronique à balayage (MEB) ont été utilisées pour la caractérisation de nanoparticules, tel que l'aspect optique, morphologique et cristallographique des nanoparticules de ZnO et ZnO décorée.

Mots Clés

Nanoparticules, extrait, propriétés, Synthèse verte, oxyde de zinc, décoration.

Abstract

The green synthesis of nanoparticles from the aqueous extract of different plants is a simple, easy, inexpensive and environmentally friendly technique.

In this subject, a bibliographic research on the green synthesis of ZnO nanoparticles, and their decoration by different materials was carried out. The objective of this study is focused on the improvement of the properties of ZnO nanoparticles, and through which to improve the photo catalytic activity of the nanoparticles. This research also aims to know the operating conditions on the one hand, and the power of natural extract of different plants in the green synthesis of nanoparticles on the other hand. Many characterisation techniques such as UV visible spectroscopy, infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) have been used for the characterisation of nanoparticles, such as optical, morphological and crystallographic aspects of ZnO and decorated ZnO nanoparticles

Key words

Nanoparticles, extract, properties, green synthesis, zinc oxide, decoration.

Sommaire

Remercîments

Sommaire

Liste des Figures

Liste des tableaux

Nomenclatures

Introduction générale 1

Chapitre I : Plantes et composés phénolique

Partie 1 : Plantes

1. Introduction	4
2. Plantes	4
2.1 Portulaca oleracea	4
2.2 Excoecaria agallocha	5
2.3 Strobilanthes crispus (B)	5
2.4 Carya illinoensis	6

Partie 2 : Les Composés Phénoliques

1. Définition des composés phénoliques	7
2. Classification	7
3. Propriétés chimiques des composés phénoliques	8
3.1 Nucléophilie	8
3.2 Propriétés réductrices	8
3.3 Polarisabilité	8
4. Conclusion	9

Chapitre II : Généralités et propriétés des nanoparticules de ZnO

1. Introduction	11
2. Nanoparticules de ZnO	11
3. Propriétés des nanoparticules de ZnO	11
3.1 Propriétés optiques	11
3.2 Propriétés cristallines	11
3.3 Propriétés catalytiques	12
3.4 Propriétés électriques	12
4. Méthodes de synthèse de nanoparticules de ZnO	12
4.1 Voies physiques	12

4.1.1 Condensation de la vapeur	12
4.1.2 Méthode laser	13
4.1.3 Pyrolyse par jet	13
4.2 Voies chimiques	13
4.2.1 Dépôt chimique en phase vapeur CVD	13
4.2.2 Hydrothermale	13
4.2.3 Pulvérisation pyrolytique	14
4.2.4 Méthode Sol gel	14
4.3 Synthèses vertes	14
5. Mécanisme de synthèse des nanoparticules	15
6. Application de nanoparticules de ZnO	15
6.1 Applications agricoles	15
6.2 Applications médicales	16
6.3 Application cosmétique	16
6.4 Application électronique et photovoltaïque	16
7. Conclusion	16

Chapitre III : Techniques de caractérisation

1. Introduction	18
2. Spectroscopie UV visible	18
2.1 Définition	18
2.2 Principe	18
3. Spectroscopie infrarouge FTIR	20
3.1 Définition	20
3.2 Principe	21
4. La diffraction de rayons DRX	21
4.1 Définition	21
4.2 Principe	22
5. La microscopie électronique à balayage MEB	23
5.1 Définition	23
5.2 Principe	24
6. Conclusion	25

Chapitre IV : Comparaison des nanoparticules de ZnO décorées avec celles fabriquées

1. Introduction	27
2. Exemple de décoration de nanoparticule de ZnO	27
2.1 Préparation de l'extrait végétal	27
2.2 Synthèse des nanoparticules de ZnO	27
2.3 Synthèse des nanoparticules de Mg@ZnO	27
3. Synthèse verte de nanoparticules de ZnO décorées d'Ag à l'aide d'un extrait d' <i>Excoecaria agallocha</i>	28
3.1 Diffraction des rayons X	28
3.2 Étude par FTIR	29
3.3 Spectroscopie UV-Visible	30
3.4 Études morphologiques	31
3.5 Résultat de la décoration sur l'activité photo catalytique	32
4. Synthèse des nanoparticules de ZnO décorées de La ₂ CuO ₄	32
4.1 Étude par FTIR	33
4.2 Étude par spectroscopie UV-Visible	33
4.3 Etude par diffraction des rayons X	34
4.4 Études morphologiques	35
4.5 Résultat de la décoration sur l'activité photo catalytique	36
5. Synthèse verte de nanoparticules de ZnO et de ZnO décorées par l'or	36
5.1 Etude par diffraction des rayons X	37
5.2 Études morphologiques	37
5.3 Étude par FTIR	38
5.4 Étude par spectroscopie UV-Visible	39
5.5 Résultat de la décoration sur l'activité photo catalytique	40
6. Conclusion	40
Conclusion	42
Références bibliographiques	44

Liste des Figures

Titre	Page
Chapitre I	
Figure I.1 : Feuilles de <i>Portulaca oleracea</i>	4
Figure I.2 : Feuilles d' <i>Excoecaria agallocha</i>	5
Figure I.3 : Feuilles de <i>Strobilanthes crispus</i> (B)	6
Figure I.4 : Fleur de <i>Carya illinoensis</i>	6
Chapitre III	
Figure III.1. Appareil Spectroscopie Uv visible	18
Figure III.2 Schéma du spectrophotomètre UV Visible	20
Figure III.3. Appareil Spectroscopie infrarouge (FTIR)	20
Figure III.4. Schéma du spectrophotomètre à transformée de Fourier (FTIR)	21
Figure III.5. Appareil Diffraction des rayons X (DRX)	22
Figure III.6. Schéma de principe du montage d'un diffractomètre DRX	23
Figure III.7. Appareil Microscope électronique à balayage (MEB)	23
Figure III.8. Schéma de principe du Microscope électronique à balayage (MEB)	24
Chapitre IV	
Figure IV.1 : DRX de a) ZnO b) Ag-ZnO (0.1 : 1) c) Ag-ZnO (0.25 : 1) d) Ag-ZnO (0.5 :1) nanoparticules	29
Figure IV.2 : Spectres FTIR de a) l'extrait de feuilles b) ZnO c) Ag-ZnO (0.5 :1) d) Ag-ZnO (0.25 :1) e) Ag-ZnO (0.1 :1) nanoparticules	30
Figure IV.3 : Images MEB de a) ZnO b) Ag-ZnO (0.1 :1) c) Ag-ZnO (0.25 : 1) d) Ag-ZnO (0.5 : 1) nanoparticules	32
Figure IV.4 : (A) Spectres FTIR de l'extrait de feuilles de <i>Strobilanthes crispus</i> et (B) de ZnO-La ₂ CuO ₄	33
Figure IV.5 : Énergie de la bande interdite de ZnO (A), La ₂ CuO ₄ (B) et ZnO-La ₂ CuO ₄ (C)	34
Figure IV.6 : Diagrammes DRX de ZnO, La ₂ CuO ₄ et ZnO-La ₂ CuO ₄	35
Figure IV.7 : (A) Images MEB des nanoparticules La ₂ CuO ₄ et (B) des nano composites ZnO-La ₂ CuO ₄ , (C) Spectre EDX des nano composites ZnO-La ₂ CuO ₄	36
Figure IV.8 : Diagrammes DRX de ZnO et Au@ ZnO	37
Figure IV.9 : Images MEB des nanoparticules de ZnO et Au@ ZnO	38
Figure IV.10 : Spectres FTIR des nanoparticules de ZnO et Au@ ZnO	39
Figure IV.11 : Spectres UV-Visible des nanoparticules de ZnO et Au@ ZnO	39

Liste des tableaux

Titre	Page
Tableau I.1 : Classification des composés phénoliques	7

Nomenclatures

PI	Le potentiel d'ionisation
ZnO	Oxyde de zinc
Nm	Nanomètre
CVD	Dépôt chimique en phase vapeur
CNS	Système nerveux central
UV VIS	Spectroscopie ultraviolette
FTIR	Spectroscopie infrarouge
DRX	Diffraction des rayons X
MEB	La microscopie électronique à balayage
KV	kilovolt
Tr / min	Le tour par minute
EV	Electronvolt
RH B	La Rhodamine-B
EDX	Energy dispersive X-ray spectrometr
NPs	Nanoparticules
pH	Le potentiel d'hydrogène

Introduction générale

À la lumière des progrès scientifiques et technologiques, le terme « nano » et les nanoparticules ont récemment capté l'attention du monde, en particulier des scientifiques, qui ont consacré l'essentiel de leurs études et de leurs efforts à étudier leurs propriétés et les meilleures façons de les fabriquer. L'approche scientifique indiquait que se concentrer sur la priorité donnée aux produits nano-industriels conduirait à résoudre de nombreux problèmes auxquels le monde est confronté aujourd'hui et à l'avenir. Il s'est avéré très efficace en raison de la multiplicité de ses propriétés optiques, électriques, catalytiques et cristallines.

L'intérêt des nanoparticules est dû à leurs propriétés exceptionnelles dans de nombreux domaines, notamment vitaux comme traitement et administration de médicaments à des endroits spécifiques du corps, et cosmétiques comme la fabrication de cosmétiques et d'autres domaines.

Pour la synthèse des nanoparticules d'oxyde de zinc, il existe deux méthodes qui ont été largement utilisées, à savoir physique et chimique, mais malheureusement leurs inconvénients l'emportent sur leurs avantages, car elles sont susceptibles de constituer une menace pour l'environnement et les organismes vivants, en plus d'être coûteuses, à forte intensité de main-d'œuvre et d'énergie, et ont des effets secondaires à long terme.

C'est ce qui a poussé les scientifiques à créer une nouvelle stratégie peu coûteuse et à la fois sûre et respectueuse de l'environnement, d'où le terme "synthèse verte" apparu car il est considéré comme une alternative sûre à la production de nanoparticules, car il a prouvé son efficacité et à faible coût car il dépend de matières premières naturelles telles que des extraits de plantes.

Ce mémoire, est une recherche bibliographique sur la synthèse verte de nanoparticules ZnO pure et nanoparticules de ZnO décorées, en raison de la multiplicité de ses avantages, de la mise à disposition d'une variété de formes et de tailles de nanoparticules d'une part, et l'amélioration de l'activité photo catalytique par décoration de nanoparticule de ZnO d'une autre part.

Notre mémoire comporte quatre chapitres :

Chapitre I : Plantes et composés phénolique.

Chapitre II : Généralités et propriétés des nanoparticules de ZnO.

Chapitre III : Techniques de caractérisation.

Chapitre IV : Amélioration de l'activité photo catalytique par décoration de nanoparticule de ZnO.

En fin une conclusion générale.

Chapitre I : Plantes et composés phénolique

Partie 1 : Plantes

1. Introduction

Les plantes contiennent une abondance de composés chimiques responsables de leur couleur, de leur odeur, de leur saveur, de leur goût et de bien d'autres avantages, car ils diffèrent selon la plante. Parmi ces composés figurent les composés phénoliques, comme on les trouve dans la plupart des plantes.

Ce chapitre est divisé en deux parties : la première explique les plantes en termes de forme, de localisation géographique et d'utilisation, médicale ou autre, la deuxième explique les composés phénoliques, leurs classifications et leurs propriétés physico-chimiques.

2. Plantes

2.1 *Portulaca oleracea*

Portulaca oleracea qui appartient aux portulacaceae communément appelé pourpier en anglais, c'est une plante herbacée annuelle chaude largement répandue dans les régions tropicales et subtropicales du monde, y compris de nombreuses régions des États-Unis.

Le pourpier est une plante succulente, dressée ou coulante, atteignant 30 cm de haut, à tiges cylindriques atteignant 30 cm de long et 2 à 3 mm de diamètre, vertes ou rouges, renflées aux nœuds, lisses et ridées à l'aisselle des feuilles, ramifiée de manière diffuse, sa longueur est d'environ 1,5 à 3,5 cm. La floraison débute au cours du mois de mai à septembre. Elle s'ouvre uniquement les jours chauds et ensoleillés du milieu de matinée au début d'après-midi.

Portulaca oleracea est d'une grande importance pour l'industrie alimentaire et possède également un large éventail de propriétés pharmacologiques et médicinales telles que des activités neuro protectrices, antimicrobiennes et antidiabétiques [1].



Figure I.1 : Feuilles de *Portulaca oleracea*

2.2 *Excoecaria agallocha*

Les mangroves représentent un écosystème intégré, sous les tropiques et poussant sur les côtes ouest et est de l'Arabie saoudite à partir du golfe persique. Il a été constaté que les buissons de mangrove fleurissent pendant les mois d'octobre et février et portent des fruits pendant les mois de mars et mai. Il est connu comme un arbre à feuilles persistantes, sa hauteur est de 1 à 3 mètres, Les forêts de mangroves sont une composante importante de la végétation, car elles ont la capacité de vivre dans l'eau salée même si elles n'ont pas besoin de sel pour pousser. Il a également un large éventail d'utilisations aux propriétés médicinales, notamment les maladies de la peau, les troubles abdominaux, les maux de tête et les rhumatismes, et traite les plaies [2].



Figure I.2 : Feuilles d'*Excoecaria agallocha*

2.3 *Strobilanthes crispus* (B)

C'est une plante originaire de pays allant de Madagascar à l'Indonésie, connue sous le nom de "daun picah beling" à Jakarta. La plante est classée sous Spermatophyta (plantes à fleurs et gymnospermes), du nom de *Strobilanthes* (tête conique) du groupe des strobilos, qui signifie fleur, et du nom *crispus* qui est une plante potagère ou une feuille semblable à un épi, cette plante buissonnante se trouve au bord des rivières ou des champs déserts, certains javanais utilisent cette plante comme haie de clôture. Les feuilles sont oblongues, un peu obtuses et superficiellement cassantes, tandis que les fleurs sont courtes et denses, avec des épines paniculées, La plante peut être facilement propagée à l'aide de monticules.

Une étude très récente a indiqué qu'un extrait de *Strobilanthes crispus* contient des composés à très haute affinité pour les molécules protéiques, qui peuvent se lier aux sites actifs de la transcriptase inverse, inhibant ainsi la réplication des rétrovirus, c'est-à-dire des facteurs de maladies virales telles que le syndrome d'immunodéficience acquise, et a été utilisé comme antidiabétique, diurétique, anti-inflammatoire et laxatif [3].



Figure I.3 : Feuilles de *Strobilanthes crispus* (B)

2.4 *Carya illinoensis*

C'est un arbre répandu appartenant à la famille Juglandaceae L du genre *Carya* connu sous le nom de noix de pécan, C'est un arbre à silhouette d'une hauteur d'environ 55 mètres et d'un diamètre de 2 mètres. C'est une plante vivace qui atteint 200 ans. Ses feuilles sont composées de plumes, Ses fleurs sont bilobées et entourées de quatre fractures sur les feuilles, Son habitat principal est l'Amérique du Nord, et il est également cultivé en Australie, au Brésil, Canada, Mexique et en Afrique du Sud. Il est principalement cultivé pour ses noix, riches en protéines et en huiles utilisées pour fabriquer des médicaments. Son bois, à partir duquel sont fabriqués les sols et les meubles, est également utilisé comme décoration de jardin.

Ses feuilles aident à traiter le tabagisme et sont considérées comme un agent hypoglycémiant, antioxydant et antimicrobien [4].



Figure I.4 : Fleur de *Carya illinoensis*

Partie 2 : Les Composés Phénoliques

1. Définition des composés phénoliques

Les composés phénoliques représentent de nombreuses fonctions importantes dans les plantes, car il atteint 60% de la masse sèche de la plante, et il est basé sur le renforcement des parois cellulaires végétales, leur nombre est supérieur à 8000, et il se compose de plus d'un anneau aromatique qui porte un ou plusieurs groupes fonctionnels hydroxyle [5].

2. Classification

Les composés phénoliques sont généralement classés selon les voies de biosynthèse, c'est-à-dire lorsque les classes de composés se réunissent sous des formes simples.

La biosynthèse participe à leur développement qui est représenté par leur structure carbonée (Nombre de carbone), puis le degré de sa modification (oxydation, hydratation, méthylation, etc.) et enfin les liaisons qui peuvent exister avec d'autres molécules comme les sucres ou autres, et on distingue des classes de ces composés qui se rassemblent dans cette biosynthèse (simple phénols, acides hydroxybenzoïques, acides hydroxycinnamiques, coumarines, naphthoquinones, stilbènes, flavonoïdes et lignanes...) et phénols condensés issus de la polymérisation des lignanes

(Lignines) ou certains flavonoïdes (tanins) [6].

Selon la classification de Harborne et Simmonds (1964), ces composés sont présentés sur le tableau I.1 [7].

Tableau I.1 : Classification des composés phénoliques [7]

Structure	Classe
C6	Simple phenolics
C6 – C1	Phenolic acids and related compounds
C6 – C2	Acetophenones and phenylqctic acids
C6 – C3	Cinnamic acids, cinnamyl aldehydes, cinnamyl alcohols
C6 – C3	Coumarins, isocomarins, and chromones
C15	Chalcones, aurones, dihydrochalcones
C15	Flavans
C15	Flavones
C15	Flavanones
C15	Flavanonols
C15	Anthocyanidins
C15	Anthocyanins

C30	Biflavonyls
C6-- C1—C6 , C6—C2—C6	Benzophenones, xanthonnes, stilbenes
C6-- C10, C14	Quinones
C18	Betacyanins
Lignans, neolignans	Dimers or oligomers
Lignin	Polymers
Tannins	Oligomers or polymers
Phobaphenes	Polymers

3. Propriétés chimiques des composés phénoliques

Les phénols sont caractérisés par des propriétés chimiques qui forment des liaisons et d'autres qui lui donnent forme et charge. Ces propriétés sont :

3.1 Nucléophilie

Cette propriété est à l'origine des interactions des substituants électrophiles aromatiques. L'affinité nucléaire est véhiculée par l'atome d'oxygène et les atomes de carbone ortho et para du groupe OH, qui prennent l'effet + M via les électrons électrophiles, soulignant le caractère nucléaire. Le cycle A est constitué de plusieurs flavanols dans les deux centres forts C₆ et C₈ qui sont fortement nucléophiles du fait de leur présence en ortho et para de trois groupements OH ou OR à effet (+M). Et activé par le carbone saturé C₄, qui produit des réactions de substitution électro-aromatique [7].

3.2 Propriétés réductrices

Le potentiel d'ionisation (PI) d'une molécule est la quantité minimale d'énergie nécessaire pour en perdre un électron. Le potentiel d'ionisation (IP) diminue chaque fois qu'un composé aromatique est remplacé par des groupes qui perdent des électrons, ce qui augmente son caractère réducteur. Il peut également subir une oxydation mono-électronique conduisant à un radical homogène. Le phénol peut transférer un atome d'hydrogène au radical oxyde (RO) et aux radicaux peroxyde

(ROO) est à haute énergie pour former des radicaux aryloxyle (ArO) [7].

3.3 Polarisabilité

Cette propriété résulte du couplage de deux composés ou de deux molécules adjacentes présentant des fluctuations électroniques, ce qui attire l'effet hydrophobe, par exemple le couplage du cycle benzénique avec le cycle aromatique [7].

4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté d'une part, une étude morphologique d'un groupe de plantes étudiées dans le chapitre IV comme : *Portulaca oleracea*, *Excoecaria agallocha*, *Strobilanthes crispus*, *Carya illinoensis*, et d'autre part une classification des composés phénoliques et leurs propriétés distinctives en général.

***Chapitre II : Généralités et
propriétés des nanoparticules
de ZnO***

1. Introduction

La nanotechnologie fonctionne dans divers domaines scientifiques au cours des dernières années, les nanoparticules ont été un matériau intéressant à développer nouvelles applications dans les communications, le stockage d'énergie, la détection, optique, cosmétique, médecine et autres en raison de leurs propriétés optiques, électriques et magnétiques importantes, ce qui en fait actuellement l'objet d'études car elles apportent une contribution significative au développement technologique [8].

2. Nanoparticules de ZnO

Les nanoparticules de ZnO sont synthétisées par des approches simples et différentes selon leurs activités catalytiques et chimiques. Propriétés optiques, la transmittance élevées et la bonne conductivité électrique de ZnO a également été largement étudié récemment, ce qui permet l'utilisation de ces particules dans de nombreuses applications à grande échelle telles que les variables basses tensions, les capteurs et détecteurs d'images [9].

3. Propriétés des nanoparticules de ZnO

3.1 Propriétés optiques

Les propriétés optiques sont considérées comme un matériau transparent avec un coefficient de zinc, grâce à des nanoparticules pour améliorer la transparence du matériau avec l'indice de réfraction et les longueurs d'onde de la lumière visible, où différentes ondes de photoluminescence ont été observées pour les conducteurs transparents et il montre une forte absorption et dispersion du rayonnement proche ultraviolet, allant de 350 nm à 550 nm, ce phénomène correspond à la luminosité [10].

3.2 Propriétés cristallines

L'oxyde de zinc se produit dans la nature sur les propriétés de sa formation à partir du zinc, qui est un mélange de semi-conducteurs et de roches salines, ce qui a conduit à sa cristallisation sous 3 formes différentes, notamment : structure hexagonale et il est connu pour sa structure dynamiquement stable dans des conditions normales. Conditions (c'est-à-dire la température ambiante). Tandis que la structure de zinc allié, connue sous le nom de structure cubique instable, peut être obtenue par croissance sur des substrats cubiques, où chaque atome de zinc est entouré de quatre atomes d'oxygène symétriquement aux sommets du tétraèdre. La structure de ce dernier est la structure du sel gemme. Sa structure cristalline est solide à température ambiante, et ses propriétés physiques l'affectent, sous de très hautes pressions. La plupart des études sont à hautes énergies [10].

3.3 Propriétés catalytiques

Il existe des nanomatériaux qui peuvent agir comme catalyseur d'une réaction spécifique, pour le zinc. La capacité d'un matériau à être un facteur important dans un environnement donné dépend de sa nature chimique et physique. C'est un matériau particulièrement intéressant grâce à ses propriétés de surface. En particulier, ses nanoparticules dans une solution aqueuse sont catalyseur de réactions : oxydation de l'oxygène en ozone, oxydation de l'ammoniac en nitrate, synthèse de peroxyde d'hydrogène, le zinc contient une très forte propriété catalytique pour améliorer le réseau cristallin, qui a l'énergie de sa surface (atomes dans les sites semi-circulaires, vides...) [11].

3.4 Propriétés électriques

Les propriétés électriques des matériaux sont modifiées en utilisant des nanoparticules ou des nanotubes, ces propriétés électroniques semi-conductrices sont dues à l'effet des excitations optiques, les porteurs de charge diffusés excités sont libres dans la zone environnante dans le nanocristallin d'une part, et ils sont liés par les parois d'une particule d'autre part, cela résulte du confinement de l'excitation. En particulier, les nanomatériaux contiennent une forte densité de défauts structuraux qui modifient l'ensemble de leur structure atomique. La structure électronique affecte les propriétés de transport, y compris la diffusion atomique et la conductivité électrique [11].

4. Méthodes de synthèse de nanoparticules de ZnO

Les nanomatériaux sont fabriqués de différentes manières (chimiques et physiques), dont certaines sont faciles, disponibles et sûres, tandis que d'autres sont complexes, coûteuses et quelque peu dangereuses.

4.1 Voies physiques

4.1.1 Condensation de la vapeur

Cette méthode passe par deux étapes :

- ❖ Dans un premier temps, on condense la poudre métallique sous gaz inerte, la sursaturation des vapeurs métalliques est obtenue à l'intérieur d'une chambre de préparation.
- ❖ La deuxième étape consiste à oxyder la poudre en introduisant l'O₂ dans la chambre de réaction, il réagit fortement exothermique et la température peut atteindre environ 1000°C.

Enfin, on refroidit pour achever l'oxydation des nanostructures paroi du four [12].

4.1.2 Méthode laser

Dans cette méthode, l'évaporation laser est obtenue en focalisant un laser pulsé son énergie est élevée. La température au point de concentration peut dépasser 10 000 Kelvin, Il est possible que n'importe quelle substance s'évapore, puis les atomes de métal chauds sont obtenus et interagissent l'O₂ afin de former la phase vapeur d'oxyde métallique [12].

4.1.3 Pyrolyse par jet

Cette méthode commence par le dépôt par pyrolyse d'aérosol (également appelée pyrolyse par pulvérisation) de solutions aqueuses (sels de zinc) et les évapore sous pression atmosphérique pour précipiter des couches de ZnO qui sont généralement des précurseurs chimiques, ce processus nécessite la génération de brouillard formé de gouttelettes par atomisation et subit une évaporation et une condensation et un séchage et une pyrolyse des particules précipitées à haute température pour former des particules microporeuses, et enfin une étape de recuit est nécessaire pour obtenir les nanoparticules [12].

4.2 Voies chimiques

4.2.1 Dépôt chimique en phase vapeur CVD

C'est le dépôt d'une substance solide sur une surface chaude par une réaction chimique en phase vapeur, cette technique appartient à un type de procédés à la vapeur, qui sont de nature atomique. C'est le dépôt d'espèces qui sont principalement des atomes ou des molécules composées de la décomposition d'un ou plusieurs composés à l'intérieur d'une chambre à vide sur/ou à proximité d'une surface pour conduire à la formation d'une substance sous la forme d'un film mince [13].

4.2.2 Hydrothermale

La voie hydrothermale désigne toute réaction chimique non homogène en présence de solvants, en milieu aqueux ou non, et passant par des étapes, à savoir : dissolution, croissance cristalline ultérieure. le procédé est disponible avec la possibilité d'utiliser des additifs pour la modification, où il peut s'agir de solvants polaires ou non polaires utilisés pour le processus de recristallisation à l'état fondu, afin d'élargir le champ d'application de cette méthode devrait considérez les solvants utilisés pour éviter d'éventuels défauts tels que la toxicité et la corrosion une fois les nanoparticules obtenues, l'étape de lavage et de centrifugation peut être utilisée [14].

4.2.3 Pulvérisation pyrolytique

Cette technique fait partie des méthodes chimiques, et elle a été développée dans les années 60. Cette technique repose sur la pulvérisation d'une solution contenant éléments souhaitables pour le composé sous forme de sels dissous qui se dissolvent sur une base chaude au degré de décomposition chimique de la substance à l'aide d'un gaz spécifique, de sorte que les produits chimiques interagissent en formant une couche solide [15].

4.2.4 Méthode Sol gel

Le terme Sol gel signifie solution de cristallisation. C'est l'une des méthodes chimiques de préparation des oxydes métalliques tels que la céramique et le verre. Il consiste à développer une suspension Sol stable de précurseurs chimiques dans la solution (Sol) qui se développe pendant la phase de gel sous forme de résultat d'interactions entre les types de suspension et le solvant, ce qui conduit à l'apparition expansion du réseau solide 3D à travers le milieu liquide, où le système est à l'état de gel. Ensuite, le gel dit humide est transformé en une substance sèche et amorphe en déchargeant les solvants, puis les précipités sont séchés et recuits pour obtenir la cristallisation [15].

4.3 Synthèses vertes

Pour synthétiser les nanoparticules de ZnO, nous avons utilisé différentes méthodes physiques et chimiques, qui nécessitent une pression et une température élevées. En général, les méthodes physiques consomment une énergie importante et très élevée, tandis que les méthodes chimiques sont très coûteuses. Les méthodes de production nocives et coûteuses entraînent généralement la présence de certains types de produits chimiques toxiques et peuvent avoir des effets secondaires nocifs. Au fil du temps ils ont découvert que la biosynthèse des nanoparticules de ZnO augmentait avec les processus trouvés. Les méthodes chimiques et physiques sont coûteuses, et pour réduire les coûts, les chercheurs ont utilisé les extraits botaniques proviennent de sources naturelles et sont biodégradables. D'où le terme de synthèse verte qui est considéré pour les nanoparticules comme étant en avance sur les méthodes de synthèse chimique et physique car elles sont simples et pratiques, elles sont relativement reproductibles et respectueuses de l'environnement d'une manière qui élimine gaspillez et évitez les réactifs coûteux et les résultats toxiques avec des matériaux plus stables [16].

5. Mécanisme de synthèse des nanoparticules

En général, le mécanisme de bioréduction des métaux dans les extraits végétaux comprend trois étapes principales : l'étape d'activation, l'étape de croissance et l'étape de terminaison.

✓ La première étape l'activation

Extraits de plantes contenant des alcaloïdes biologiquement ornementaux. On pense que les polyphénols, les sucres, les protéines et les acides phénoliques jouent un rôle important dans la première réduction des ions métalliques. Ensuite, ils sont stabilisés en les dissolvants dans l'eau et en passant d'un état d'oxydation monovalent, état de valence ou de non-valence, et la nucléation du métal se produit [17].

✓ Deuxième étape de croissance

À ce stade, la fusion de nanoparticules plus petites voisines se produit pour former des nanoparticules plus grandes, qui sont plus stables sur le plan thermodynamique, avec la réduction biologique des ions métalliques. Au fur et à mesure de la croissance, les nanoparticules s'agrègent pour former diverses formes telles que des cubes, des sphères, des hexagones, des pentagones... [17].

✓ L'étape finale de la maturation

Au fur et à mesure que la réaction se poursuit, les particules atteignent leur activité maximale, c'est-à-dire que le taux de saturation diminue, et la croissance devient impossible et donne de la stabilité, et à partir de là, la forme des particules est déterminée [17].

6. Application de nanoparticules de ZnO

L'oxyde de zinc est important dans une large gamme d'applications, que nous mentionnons :

6.1 Applications agricoles

Les nanoparticules de ZnO ont le potentiel d'améliorer la croissance des cultures vivrières. Où les concentrations de nanoparticules de ZnO ont amélioré les graines reproduction, vigueur des graines et croissance des plantes, et a également montré qu'il est actif dans la croissance des racines, des tiges et des graines [18].

6.2 Applications médicales

Les nanoparticules de ZnO ont certaines propriétés le rendre adapté aux applications associées au système nerveux central (CNS), plusieurs types de recherche ont montré que l'oxyde de zinc est affecté de manière asymétrique par les tissus, les cellules ou les fonctions, ainsi que les tissus nerveux, et avec une biocompatibilité élevée et une facilité des fonctions de surface, les nanoparticules étant considérées comme sûres *in vivo* avec ces avantages, Les nanoparticules de ZnO ont été choisies comme source pour le traitement du cancer et du diabète [18].

6.3 Application cosmétique

Pour éviter que la peau ne soit exposée à tout rayonnement nocif comme les rayons ultraviolets, c'est pourquoi les chercheurs ont pris l'initiative de réfléchir à éviter le cancer de la peau, en la protégeant, en raison de la forte activité photocatalytique des nanoparticules, ce qui les rend efficaces dans absorbant les rayons ultraviolets et autres. Cette propriété permet l'utilisation des nanoparticules par les chercheurs entre dans la composition d'ingrédients cosmétiques et de revêtements tels que le vernis à ongles, le rouge à lèvres, etc [8].

6.4 Application électronique et photovoltaïque

Compte tenu des avantages des propriétés physiques et chimiques des nanoparticules, en particulier la propriété photoélectrique, qui a fourni un soutien dans le domaine de la production de capteurs électrochimiques ou biologiques à sensibilité accrue, facilitant le transfert d'électrons entre les surfaces, par exemple, des capteurs pour la porte automatique, ou des capteurs de gaz et de température, ainsi que des panneaux solaires et des écrans couleur [19] .

7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un détail des nanoparticules d'oxyde de zinc, classées en fonction de leurs dimensions, de leur source et de leur composition chimique. Outre les propriétés optiques, catalytiques, électriques et cristallines, ainsi que les méthodes de synthèse chimique et physique et la méthode de chimie verte, et un ensemble différent d'applications dans de nombreux domaines de ces nanoparticules.

Chapitre III : Techniques de caractérisation

1. Introduction

Afin de déterminer les propriétés et la nature d'une substance nécessite une série de techniques et de méthodes différentes qui permettent de détecter des groupes chimiques et d'en déduire la forme de leur structure, pour le savoir, nous fournissons une explication de ces techniques représentées dans Spectroscopie ultraviolette (Uv vis) et infrarouge (FTIR), diffraction des rayons X (DRX) et microscopie électronique à balayage (MEB).

2. Spectroscopie UV visible

2.1 Définition

C'est une méthode privilégiée pour l'analyse qualitative et quantitative d'un grand nombre d'espèces organiques et inorganiques, car la technique montre les propriétés optiques de l'échantillon à étudier et à analyser (transmission et absorption de la lumière). Les gammes de longueurs d'onde considérées pour le rayonnement ultraviolet (UV) sont comprises entre 200 et 400 nm et entre 400 et 800 nm pour le rayonnement visible (vis). L'interaction des rayons visibles et ultraviolets avec le matériau à étudier, qui est sous forme moléculaire, fournit des informations qualitatives et quantitatives sur ce matériau [20].



Figure III.1. Appareil Spectroscopie Uv visible

2.2 Principe

Le principe de cette technique dépend de l'interaction de la lumière émise avec l'échantillon à étudier ou à analyser, où une partie du faisceau incident est envoyée ou absorbée par l'échantillon, lorsqu'un certain matériau absorbe la lumière dans le domaine ultraviolet et

visible, l'énergie absorbée provoque un défaut et une déstabilisation de la structure électronique des atomes ou des ions ou des molécules (semi-conducteurs). Un ou plusieurs électrons absorbent cette énergie pour passer d'un niveau d'énergie inférieur à un niveau d'énergie supérieur. Ces transformations électroniques sont travaillées dans le domaine visible de 350 à 800 nm et dans l'ultraviolet entre 200 et 350 nm. La spectrophotométrie donne des informations sur les propriétés optiques d'un échantillon à analyser, telles que l'absorption et la transmission de la lumière, le gap optique et l'énergie d'Auerbach. Il est également possible d'estimer l'épaisseur et l'indice de réfraction dans certains cas [20].

Pour les applications analytiques de la spectrophotométrie, elle a une relation avec l'absorption moléculaire visible des rayons ultraviolets par les molécules d'une solution. Elle peut être quantitative ou qualitative. Dans ce cas, on utilise la loi de Beer-Lambert, qui étudie la relation entre la transmission l'intensité I et l'intensité incidente I_0 , et elle est donnée par la relation suivante [20] :

$$I = I_0 e^{-KCL} \quad (III.1)$$

Où :

I : intensité transmise

I_0 : la gravité de l'accident

K : constante de proportionnalité

C : la constante de solution du soluté absorbable

L : épaisseur de la solution traversée par le flux lumineux

Le principe de Beer Lambert indique également que la part de proportionnelle au rayonnement incident absorbé avec le nombre de particules absorbées par celui-ci s'exprime selon la relation suivante :

$$\left(\frac{I_0}{I}\right) = \varepsilon CL \quad (III.2)$$

Où

A : Absorption de solution (sans unité)

L : la longueur du trajet de la lumière à travers l'échantillon, (cm)

C : Concentration moléculaire de la solution (mol/L)

ε : Coefficient d'absorption molaire (L/mol.cm)

I_0 : l'intensité de la lumière transmise par la solution échantillon

I : l'intensité de la lumière incidente

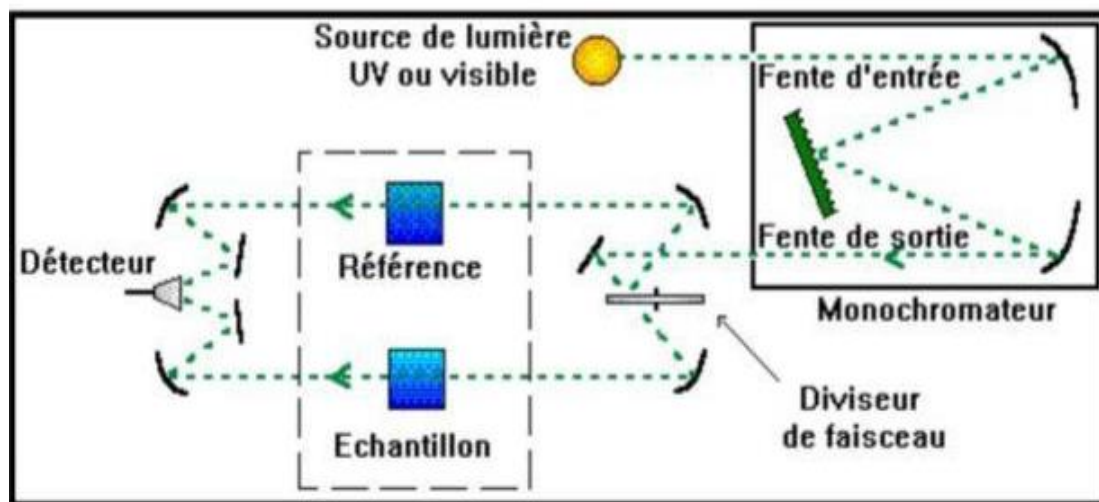


Figure III.2 Schéma du spectrophotomètre UV Visible

3. Spectroscopie infrarouge FTIR

3.1 Définition

Cette technique représente les rayons électromagnétiques thermiques pour l'analyse qualitative du composé, car elle aide à détecter les liaisons chimiques pour identifier la structure de la substance à travers les événements d'un déplacement vibrationnel dans les molécules par excitation électronique dans la plupart des composés, ce qui facilite l'identification des différentes liaisons chimiques de la substance et son spectre s'étend de 200 à 4000 cm^{-1} [21].



Figure III.3. Appareil Spectroscopie infrarouge (FTIR)

3.2 Principe

Dans ce type de technique, le faisceau infrarouge entrant est dirigé vers le faisceau à différentes fréquences, un faisceau parcourt un chemin optique fixe, l'autre un chemin optique variable dû au miroir portatif, avant d'être recombinaison, il traverse l'échantillon et en mode de réflexion diffuse qui est très sensible aux vibrations allongement ou déformation des groupes atomiques, après l'absorption de différentes fréquences, la technique permet la découverte de groupes fonctionnels d'échantillons utilisés sur le terrain [22].

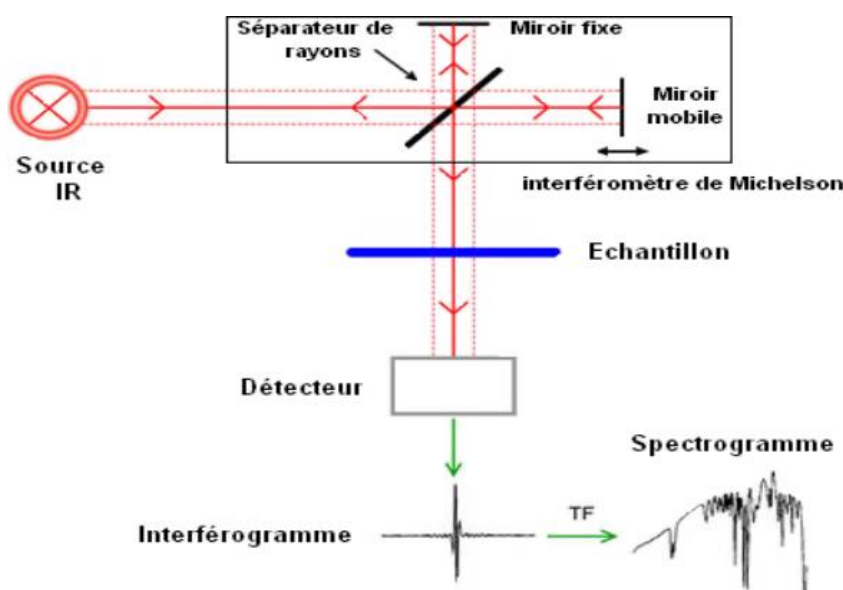


Figure III.4. Schéma du spectrophotomètre à transformée de Fourier (FTIR)

4. La diffraction de rayons DRX

4.1 Définition

C'est une méthode largement utilisée pour décrire la structure de la matière. C'est un rayonnement électromagnétique avec des longueurs d'onde comprises entre 0,1 et 10 Å. Tous les milieux cristallins sont disposés dans un ordre périodique. Le dispositif se compose d'un porte-échantillon et d'un détecteur, et pour l'échelle d'angle sur laquelle le détecteur se déplace, l'intensité du rayonnement diffracté formé à partir du faisceau de rayons pénétrants doit être mesurée en termes de l'angle entre les deux rayons. Cette technique permet à la diffraction des rayons X de déterminer les structures dans le cas d'un sédiment dans l'échantillon [23].



Figure III.5. Appareil Diffraction des rayons X (DRX)

4.2 Principe

La technologie des rayons X est utilisée dans l'analyse chimique quantitative et qualitative afin de connaître la capacité de l'état des cristaux d'une manière distinctive qui permet d'identifier les phases de cristallisation et les modèles de diffraction enregistrés à partir des caractéristiques micro et macro structurales de l'échantillon. Il forme le phénomène de diffraction des rayons X. Les interférences sont constructives, appelées raies ou pics de diffraction, et peuvent être déterminées très simplement par la formule suivante, connue sous le nom de loi de Bragg : De la relation entre l'angle de diffraction et les distances interatomiques du réseau cristallin est donnée par :

$$2d_{hkl} \sin \theta = n\lambda \quad (III.3)$$

D : la distance entre les lignes, c'est-à-dire la distance entre deux plans cristallins

θ : moitié de l'angle de déviation (moitié de l'angle entre le rayon incident et la direction du détecteur)

n : ordre d'inversion (entier)

λ : longueur d'onde des rayons X

Les plans cristallins peuvent être spécifiés par {hkl} et les pics de diffraction sont positionnés en fonction de ces indices [23].

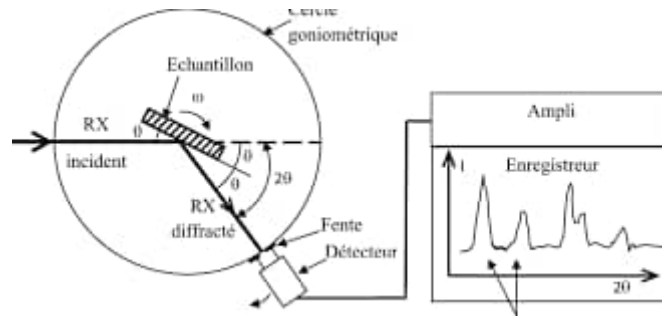


Figure III.6. Schéma de principe du montage d'un diffractomètre DRX

5. La microscopie électronique à balayage MEB

5.1 Définition

C'est une technique microscopique disposant de dispositifs électroniques capables de produire des images à haute résolution d'une surface d'échantillon en utilisant le principe des interactions électron-matière, basé sur les travaux de Max Knoll et Manfred Von Ardenne dans les années 1930, où le MEB est constitué d'un faisceau d'électrons balayant la surface de l'échantillon à analyser et, en réponse, les particules sont analysées par différents détecteurs permettant de reconstituer l'image en trois dimensions [24].



Figure III.7. Appareil Microscopie électronique à balayage (MEB)

5.2 Principe

Son principe de fonctionnement est basé sur la transmission par paquets des électrons à l'échantillon de tension différente (de 0,2 à 30 kV), se produit diffusion d'électrons. Particules et radiations qui reviennent de l'échantillon est collectées par des détecteurs pour former une image morphologique.

- Lors de la collision entre les électrons élémentaires du faisceau et les atomes de l'échantillon, il se produit une expulsion d'électrons de la bande de conduction de l'atome (ionisation), ces électrons sont éjectés appelés électron secondaire, ces électrons ont généralement une faible énergie (environ 50 volts). Chaque électron primaire peut créer un ou plusieurs électrons secondaires. Des électrons secondaires sont émis dans les couches superficielles proches de la surface. Les électrons qui peuvent être collectés par les détecteurs sont souvent émis en profondeur moins de 10 nm. Avec une énergie cinétique aussi faible, il est très facile de dévier. Avec une faible différence de potentiel, on pourrait facilement collecter un grand nombre. Ce sont ces électrons qui permettent d'obtenir des informations sur l'échantillon topographique pour obtenir des images de bonne qualité.
- Les électrons rétrodiffusés sont des électrons résultants l'interaction des électrons dans le faisceau primaire avec les noyaux des atomes dans l'échantillon et qui interagissent de manière semi-élastique avec les atomes de l'échantillon. Electrons réémit dans une direction proche de leur direction d'origine avec peu de perte d'énergie. Ainsi ces électrons récupérés ont une énergie relativement élevée, jusqu'à 30 keV, bien plus énergétique que les électrons secondaires. Peut être émis en plus grande profondeur dans l'échantillon [24].

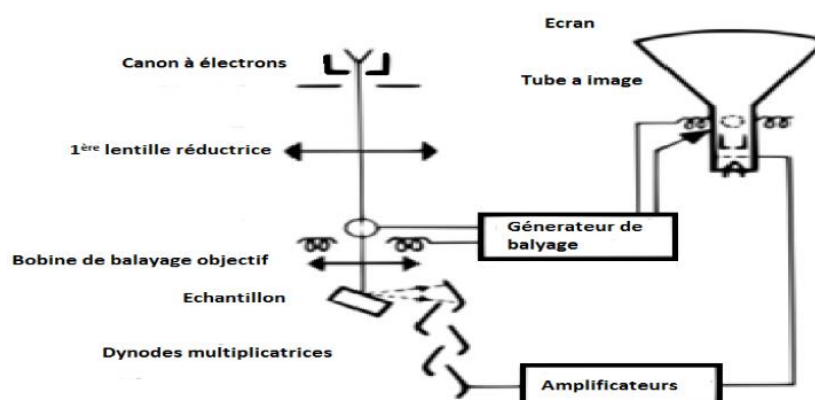


Figure III.8. Schéma de principe du Microscopie électronique à balayage (MEB)

6. Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons abordé les différentes techniques de caractérisation utilisées dans l'analyse des nanoparticules, à savoir, le spectre ultraviolet-visible (UV vis), infrarouge (FTIR), diffraction des rayons X (DRX), en plus de la microscopie électronique à balayage (MEB), qui nous aideront à caractériser et à déterminer la structure et les propriétés du matériau, ainsi que les différentes liaisons chimiques qu'il contient, la forme de cristallisation, et sa taille.

***Chapitre IV : Comparaison
des nanoparticules de ZnO
décorées avec celles
fabriquées***

1. Introduction

Ce chapitre, présente une recherche bibliographique sur la synthèse verte d'oxyde de zinc ZnO et de nanoparticules de ZnO décorées, en utilisant l'extrait aqueux de différentes plantes comme agent réducteur. Les nanoparticules de ZnO synthétisées ont été comparées avec les nanoparticules de ZnO décorées dans l'objectif d'améliorer l'activité photo catalytique par décoration de nanoparticule de ZnO.

2. Exemple de décoration de nanoparticule de ZnO

2.1 Préparation de l'extrait végétal

Les feuilles fraîches de *Portulaca oleracea* ont été soigneusement lavées à l'eau du robinet puis à l'eau bi distillée. Elles ont été placées dans un four rotatif à 50 °C jusqu'à ce qu'elles soient complètement sèches. Cinquante grammes de *Portulaca oleracea* finement séchée ont été bouillis dans 400 ml d'eau bi distillée à 70 °C sous agitation pendant 15 minutes. L'extrait obtenu a été refroidi, puis filtré sur du papier filtre Whatman N°:1 et le filtrat a été recueilli dans un erlenmeyer de 500 ml et conservé au réfrigérateur pour la synthèse des nanoparticules d'oxyde de zinc.

2.2 Synthèse des nanoparticules de ZnO

Une solution de 100 ml d'acétate de zinc $[Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O]$ à 0,05 M a été préparée à l'aide d'eau bi-distillée. Une solution de borohydrure de sodium ($NaBH_4$) a été utilisée pour ajuster le pH à la valeur souhaitée (pH=9). Ensuite, 300 ml d'extrait de *Portulaca oleracea* ont été ajoutés à la solution aqueuse d'acétate de zinc sous agitation magnétique à 70 °C pendant environ 2 h. Le mélange formé après un temps d'agitation suffisant a été recueilli par centrifugation à 10 000 tr/min pendant 15 min. Ensuite, le mélange centrifugé a été lavé trois fois avec de l'eau bi distillée et de nouveau soumis à une centrifugation à 10 000 tr/min pendant 10 minutes [25].

Le complexe séparé a été séché dans un four à 80 °C pendant 24 h, puis calciné dans un four à moufle à 550 °C pendant 4 h pour obtenir des nanoparticules d'oxyde de zinc bio synthétisées. Les nanoparticules de ZnO bio synthétisées sont stables dans l'eau.

2.3 Synthèse des nanoparticules de Mg@ZnO

Les nanoparticules de Mg@ZnO ont été créées comme suit. Initialement, 70 ml d'eau bi-distillée ont été mélangés pendant 2 heures et 0,3 mg de ZnO y ont été dispersés. La solution de ZnO dispersée a ensuite été mélangée avec 70 ml de 0,04 $MgCl_2$ et 70 ml d'extrait de *Portulaca oleracea*, et la réaction a été agitée à 80 °C pendant 2 h. Le nano composite a ensuite

été retiré de la solution par centrifugation à 10 000 tr/min 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 nano composite Mg@ZnO a été broyé dans un mortier et un pilon et stocké pour des recherches ultérieures [25].

3. Synthèse verte de nanoparticules de ZnO décorées d'Ag à l'aide d'un extrait d'*Excoecaria agallocha*

La présente étude porte sur la synthèse de nanoparticules de ZnO et d'Ag-ZnO à l'aide d'un extrait de feuille d'*Excoecaria agallocha* dans le cadre d'une technique de cavitation à ultrasons contrôlée. La caractérisation des nanoparticules de ZnO et d'Ag-ZnO synthétisées (différentes concentrations molaires d'Ag) a été soumise à la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR), à l'analyse par diffraction des rayons X (XRD), à la spectroscopie de réflectance diffuse UV-Visible (UV-Vis DRS) et à la microscopie électronique à balayage (MEB). Les performances photo catalytiques des nanoparticules de ZnO et d'Ag-ZnO en tant que catalyseurs ont été étudiées pour les colorants organiques dangereux tels que le bleu de méthylène (MB) et la rhodamine-B (Rh B) sous l'irradiation de la lumière solaire [26].

3.1 Diffraction des rayons X

La figure IV.1 (a-d) montre la structure cristalline et la pureté de la phase des nanoparticules de ZnO, Ag-ZnO (0.1 :1), Ag-ZnO (0.25:1) et Ag-ZnO (0.5:1). Les nanoparticules de ZnO (Figure IV.1a) présentent des pics de diffraction à 31,9, 36,3, 47,7, 56,81, 63,09 et 68,01° avec les plans cristallins (100), (002), (101), (102), (110), (103) et (112), respectivement. Ces pics cristallins sont liés à la phase cristalline hexagonale du ZnO (carte de données JCPDS n° 36-1451), tandis que les pics de diffraction (100), (002), (101), (102), (110), (103), (112) (111), (200), (220) et (311) montrent la combinaison de ZnO et de nanoparticules d'Ag (figure IV.1 (b-d)). En référence aux plans cristallins et à l'angle de diffraction, la taille des nanoparticules synthétisées ci-dessus a été calculée à l'aide de la formule de Debye-Sherrer et s'est avérée être de 35,2, 35,5, 35,5 et 16,2 nm pour ZnO, Ag-ZnO (0,1:1), Ag-ZnO (0,25:1) et Ag-ZnO (1:0,5). Cependant, la diminution de la taille cristalline moyenne observée dans le cas des nanoparticules Ag-ZnO (0.5 :1) pourrait être due à la ségrégation de l'Ag à la limite des grains de ZnO.

En outre, le pic Ag observé dans le diagramme XRD révèle la décoration des nanoparticules d'Ag sur la surface des nanoparticules de ZnO [26].

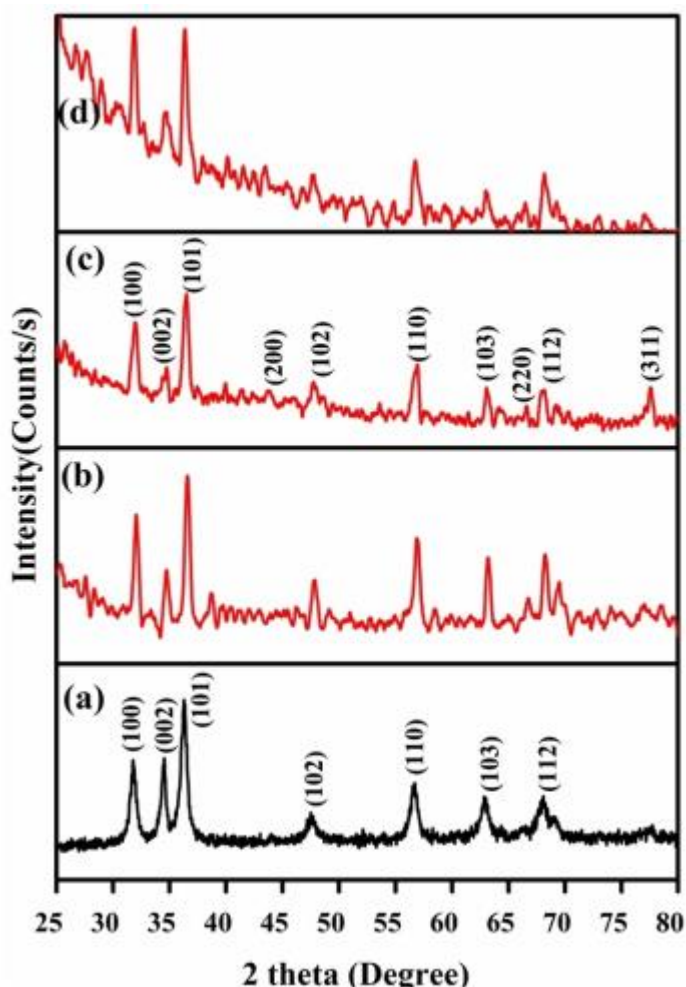


Figure IV.1 : DRX de a) ZnO b) Ag-ZnO (0.1 : 1) c) Ag-ZnO (0.25 : 1) d) Ag-ZnO (0.5 : 1) nanoparticules [26]

3.2 Étude par FTIR

L'étude de la présence de groupes fonctionnels a été réalisée par FTIR. La figure IV.2 (a-e) montre les spectres FTIR de *E. agallocha*, ZnO, Ag-ZnO (0.1:1), Ag-ZnO (0.25:1) et Ag-ZnO (0.5:1). La bande large à 3490 et 2935 cm^{-1} (figure IV.2 (a)) indique la présence de vibrations d'étirement (O-H) et d'étirement (C-H), respectivement. En outre, les pics à 1694, 1359 et 1070 cm^{-1} ont été attribués à l'étirement (C=O) des amides, à l'étirement symétrique d'un groupe carboxylé et à la vibration d'étirement (C-O) du groupe alcoolique présent dans *E. agallocha*. La figure IV.2(b) montre les pics à 1433 et 1048 cm^{-1} , qui sont attribués à la flexion (C-H) de l'alcane et à l'étirement (C-C) de l'alcool qui pourrait être présent à la surface des nanoparticules de Zn. Quelques-uns des groupes fonctionnels pertinents du biopolymère, tels que les polyols, les hydroxyles, les groupes carboxyliques et les terpénoïdes, peuvent agir comme agents réducteurs et stabilisateurs dans la synthèse des nanoparticules, le déplacement des pics vers les nombres d'ondes inférieurs, ce qui suggère l'attachement des groupes

fonctionnels de *E. agallocha* à la surface de ZnO. Alors que les pics inférieurs à 500 cm^{-1} sont attribués à la formation de nanoparticules de ZnO.

Le pic intense a été observé à 3356 cm^{-1} qui a été attribué à la vibration de flexion et d'étirement d'une molécule d'eau absorbée (O-H) sur la surface des nanoparticules d'Ag-ZnO [Figure IV.2 (c-e)], tandis que les pics à 1383 cm^{-1} et 1597 cm^{-1} correspondent à la vibration de flexion asymétrique et symétrique de la liaison C=O, respectivement. Les pics observés en dessous de 500 cm^{-1} suggèrent la formation de nanoparticules d'Ag ZnO. La nature des pics s'est avérée très forte et intense [Figure IV.2(c-e)], ce qui suggère une décoration lisse et uniforme des nanoparticules d'Ag sur la surface des nanoparticules de ZnO. Les résultats obtenus par FTIR ont été jugés conformes aux résultats de XRD [26].

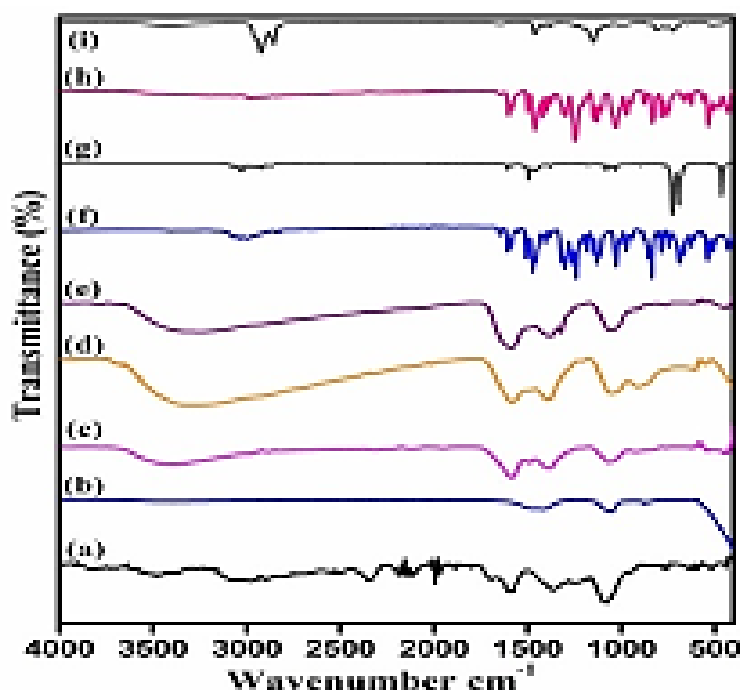


Figure IV.2 : Spectres FTIR de a) l'extrait de feuilles b) ZnO c) Ag-ZnO (0.5 :1) d) Ag-ZnO (0.25 :1) e) Ag-ZnO (0.1 :1) nanoparticules [26]

3.3 Spectroscopie UV-Visible

Une forte absorption a été observée à des longueurs d'onde comprises entre 200 et 380 nm. Le ZnO est un semi-conducteur à bande interdite directe avec une bande interdite de 3,37 eV. L'équation de Tauc a donc été utilisée pour calculer la bande interdite.

$$(\alpha h\nu) = A(h\nu - E_g)^n \quad (IV.1)$$

Ici, n : est 1/2 pour le semi-conducteur à transition directe A est constant et α est le coefficient d'adsorption.

Le spectre UV-vis des nanoparticules de ZnO montre que les 357 nm peuvent être attribués au transfert d'électrons de la bande de valence à la bande conductrice, lié à l'absorption de la bande interdite intrinsèque de ZnO (O2p-zn3d). La bande interdite des nanoparticules de ZnO est de 3,2 eV. En outre, les nanoparticules d'Ag-ZnO présentent un décalage vers le rouge dans la région visible en raison de la présence de nanoparticules d'Ag à la surface des nanoparticules de ZnO.

L'amélioration de l'absorption optique entraîne une augmentation des sites défectueux dans la structure cristalline du catalyseur, ce qui inhibe la recombinaison des porteurs de charge et entraîne une augmentation de l'activité photo catalytique du catalyseur [26].

3.4 Études morphologiques

La figure IV.3 (a-d) montre des nanoparticules de ZnO et d'Ag-ZnO (0,1:1, 0,25:1 et 0,5:1) par MEB. L'image MEB des nanoparticules de ZnO synthétisées montre une morphologie semi-sphérique ou sphérique avec une distribution uniforme. La structure libre agglomérée pourrait être éliminée par la calcination des nanoparticules de ZnO. En revanche, la morphologie des nanoparticules Ag-ZnO présente une forme sphérique et presque sphérique, quelque part avec la présence de groupes de nanoparticules d'Ag sur la surface des nanoparticules de ZnO (Figure IV.3 (b-d)). Lorsque la molarité des nanoparticules d'Ag augmente, l'adhérence des nanoparticules d'Ag augmente également. La forme des nanoparticules de ZnO passe de sphériques à des boules irrégulières, qui semblent être un groupe de pierres [26].

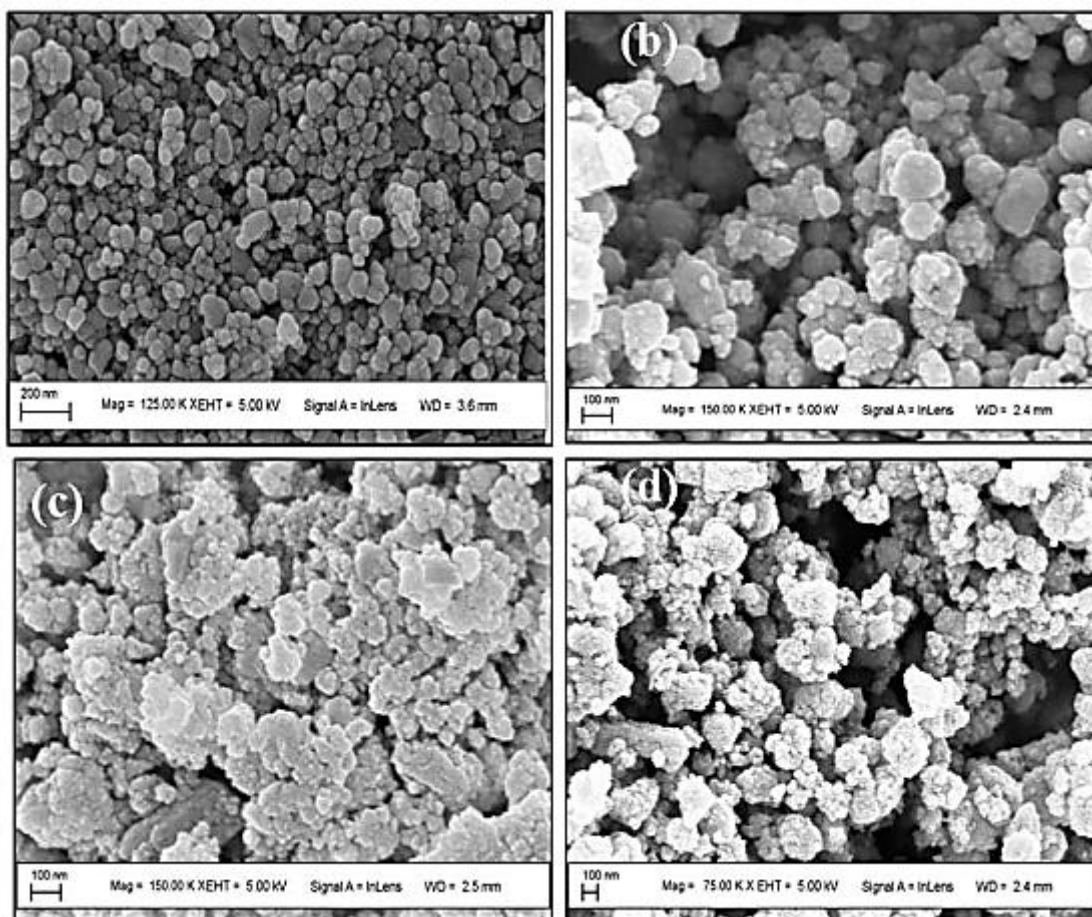


Figure IV.3 : Images MEB de a) ZnO b) Ag-ZnO (0.1 : 1) c) Ag-ZnO (0.25 : 1) d) Ag-ZnO (0.5 : 1) nanoparticules [26]

3.5 Résultat de la décoration sur l'activité photo catalytique

La dégradation efficace du MB s'est avérée être de 56,44 % (nanoparticules de ZnO) et 98,44 % de nanoparticules d'Ag-ZnO, respectivement, à 100 min au rapport molaire (0,25:1). Alors que le Rh B montre 27.50% (nanoparticules de ZnO) et 98.83% au même ratio molaire de nanoparticules d'Ag-ZnO à 80 min. Parmi les nanoparticules synthétisées, Ag-ZnO au rapport molaire 0.25 : 1 montre une activité photo catalytique efficace [26].

4. Synthèse des nanoparticules de ZnO décorées de La_2CuO_4

Dans cette recherche, le ZnO décoré de La_2CuO_4 a été conçu par la fabrication in situ de nanoparticules en utilisant pour la première fois l'extrait de feuilles de *Strobilanthes crispus* (B.). Pour étudier les propriétés, le ZnO décoré de La_2CuO_4 a été caractérisé par diverses techniques de caractérisation. Grâce à une modification avec La_2CuO_4 , ZnO possède une activité photo catalytique améliorée pour la dégradation du vert de malachite sous une illumination de lumière visible.

4.1 Étude par FTIR

L'étude FTIR a été menée pour identifier le groupe fonctionnel de manière plus détaillée. Comme le montre la figure IV.4 (a), la vibration d'étirement -OH apparaît à $3361,1\text{ cm}^{-1}$. Par ailleurs, les bandes d'absorption à $1639,6$; $1380,0$ et $1080,2\text{ cm}^{-1}$ ont été attribuées aux vibrations d'étirement C-C, de flexion C-H et d'étirement C-N, respectivement. La vibration d'étirement C-N confirme la présence de métabolites secondaires alcaloïdes. De même, les vibrations d'étirement -OH, d'étirement C-C et de flexion C-H indiquent les principales caractéristiques des saponines et des flavonoïdes. En outre, les spectres FTIR de ZnO, La_2CuO_4 et $\text{ZnO-La}_2\text{CuO}_4$ sont présentés dans la figure IV.4 (b). Pour la ligne orange, la vibration d'étirement Zn-O a été obtenue à 453 cm^{-1} , indiquant la formation de Zn-O. Pour la ligne verte, le pic à 511 cm^{-1} a été attribué au mode de vibration d'étirement de La-O-Cu avec la structure de pérovskite orthorhombique La_2CuO_4 . En outre, les pics à 510 et 453 cm^{-1} ont été attribués à la vibration d'étirement de La-O-Cu et Zn-O, respectivement, dans la ligne brune [27].

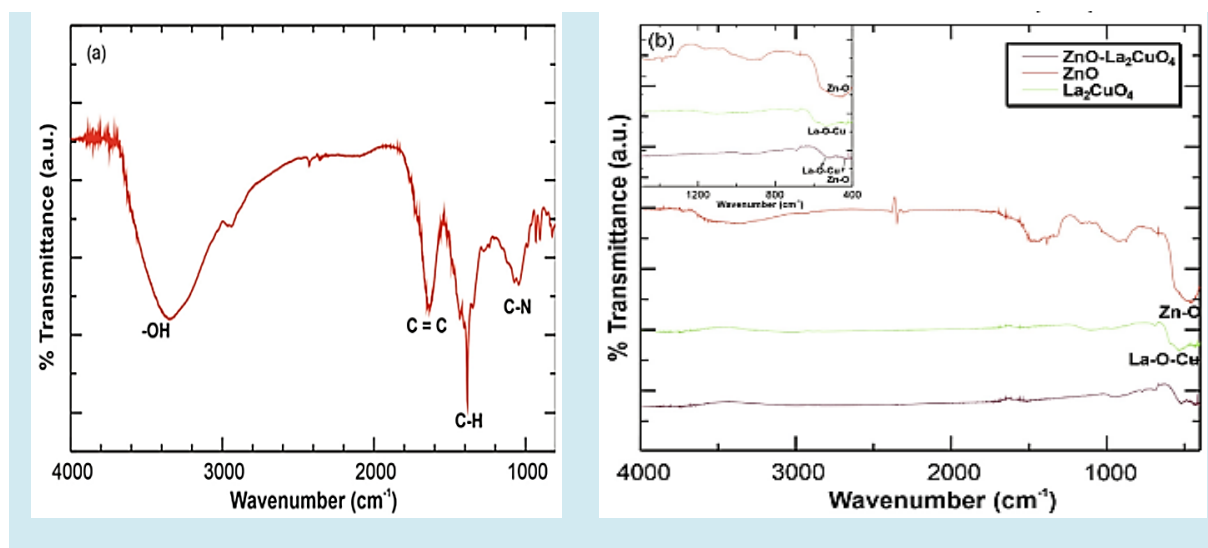


Figure IV.4 : (A) Spectres FTIR de l'extrait de feuilles de *Strobilanthes crispus* et (B) de $\text{ZnO-La}_2\text{CuO}_4$ [27]

4.2 Étude par spectroscopie UV-Visible

Les valeurs estimées de la bande interdite de $\text{ZnO-La}_2\text{CuO}_4$, ZnO et La_2CuO_4 étaient respectivement de 2,87 ; 3,20 et 1,74 eV. Ces résultats indiquent que l'énergie de la bande interdite du ZnO diminue de 3,20 à 2,87 eV après modification. La valeur étroite de la bande interdite conduit à la formation de nanocomposites, ce qui s'explique par la formation d'une liaison entre le zinc et le La_2CuO_4 dans la structure $\text{ZnO-La}_2\text{CuO}_4$. La structure nanocomposite peut largement absorber la lumière visible en raison d'une vacance d'oxygène élevée. De plus,

le transfert rapide des électrons photo générés sur la surface de ZnO vers la surface de La_2CuO_4 pourrait affecter la diminution de l'énergie de bande de ZnO [27].

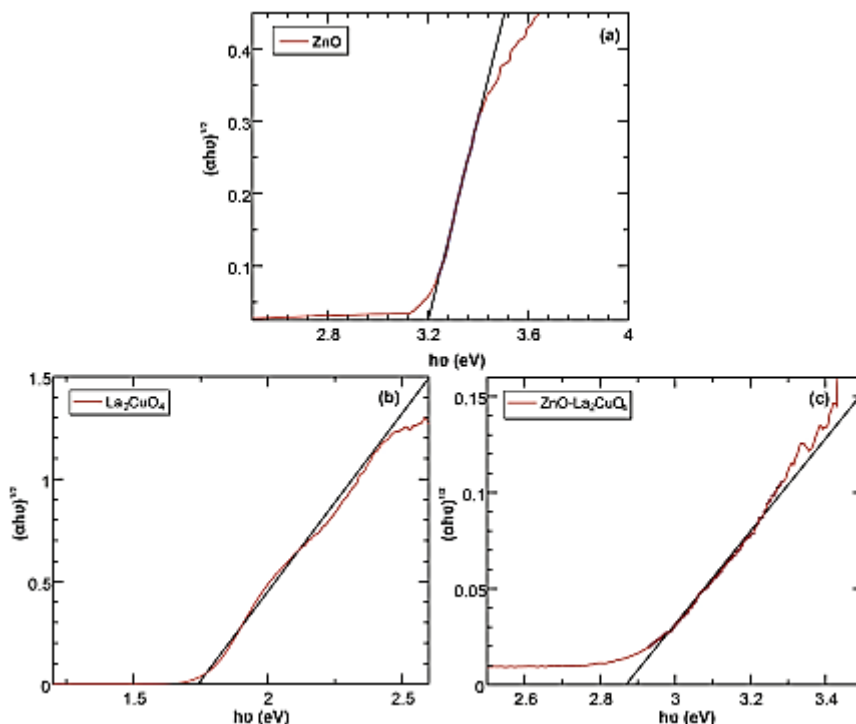


Figure IV.5 : Énergie de la bande interdite de ZnO (A), La_2CuO_4 (B) et $\text{ZnO-La}_2\text{CuO}_4$ (C) [27]

4.3 Etude par diffraction des rayons X

Le diagramme de diffraction de ZnO à 2θ de 31,67 ; 34,34 ; 36,16 ; 47,46 ; 56,50 ; 62,78 ; 67,86 et 68,99° correspondait bien aux données JCPDS de ZnO N° 36-1451 avec des indices de Miller de (100), (002), (0), (0) et (0). 36-1451 avec des indices de Miller de (100), (002), (101), (102), (110), (103), (112) et (201), respectivement, comme le montre la figure IV.6. Le diagramme de diffraction de La_2CuO_4 à 2θ de 24.45 ; 27.18 ; 31.20 ; 33.48; 41.80 ; 43.59 ; 47.96 ; 54.50 ; 55.93 et 58.39° a été indexé à une structure de pérovskite orthorhombique de La_2CuO_4 basée sur les données JCPDS N° 88-0940 avec des indices de Miller de (111), (004), (113), (200), (115), (204), (220), (206), (224), et (133), respectivement. De plus, le diagramme de diffraction de $\text{ZnO-La}_2\text{CuO}_4$ est bien cristallin avec des pics caractéristiques des phases ZnO et La_2CuO_4 . Le résultat indique que ZnO a été modifié avec succès avec La_2CuO_4 sous la forme de nano composites. Aucun autre pic n'a été enregistré pour les impuretés. En outre, la taille moyenne estimée des cristallites de $\text{ZnO-La}_2\text{CuO}_4$ était de 16,80 nm [27].

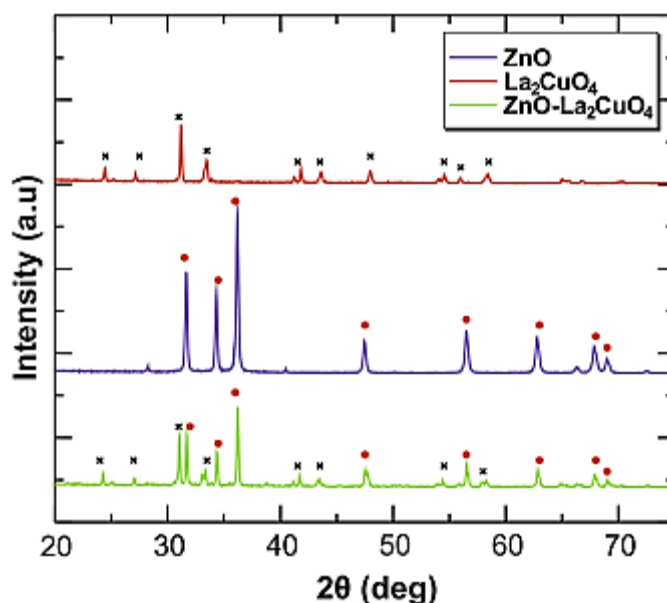


Figure IV.6 : Diagrammes DRX de ZnO, La_2CuO_4 et $\text{ZnO-La}_2\text{CuO}_4$ [27]

4.4 Études morphologiques

Le MEB-EDX a été utilisé pour étudier la morphologie et la composition élémentaire des nano composites $\text{ZnO-La}_2\text{CuO}_4$. La morphologie de surface des nanoparticules de La_2CuO_4 était sphérique agglomérée avec une forme non uniforme à un grossissement distinct comme le montre la Fig. IV.7 (a). L'image MEB des nano composites $\text{ZnO-La}_2\text{CuO}_4$ montre que des nanoparticules sphériques de La_2CuO_4 ont été formées sur la surface de ZnO. La morphologie des nano composites était bien agglomérée avec une barre d'échelle variée. En outre, le spectre EDX des nano composites $\text{ZnO-La}_2\text{CuO}_4$ révèle la présence de zinc (Zn), de lanthane (La), de cuivre (Cu) et d'oxygène (O). Le pic affiche un pourcentage atomique de 11,16 % (Zn) ; 24,20 % (La) ; 3,20 % (Cu) et 61,44 % (O), comme le montre la figure IV.7 (c) [27].

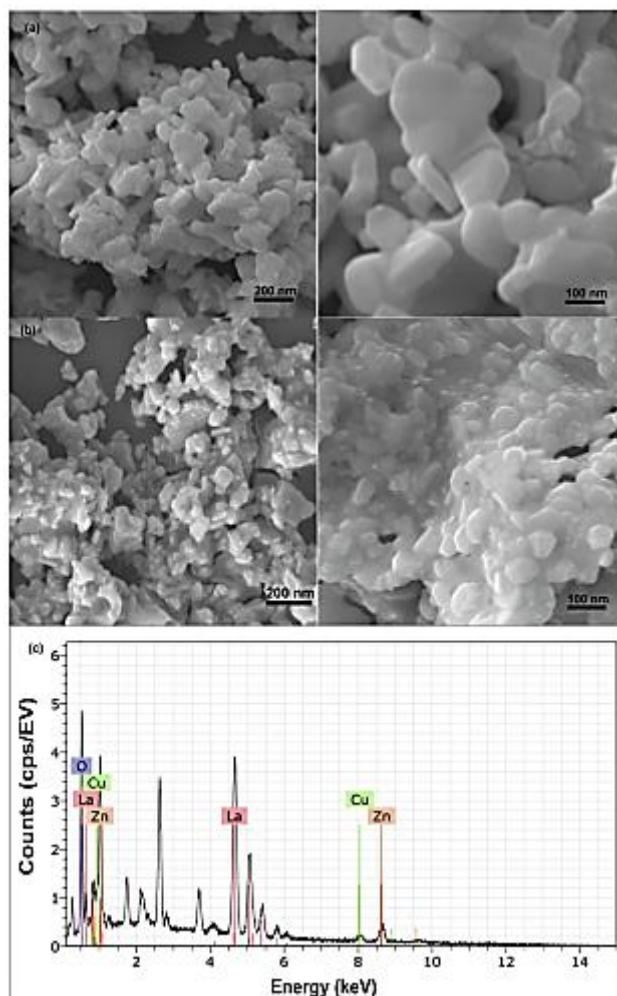


Figure IV.7 : (A) Images MEB des nanoparticules La_2CuO_4 et (B) des nano composites $\text{ZnO-La}_2\text{CuO}_4$, (C) Spectre EDX des nano composites $\text{ZnO-La}_2\text{CuO}_4$ [27]

4.5 Résultat de la décoration sur l'activité photo catalytique

Les nano composites $\text{ZnO-La}_2\text{CuO}_4$ présentent une activité photo catalytique élevée (91 %) par rapport au ZnO et au La_2CuO_4 . L'amélioration de l'activité photo catalytique peut être attribuée à l'effet de la diminution de la valeur de la bande interdite de la structure nano composite en raison de la faible recombinaison des paires électron-trou photo générées. En outre, $\text{ZnO-La}_2\text{CuO}_4$ présente une bonne stabilité après trois essais de photo catalyse [27].

5. Synthèse verte de nanoparticules de ZnO et de ZnO décorées par l'or

Dans cette étude, des nanoparticules pures d'oxyde de zinc (ZnO) et des hétéro-nanostructures décorées d'or (Au@ZnO) ont été synthétisées à l'aide d'une méthode de synthèse verte utilisant un extrait de feuilles de noix de pécan (*Carya illinoensis*) comme agent réducteur. L'activité photo catalytique a été réalisée par la dégradation du colorant Rh B sous irradiation de lumière UV dans une solution aqueuse.

5.1 Etude par diffraction des rayons X

Les diagrammes XRD des NPs de ZnO et Au-ZnO ont été mesurés pour confirmer la cristallinité et la taille des cristallites. La figure IV.8 montre les diagrammes XRD du ZnO synthétisé (a) et Au@ZnO (b).

Le diagramme montre clairement que le ZnO présente des pics nets correspondant aux valeurs 2θ 31,81°, 34,48°, 36,34°, 47,61°, 56,67°, 62,95°, 66,50°, 68,03°, 69,21° et 72,66°. La position de ces pics de diffraction correspond respectivement aux plans cristallins (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), (201) et (004), ce qui confirme la structure hexagonale wurtzite du ZnO (JCPDS N°. 36-1451). La bonne cristallinité des NPs de ZnO ressort clairement des données de diffraction, avec une taille de cristallite de 18,3 calculée par la formule de Scherrer.

Le schéma de diffraction des nanoparticules d'Au@ZnO est présenté dans la figure IV.8b. En comparaison, trois pics supplémentaires dans cet échantillon (Au@ZnO) sont trouvés aux valeurs 2θ 38,21°, 44,57° et 59,49° qui correspondent aux plans cristallins (111), (200) et (220). Les données relatives aux nanoparticules d'Au@ZnO ont été comparées à celles du JCPDS N° 04-0784. La corrélation montre que les trois pics supplémentaires avec une structure cubique à faces centrées sont des nanoparticules d'or, ce qui confirme la décoration de ZnO par de l'or [28].

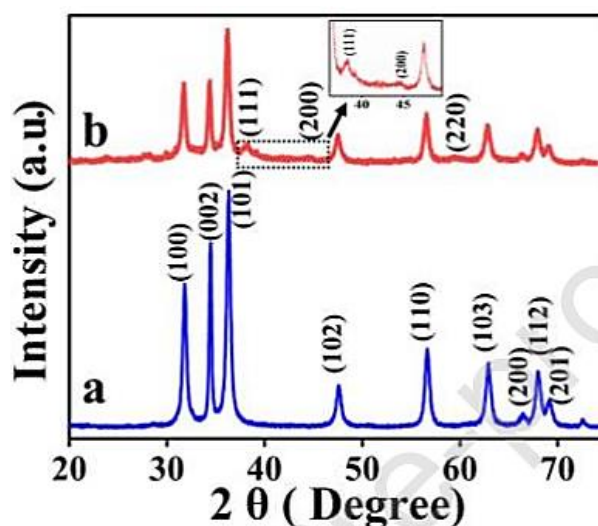


Figure IV.8 : Diagrammes DRX de ZnO et Au@ZnO [28]

5.2 Études morphologiques

Les images MEB des échantillons de ZnO et d'Au@ZnO à différents grossissements sont présentées dans la figure IV.9. Les images montrent clairement que les nanoparticules de ZnO préparées sont uniformes, faiblement agglomérées avec une morphologie irrégulière (figure

IV.9A). Par l'ajout/décoration d'Or sur les nanoparticules de ZnO, la morphologie des échantillons Au@ZnO devient légèrement irrégulière (figure IV.9C). Cela peut être attribué à l'inclusion de l'or et il semble que les nanoparticules d'Or ont rempli certains espaces dans l'échantillon de ZnO [28].

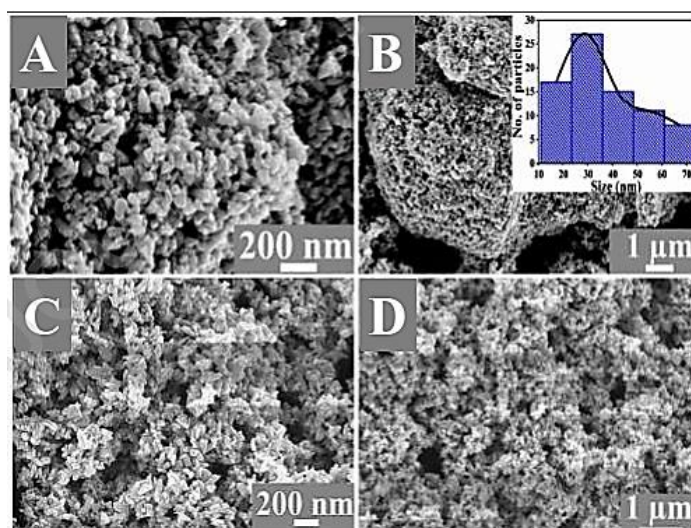


Figure IV.9 : Images MEB des nanoparticules de ZnO et Au@ZnO [28]

5.3 Étude par FTIR

L'analyse FTIR a été réalisée pour analyser la composition, la nature des groupes fonctionnels, la pureté ainsi que pour identifier le mécanisme potentiel de la synthèse des nanoparticules Au@ZnO. Le spectre FTIR des nanoparticules de ZnO et Au@ZnO bio synthétisées à partir de l'extrait aqueux de feuilles dans la gamme de $4000-500\text{ cm}^{-1}$ est présenté dans la figure IV.10. Le pic dans la région entre $400-650\text{ cm}^{-1}$ correspond à Zn-O. Le pic autour de 3385 cm^{-1} et de 2985 cm^{-1} correspond aux vibrations OH et $-\text{CH}_3$ de l'amidon. Le pic autour de 1656 cm^{-1} correspond à la vibration de flexion des groupes $-\text{NH}$ tandis que le pic à la position autour de 1049 cm^{-1} et 1389 cm^{-1} représente la bande d'absorption du CH. En outre, la position du pic de Zn-O passe de 665 cm^{-1} (Fig. IV.10A) à 669 cm^{-1} (Fig. IV.10B), ce qui confirme la décoration en or des nanoparticules de ZnO [28].

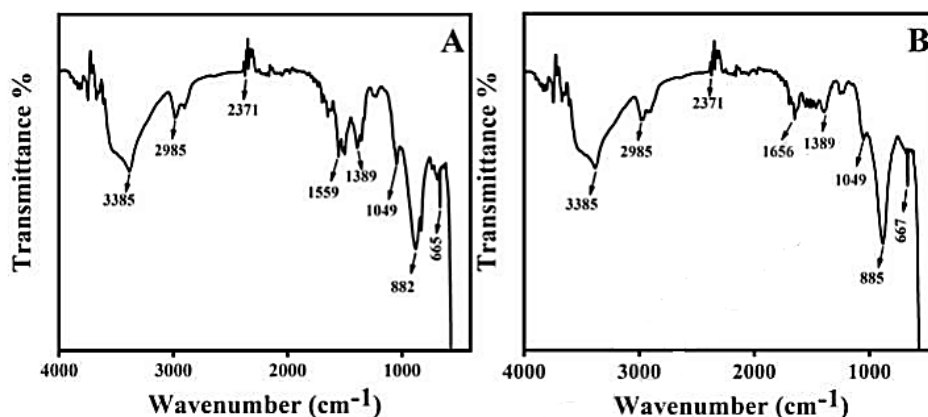


Figure IV.10 : Spectres FTIR des nanoparticules de ZnO et Au@ZnO [28]

5.4 Étude par spectroscopie UV-Visible

Les spectres UV-visible des nanoparticules de ZnO et Au@ZnO en fonction de la longueur d'onde dans la gamme de 200 à 800 nm sont présentés dans la figure IV.11. On note que la large bande de surface entre 500 et 800 nm est due à la présence de nanoparticules d'Or sur la surface de ZnO, ce qui est également confirmé par l'analyse XRD. L'absorbance entre 200 et 390 nm est due aux nanoparticules de ZnO.

La forme et la position des bandes dépendent de divers paramètres tels que la forme, la taille des particules. Les nanoparticules de ZnO présentent un bord d'absorption UV fort à 374 nm qui pourraient être lié à la structure cristalline wurtzite de ZnO. En décorant l'or à la surface des nanoparticules de ZnO, le bord d'absorption s'est déplacé vers la plus grande longueur d'onde (décalage vers le rouge). Cela peut être dû à une très faible déformation du réseau qui peut être présente dans les nanoparticules Au@ZnO [28].

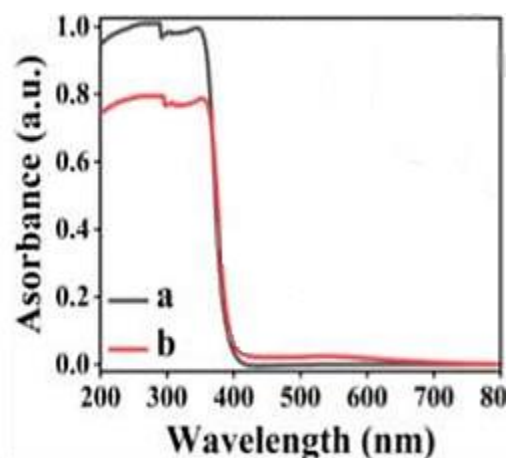


Figure IV.11 : Spectres UV-Visible des nanoparticules de ZnO et Au@ZnO [28]

5.5 Résultat de la décoration sur l'activité photo catalytique

L'activité photo catalytique a été réalisée par la dégradation du colorant Rh B sous irradiation de lumière UV dans une solution aqueuse. L'activité de photo dégradation des NPs de ZnO pures et décorées à l'or, les résultats montrent une dégradation de 74% pour le ZnO alors qu'une dégradation de 95% du colorant a été enregistrée pour les nanoparticules Au@ZnO pendant 180 minutes pour le pH basique du colorant [28].

6. Conclusion

La présente recherche offre une méthode écologique et rentable comme alternative pour la synthèse de nanoparticules de ZnO décorées par l'utilisation de l'extrait aqueux de différentes plantes comme (*Portulaca oleracea*, *Excoecaria agallocha*, *Strobilanthes crispus*, *Carya illinoensis*), avec excellentes performances de photo dégradation.

Conclusion générale

Conclusion générale

La synthèse verte est une nouvelle technologie qui a commencé à jeter son ombre sur la science de la chimie, car elle est venue réformer la relation entre l'homme et la nature et préserver l'environnement, qui l'a gâté, avec un budget bien inférieur et des dégâts quasi inexistantes. Dans notre mémoire, une recherche bibliographique a été menée sur la synthèse verte des nanoparticules d'oxyde de zinc et sa décoration. L'objectif de cette étude est d'améliorer les propriétés des nanoparticules d'oxyde de zinc, qu'elles soient optiques, catalytiques, ou magnétiques de surface. Elle ouvre des horizons nouveaux et prometteurs pour ce champ.

Des extraits aqueux de plantes *Portulaca oleracea*, *Excoecaria agallocha*, *Strobilanthes crispus* (B), *Carya illinoensis* ont été utilisés dans la synthèse verte de nanoparticules d'oxyde de zinc par différentes techniques de caractérisation telles que la Spectroscopie UV visible, la Spectroscopie infrarouge FTIR, La diffraction de rayons DRX, La microscope électronique à balayage MEB car ces techniques nous ont permis d'analyser diverses propriétés optiques et structures de particules.

Enfin, on peut dire que la synthèse verte de nanoparticules de ZnO, et sa décoration par différents matériaux comme (Mg, Ag, La₂CuO₄, Au, ...) est une technologie respectueuse de l'environnement qui permet d'améliorer divers domaines, qu'ils soient médicaux, pharmaceutiques, industriels, etc.

Références bibliographiques

- [1] Mubashir H. M, Bahar A , Showkat R. M, Bilal A. Z , Nahida T, *Portulaca oleracea* L. A review, department of pharmaceutical Sciences, Faculty of Allied Sciences and Technology, University of Kashmir, India, accepted on 01-07-2011.
- [2] Mohammed A. A, Study of mangrove communities in the eastern coast of the kingdom of saudi arabia, College of Science, King Faisal University, Al-Hufuf, 31982 K.S.A, march 2006.
- [3] Maznah I, Elizabeth M, Azlina M. D, Asmah R , Asmah Y, Chemical composition and antioxidant activity of *Strobilanthes crispus* leaf extract, department of Nutrition and Health Science, Faculty of Medicine and Health Sciences, University Putra Malaysia, accepted 24 July 2000, Available online 28 december 2000.
- [4] Fabrizio G. C , Elmarie F.d.W., Gesine M. C, Propagation of Pecan (*Carya illinoensis*): A review , department of soil, crop and climate sciences, University of the Free State, South Africa, received 19 february, 2018, accepted 18 april, 2018.
- [5] Kyungjin M, Chris F, Hojeong K, and Sung-Uk C , The Regulation by Phenolic Compounds of Soil Organic Matter Dynamics under a Changing Environment ,School of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Republic of Korea , Received 19 December 2014; Accepted 5 April 2015.
- [6] François L . Cartographie génétique des composés phénoliques de la pomme , Université d'Angers-Nantes , Soutenue le 11 juillet 2013 .
- [7] BOUBEKRI C , Etude de l'activité antioxydante des polyphénols extraits de *Solanum melongena* par des techniques électrochimiques , 20 Mai 2014 , Université Mohamed Khider-Biskra.
- [8] M Vaseem , A Umar , Y-B Hahn , ZnO Nanoparticles: Growth, Properties, and Applications, School of Semiconductor and Chemical Engineering and BK21 Centre for Future Energy, Materials and Devices, Chonbuk National University, South Korea , Chonju 561-756 .
- [9] M Murali , N Kalegowda , H G. Gowtham , Plant-Mediated Zinc Oxide Nanoparticles: Advances in the New Millennium towards Understanding Their Therapeutic Role in Biomedical Applications , University of Mysore, India , Published: 11 October 2021 .
- [10] A Bouabdallah , Caractérisation structurale et optique De nanocristaux de ZnO , universite constantine 1, Soutenu le :18/12/2013 .
- [11] B Yasmine , R Warda , Elaboration et Caractérisation des nanopoudres de ZnO pure et dopées avec le 25/9/2020 .Ga par la méthode sol-gel , Université Mohamed Khider de Biskra ,

- [12] O Djemoui , M Yahia , B Ala Eddine , Etat de l'art sur la synthèse vert des nanoparticules de ZnO à l'aide de l'extrait de différentes plantes , Université Echahid Hamma Lakhdar -El Oued , 22/06/2021.
- [13] S Fay , L'oxyde de zinc par dépôt chimique en phase vapeur comme contact électrique transparent et diffuseur de lumière pour les cellules solaires , Institut de production et robotique, section de microtechnique , Lausanne , Thèse no 2899 (2003).
- [14] M-H Delville , J-P Delville , Synthèse microfluidique de nanomatériaux multiconctionnels par laser , Université Bordeaux 1 , Soutenue le : 19 Décembre 2012.
- [15] C Dhand , N Dwivedi , X Jun Loh , A Ng Jie Ying , N K Verma , R W. Beuerman, R Lakshminarayanan, S Ramakrishn , Methods and strategies for the synthesis of diverse nanoparticles and their applications , Received 20/09/2015 , Accepted 26/11/2015
- [16] A Dhall , W Self , Cerium Oxide Nanoparticles: A Brief Review of Their Synthesis Methods and Biomedical Applications , Colleges of Nanoscale Science and Engineering, Suny , Published: 24 July 2018 .
- [17] M Shah , D Fawcett , S Sharma , S K Tripathy , G E Jai Poinern , Green Synthesis of Metallic Nanoparticles via Biological Entities , University, Murdoch WA 6150, Australia, Published: 29 October 2015 .
- [18] H. H Azeez , A. A Barzinjya , S. M Hamad , Structure, Synthesis and Applications of ZnO Nanoparticles , University Erbil, Kurdistan Region, Iraq , Received on: 08/08/2019, Accepted on: 01/12/2019 .
- [19] S S M Alabdullah , A Z M AL-Bassam , N Asaad , Electrochemical sensors and its applications , Department of Chemistry, College of Science, Al-Nahrain University, Baghdad, Iraq, Accepted 02 July 2021 , Available online 07 July 2021.
- [20] M T Tliba , Etude des propriétés optiques et électroniques des couches minces de ZnO dopé et non dopé : détail et application , Université de Kasdi Merbah Ouargla , Il a été défendu le 03/07/2019.
- [21] J Keirsse , Spectroscopie infrarouge déportée : mise au point d'un biocapteur pour l'imagerie métabolique et la sécurité microbiologique , l'université de rennes 1 , soutenue le 10 Juillet 2003
- [22] C Truche , Caractérisation et quantification des minéraux argileux dans les sols expansifs par spectroscopie infrarouge aux échelles du laboratoire et du terrain , université de toulouse , soutenue le lundi 13 décembre 2010 .
- [23] A Amer, Science Nanotechnology: Nanotechnology and Nanoscience , Publié le 27/09/2022.

- [24] H Salim , Etude de la croissance des nanostructures de ZnO déposées par la technique spray ultrasonique , universite mohamed boudaif d'oran , soutenue 19/11/2015 .
- [25] Barani, Djamel, et al. "Biomass-mediated synthesis of ZnO and Mg@ ZnO nanoparticles for enhancing the degradation of m-toluidine and p-toluidine." *Biomass Conversion and Biorefinery* (2022): 1-8.
- [26] Khan, Mujahid S., et al. " Ultrasound-Assisted Green Synthesis of Ag-Decorated ZnO Nanoparticles Using Excoecaria agallochaLeaf Extract and Evaluation of Their Photocatalytic and Biological Activity." *Chemistry Select* 5.41 (2020): 12660-12671.
- [27] Yulizar, Yoki, Dewangga Oky Bagus Apriandanu, and Raden Iqrafia Ashna. "La₂CuO₄-decorated ZnO nanoparticles with improved photocatalytic activity for malachite green degradation." *Chemical Physics Letters* 755 (2020): 137749.
- [28] Ahmad, Munir, et al. "Phytogenic fabrication of ZnO and gold decorated ZnO nanoparticles for photocatalytic degradation of Rhodamine B." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 9.1 (2021): 104725.

