



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 de Fin d'Etude

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTERACADEMIQUE

Domaine: Sciences et Technologies

Filière: Génie des Procédés

Spécialité: Génie chimique

Présenté par:

ALLAL KAOUTAR

BENKADDOUR HADJAR

DEBGA ISMAHANE

Thème

Etude bibliographique sur l'activité
antibactérienne des nanoparticules de
 ZnO

Devant le Jury:

Dr. LAOUINI Salaheddine

Président

Université d'El Oued.

Dr. AHMOUDA Kaouthar

Examineur

Université d'El Oued.

Dr. BARANI Djamel

Rapporteur

Université d'El Oued.

2020/2021

REMERCIEMENTS

Louange et remerciements à Dieu, toute nous familles et nous compagnons

Avant de continuer, nous présentons les plus hauts versets de remerciement, de gratitude, d'appréciation et d'amour à ceux qui nous ont donné le chemin de la connaissance et de la connaissance et ont veillé à notre avancement, le premier d'entre eux est le vertueux **Dr. DJAMEL BARANI**, qui a supervisé l'achèvement de ce travail et a été une lumière qui éclaire les ténèbres qui se dressent parfois sur notre chemin. Nous le remercions pour ses efforts, ses précieux conseils, judicieux qui nous aidé à mener à bien tout ce travail, il a nos plus sincères remerciements et notre appréciation.

Je remercie également les membres du comité de discussion d'avoir accepté de discuter de ce travail, à commencer par son président et les membres de jury.

Dédicaces

Je Dédie ce modeste travail

*À ma cher mère **saliha hachifa** et mon père pour leur endurance
et leur sacrifices sans limites*

*À mon frère : **BACHIR** , et mon sœur : **HALIMA** , en
reconnaissance de leur affection toujours constante*

*À mon fiancé : **DHIA EDDINE MAKAOUI***

*Et ma chère amie : **Ben Omar Elham***

KAOUTAR

Nous avons commencé avec plus d'une main et avons souffert plus qu'eux, et nous voici aujourd'hui, Dieu merci, nous clôturons les nuits et le résumé de notre voyage entre les deux couvertures de cet humble ouvrage. A la fontaine qui ne se lasse pas de donner A celle qui tisse mon bonheur avec des ficelles tissées de son coeur à "ma mère" A ceux qui ont cherché et ont été misérables à profiter de la paix et du contentement et m'ont appris à gravir les échelons de la vie avec sagesse et patience à "mon cher père" A qui leur amour coule dans mes veines et mon coeur chante avec leur souvenir A mes soeurs, " Madjda, Torkia et Widad" A ceux qui portent dans leurs yeux les souvenirs de mon enfance A mes frères" Naseem, chafic, Abdel Samie" Au visage plein d'innocence A mes neveux "Al-Baraa, Anas, Obi, Ikhlas, Durar, Zulfa" A mon âme sœur, et celle avec qui le destin m'a rapproché, " mon fiancé" et sa famille À tous les membres de ma famille et à ceux dont les lignes sont rétrécies par mon cœur, "mes amis" Et à la fin, je demande à Dieu Tout-Puissant de rendre ce travail utile pour que tous les étudiants bénéficient .

HADJER

Loué sois-tu, mon Seigneur, pour ta grande bonté et le beau don de ta présence. Quant à ce qui suit: à celle avec sa tendresse je me suis réfugié, et avec sa chaleur je me suis réfugié et avec sa lumière j'ai été guidé " Ma mère" bien-aimée Au pilier de ma vie et au coffre de ma fierté et de ma dignité "Mon cher père, que Dieu prolonge sa vie" A ceux qui ont partagé avec moi la douceur et l'amertume de la vie sous le même toit, mes frères et sœurs "Saber, Hamza, Zehor, Hanane, Hafsia, Abeer, Radia et la femme de mon frère, Hinda". Et aux petits poussins" Amani, Abdel Salam, Malak" A la prunelle de mes yeux, mon partenaire de vie, "mon fiancé", et sa généreuse famille. A ceux que le destin m'a présenté, mes chers amis Enfin, je demande à Dieu Tout-Puissant de rendre ce travail utile pour que chacun puisse en bénéficier.

ISMAHANE

SOMMAIRE

Remerciements	
Dédicace	
Sommaire	
Liste des figures.	
Liste des tableaux.	
Résumé	
Introduction générale	
CHAPITRE I : Palmier dattier et composés phénoliques	
1 : Palmier Dattier	03
1.1. Généralités	03
1.2. Classification	04
1.3. Distribution du palmier dattier	04
1.3.1 En Algérie	04
1.3.2 Dans le monde	05
2 :Composés Phénoliques	05
2.1. Généralités	05
2.2. Structure chimique et classification	06
2.3. Propriétés chimiques majeures des polyphénols	07
2.4. Rôles des polyphénols	08
Chapitre II : Généralités et propriétés de l'oxyde de zinc	
1. Généralités sur les Nanomatériaux	10
2. L'oxyde de Zinc	10
3. Propriétés de nanoparticules de ZnO	10
3.1. Propriétés structurales	10
3.2. Propriétés électriques et électroniques	11
3.3. Propriétés optiques	11
4. Méthodes de synthèse	12
4.1 Méthodes chimiques	12
4.1.1. La méthode sol-gel	13
4.1.2. La méthode Solvothermale /hydrothermale	13
4.1.3. La méthode de précipitation	13
4.2 Méthodes physiques	14

4.2.1.Evaporation / Condensation	14
4.2.2.Pyrolyse laser	14
4.2.3. Pyrolyse par jet	14
4.3 protocol de la Synthèse de ZnO	14
5.Applications de nanoparticules de ZnO	16
5.1.Additif alimentaire et engrais agricoles	16
5.2.Pharmacie, biomédical et biotechnologie	16
5.3.Cosmétique	16
5.4.Santé	17
6.Conclusion	17
Chapitre III : Synthèse verte de nanoparticules de ZnO à l'aide d'extrait de feuille de Phoenix Dactylifera. L	
1. Introduction	19
2.Préparation de l'extrait de Phoenix Dactylifera. L	19
3. Synthèse verte de nanoparticules de ZnO	19
4. Résultats et discussion	20
Chapitre IV : Etude bibliographique sur l'activité antibactérienne des nanoparticules de ZnO	
I.1. Introduction	26
2. Activité antimicrobienne des nanoparticules de ZnO synthétisées à l'aide d'extrait de feuille de plante médicinale costus pictus	26
3.Activité antibactérienne de nanoparticules de ZnO synthétisées à l'aide de l'extrait de feuille de B. tomentosa	28
4.Activité antibactérienne de nanoparticules de ZnO synthétisées à l'aide de l'extrait de feuille derosaindica	29
5.Activité antibactérienne de nanoparticules de ZnO synthétisées à l'aide de l'extrait de feuille defraisier	30
6.Activité antibactérienne de nanoparticules de ZnO synthétisées à l'aide de l'extrait de de fruits d'Ailanthusaltissima	31
7. Conclusion	33

Liste des figures

Figure I-1	Présentation du palmier dattier (1) la plante entière, (2) la palme d'après Djerbi, 1995 et (Munier, 1973)	03
Figure I.2	Structure du noyau phénol	06
Figure I.3	Structure chimique de l'ion phenoxyde	08
Figure II.1	Modèle de structure würtzite de ZnO (cas de 1D). Représentée la coordination tétraédrique de ZnO	11
Figure II.2	Variation de l'émission en fonction de la longueur d'onde d'excitation	12
Figure II.3	Schéma illustrant les différentes techniques de synthèse des nanoparticules	16
Figure III. 1	Résumé la synthèse verte de nanoparticule	20
Figure III. 2	Absorbance UV-vis de la solution de nanoparticules d'oxyde de zinc synthétisée avec différentes concentrations d'acétate de zinc	20
Figure III. 3	Spectres de transmittance UV-vis de la solution de nanoparticules d'oxyde de zinc préparée avec différentes concentrations	21
Figure III. 4	Spectre FTIR de Phoenix Dactylifera. L et les nanoparticules de ZnO préparées	22
Figure III. 5	Diffraction des rayons X des nanoparticules de ZnO en fonction de la concentration	23
Figure III. 6	Images MEB de nanoparticules de ZnO synthétisées	24
Figure IV.1	Teste antibactérienne de nanoparticules de ZnO (a) <i>S. aureus</i> (b) <i>B. Subtilis</i> (c) <i>E. coli</i> (d) <i>S. paratyphi</i>	26
Figure IV.2	Pourcentage de résultats d'inhibition contre les souches bactériennes	27
Figure IV.3	Activité antibactérienne des NP de ZnO dérivées d'extraits de feuilles de <i>B.tomentosa</i> a <i>B. subtilis</i> , <i>bs.aureus</i> , <i>cf.aeruginosa</i> et d <i>E.coli</i>	29
Figure IV.4	Activité antibactérienne des nanoparticules de ZnO synthétisées contre <i>S.aureus</i> et <i>E. coli</i>	30
Figure IV.5	UFC vs concentration de NP de ZnO pour (A) calciné et (B) non calciné	31
Figure IV .6	Activité antimicrobienne des nanoparticules de ZnO synthétisés à l'aide d'extrait aqueux de fruits d' <i>Ailanthusaltissima</i>	32

Liste des tableaux

Tableau I.1	Classification de l'espèce Phoenix Dactylifera.L	04
Tableau I.2	Structure chimique de quelque polyphénol	07
Tableau IV.1	Résultats antibactériens pour les nanoparticules de ZnO	27
Tableau IV.2	Activité antibactérienne de nanoparticules de ZnO synthétisées à l'aide de l'extrait de différentes plantes	32

Résumé

Nous avons exposés dans ce travail, un protocole de la synthèse verte de nanoparticules de ZnO à partir de feuilles de *Phoenix Dactylifera*, ensuite, une étude bibliographique sur l'activité bactérienne contre les bactéries pathogènes comme *E. coli*, *S. aureus*, *B. subtilis*, *P. aeruginosa* et *S. paratyphi*, par l'utilisation de nanoparticules de ZnO. Les zones d'inhibition montrent clairement que les nanoparticules de ZnO bio synthétisées perturbent la membrane cellulaire avec des taux élevés de génération d'espèces d'oxygène de surface et provoquent finalement la mort d'agents pathogènes.

La synthèse verte permet d'obtenir des nanoparticules de ZnO à faible coût et respectueuses de l'environnement. En même temps les nanoparticules de ZnO ont montré une plus grande efficacité pour inhiber la croissance des bactéries.

Mots clés

Nanoparticules ; ZnO ; activité antibactérienne ; biosynthèse ; plantes.

Abstract

In this work, we presented a protocol for the green synthesis of ZnO nanoparticles from *Phoenix Dactylifera* leaves, followed by a literature review on the bacterial activity against pathogenic bacteria such as *E. coli*, *S. aureus*, *B. subtilis*, *P. aeruginosa* and *S. paratyphi*, by using ZnO nanoparticles. The inhibition zones clearly show that the bio-synthesized ZnO nanoparticles disrupt the cellular membrane with high rates of surface oxygen species generation and ultimately cause pathogen death.

The green synthesis provides low cost and environmentally friendly ZnO nanoparticles. At the same time, ZnO nanoparticles have shown greater efficacy in inhibiting the growth of bacteria.

Key words

Nanoparticles; ZnO; antibacterial activity; biosynthesis; plants.

المخلص

عرضنا في هذا العمل، بروتوكول لتحضير جسيمات النانوية لأكسيد الزنك بطريقة التوليف الأخضر باستعمال أوراق *Dactylifera Phoenix*، بعد ذلك أجرينا دراسة نظرية حولاً لنشاط البكتيري لجسيمات أكسيد الزنك ZnO مثل *E. Coli* و *S. Aureus* و *B. subtilis* و *P. aeruginosa* و *S. Paratyphi*. تظهر مناطق التثبيط بوضوح أن الجسيمات النانوية ZnO المركبة حيويًا تعطل أغشاء الخلية بمعدلات عالية من نسبة الأكسجين السطحيات سبب في النهاية لموت العامل الممرض.

يوفر التوليف الأخضر تكلفة منخفضة وجسيمات ZnO النانوية صديقة للبيئة. في الوقت نفسه، أظهرت جسيمات ZnO النانوية كفاءة عالية في تثبيط نمو البكتيريا.

الكلمات المفتاحية

الجسيمات النانوية، النشاط البكتيري، التوليف الأخضر، النباتات.

Introduction

Les nanoparticules sont un domaine de recherche important qui excite la plupart des chercheurs à l'heure actuelle en raison de la demande croissante de nanoparticules dans de nombreux secteurs et de leurs différentes applications dans de nombreux domaines tels que la cosmétique [1], pharmaceutique [2], les catalyseurs [3], les antimicrobiens [4], l'industrie alimentaire [5].

La synthèse de nanoparticules à l'aide de micro-organismes et de plantes par la technologie de synthèse verte est biologiquement sûre, rentable et respectueuse de l'environnement.

Les nanoparticules de ZnO sont des matériaux qui offrent de nombreux avantages grâce à ses propriétés physiques et chimiques. Ce matériau contient un large intervalle (3,37 V) et une énergie de liaison élevée à température ambiante (60 MV) et il a une excellente stabilité chimique, de sorte que la conception de nanostructures ZnO de formes et de tailles différentes revêt une grande importance et le développement de dispositifs à l'échelle industrielle.

L'activité antibactérienne des nanoparticules d'oxyde de zinc (ZnONPs) a reçu une grande attention dans le monde entier, en particulier grâce à l'application de la nanotechnologie pour assembler des particules dans la région du nanomètre. De nombreux micro-organismes se trouvent dans la gamme des centaines de nanomètres à des dizaines de micromètres. Les ZnONPs présentent des propriétés antibactériennes attrayantes en raison de l'augmentation de la surface spécifique due à la taille réduite des particules, ce qui entraîne une interaction accrue entre les particules. Le ZnO est un matériau biologiquement sûr qui possède des effets photo-oxydants et photo catalytiques sur les espèces chimiques et biologiques. Cemémoireest une recherche bibliographique sur l'activité antibactérienne des ZnONPs, y compris les méthodes de test et les propriétés des nanoparticules de ZnO. Dans son ensemble notre travail, comporte quatre chapitres :

- Le premier chapitre présente une étude bibliographique sur le palmier dattier et les composés phénoliques.
- Le deuxième chapitre présente des généralités et propriétés sur le ZnO.
- Le troisième chapitre expose la synthèse verte des nanoparticules de ZnO et son caractérisation.
- Le quatrième chapitre représente l'activité antibactérienne des nanoparticules de ZnO.

En fin une conclusion générale.

Chapitre I : Palmier dattier et composés phénolique

Partie 1 : Palmier Dattier et Composés Phénoliques

1. Généralités

Le palmier dattier est plante d'intérêt écologique, économique et social majeur pour de nombreux pays des zones arides qui comptent parmi les plus pauvres du globe. En effet, en créant au milieu du désert un microclimat favorable au développement de cultures sous-jacentes, le palmier dattier constitue l'axe principal de l'agriculture dans les régions désertiques et représente la principale ressource vivrière et financière des populations oasiennes [1].

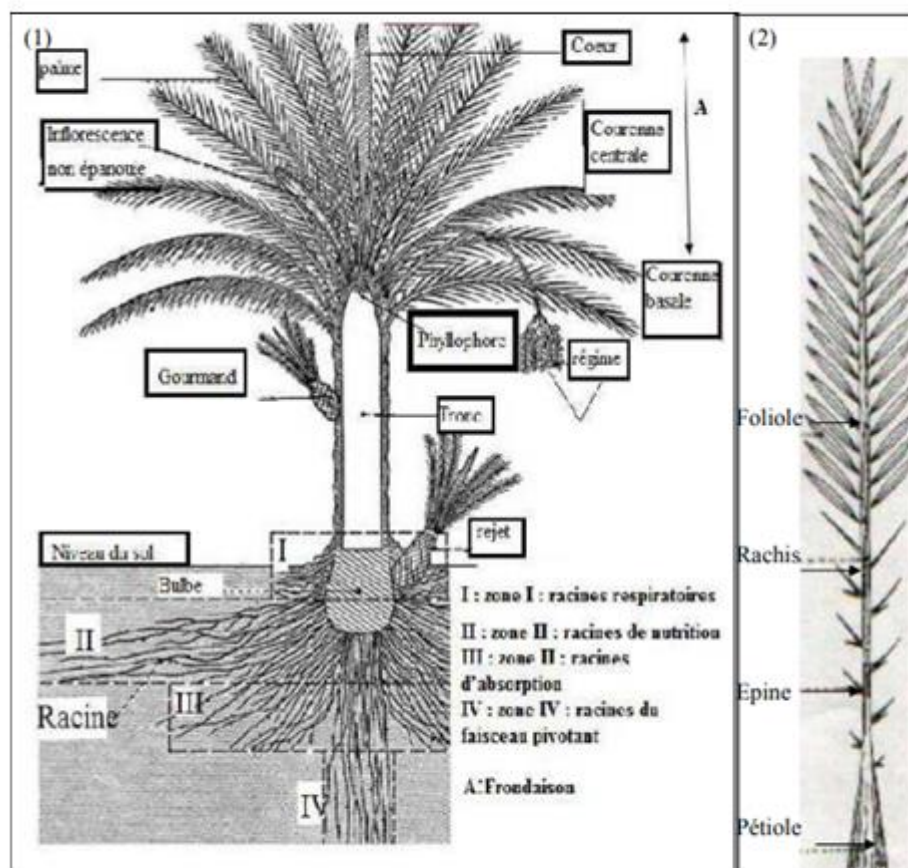


Figure I. 1: Présentation du palmier dattier (1) la plante entière, (2) la palme d'après Djerbi, 1995 et (Munier, 1973)

Le palmier dattier (*Phoenix Dactylifera* L.) est une monocotylédone de la famille des Palmacées un dont des genres sont le Coryphoideae dont une espèce est *Phoenix Dactylifera*, caractérisée par un pseudo – tronc (stipe) unique terminé par un panache de feuilles composées avec une série de folioles de chaque côté d'un pétiole commun, provenant d'un point croissant sur le tronc. Le palmier dattier peut atteindre un âge de 100 ans et atteint jusqu'à 24 m de hauteur au point croissant. Normalement la limite d'âge utile est moins et par conséquent la taille ne sera pas au maximum plus de 2-15 m. C'est une plante dioïque. Les fruits sont des

drupes qui forment de longues grappes ou régimes. On distingue les variétés à dattes molles, demi molles et sèches [2].

2. Classification

Selon DJENIEN, (2004) Le palmier dattier est aussi " date palm" en anglais, "Nakhil" ou "Tmar" en arabe, mais dans tout les pays, il porte le même nom latin qui a été dénommé par Linné en 1734, (*Phoenix Dactylifera*.L) phœnix dérivée de Phoenix, et le mot datte est dérivé du terme grec daktulos signifiant doigt [1].

Tableau I.1: Classification de l'espèce *Phoenix Dactylifera*.L

Embranchement	Phanérogames
Sous- Embranchement	Angiospermes
Classe	Monocotylédones
Groupe	Phoenocoides
Ordre	Palmales
Famille	Palmacées
Sous-Famille	Coryphoideae
Genre	Phoenix
Espèce	Phoenix Dactylifera

3. Distribution du palmier dattier

3.1 En Algérie

En Algérie la culture du dattier s'étend entre les latitudes 25°et 35° Nord. Les palmeraies occupent ainsi environ 120830 has 83.56% possédée par les Wilayas de Biskra El oued, Adrar et Ouargla, et le nombre de palmier total est estimé à 13.5 million selon les statistiques agricoles [3].

Les véritables palmeraies commencent sur le versant sud de l'Atlas Saharien, par les palmeraies de Biskra, à l'Est, celles de M'Zab au centre et de Beni Ounif à l'Ouest.

L'oasis de Djanet constitue la limite méridionale de la palmeraie Algérienne à l'extrême sud du Sahara.

En général les palmeraies algériennes sont localisées au Nord-Est du Sahara au niveau des oasis. Le palmier dattier est cultivé au niveau de 17 wilayas seulement, pour une superficie de 120830 hectares, cependant 4 wilayas représentent 83,6% du patrimoine phoenicicole national : Biskra 23%, Adrar 22%, El-oued 21% et Ouargla 15% [4].

Notons que sur un nombre de 13,50 millions de plants cultivés, 69,4 % sont productifs. C'est aussi dans ces régions que sont produites les belles dattes, DegletNour et autres variétés commerciales: Ghars, DeglaBaida... [5].

3.2 Dans le monde

Le palmier dattier fait l'objet d'une plantation intensive en Afrique méditerranéenne et au Moyen-Orient. L'Espagne est l'unique pays européen producteur de dattes principalement dans la célèbre palmeraie d'Elche [6].

Aux Etats-Unis d'Amérique, le palmier dattier fût introduit au XVIII ème siècle. Sa culture n'a débutée réellement que vers les années 1900 avec l'importation des variétés irakiennes.

Le palmier dattier est également cultivé à plus faible échelle au Mexique, en Argentine et en Australie [7].

Partie 2 : Composés Phénoliques

1. Généralités

Les composés phénoliques, ou polyphénols, constituent une famille de molécules organiques largement présentes dans le règne végétal. On les retrouve dans les plantes, depuis les racines jusqu'aux fruits, et ils font donc partie intégrante de notre alimentation. Ce sont des métabolites secondaires produits par les plantes pour interagir avec les autres végétaux et les animaux. Ils n'exercent pas de fonction directe au niveau des activités fondamentales de l'organisme végétal, comme la croissance ou la reproduction.

Le terme phénolique est utilisé pour définir des substances qui possèdent au moins un groupement hydroxyle (OH) substitué sur un cycle aromatique. Ce nom provient du composé parent le plus simple : le phénol [8].

Les polyphénols, qui forment une immense famille de plus de 8000 composés naturels, sont divisés en plusieurs catégories : les flavonoïdes qui représentent plus de la moitié des polyphénols ; les tanins qui sont des produits de la polymérisation des flavonoïdes ; les acides phénoliques, les coumarines, les lignanes et d'autres classes existent en nombres considérables [9].

L'élément structural fondamental qui caractérise les composés phénoliques est la présence d'au moins un noyau benzénique auquel est directement lié au moins un groupement hydroxyle ainsi que des groupes fonctionnels (ester, méthyle ester, glycoside...) [10].

La fonction principale attribuée à ces composés chez les végétaux est la protection contre les pathogènes et les herbivores ainsi que la limitation des dommages dus aux radiations [9]

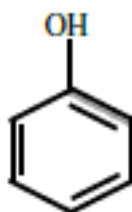


Figure I. 2 : Structure du noyau phénol.

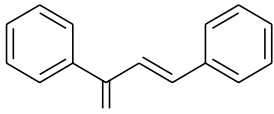
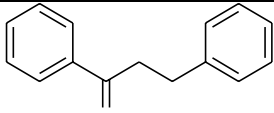
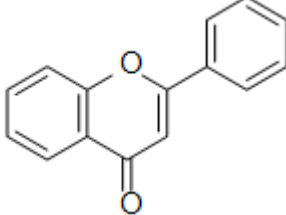
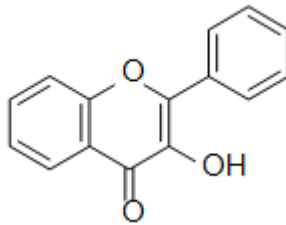
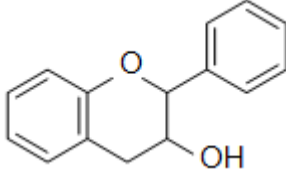
2. Structure chimique et classification

La large variété de polyphénols peut être divisée en une dizaine de classes dont la structure chimique peut être répartie en deux grands groupes, les flavonoïdes et les autres. Les flavonoïdes, qui représentent la classe la plus abondante et la plus étudiée de cette classification, comptent plus de 4000 composés découverts à ce jour [11]

Les composés phénoliques se trouvent principalement liés à des sucres et des acides organiques, qui peuvent être regroupés en flavonoïdes et les non-flavonoïdes.

Par contre, les non flavonoïdes ont un groupe plus diversifié de composés de la plus simple les acides benzoïques (C_6-C_1), et stilbènes en $C_6-C_2-C_6$ plus complexes, les lignanes et le gallo tannins ($C_6-C_3-C_3-C_6$), et les tanins sont un groupe des polyphénols à haut poids moléculaire. Fortement hydroxylés et peuvent former des complexes insolubles lorsqu'ils sont associés aux glucides, aux protéines et aux enzymes digestives, réduisant ainsi la digestibilité des aliments. On distingue: les tanins hydrolysables(Ellagitannins) et condensés [12,13].

Tableau I.2: Structure chimique de quelque polyphénol

Flavonoïdes	Structure de base
Chalcones	
Dihydrochalcones	
Flavones	
Flavonols	
Flavanols	

3. Propriétés chimiques majeures des polyphénols

Une propriété importante des groupements hydroxyles des phénols est leur acidité due à la labilité des protons acides, qui entraîne la formation d'anions phénoxydes (Figure I.3) stabilisés par résonnance. Cet anion, a la possibilité de perdre un électron pour former un radical [14] ; l'électron, lui, pouvant être récupéré par un radical libre. La structure aromatique du radical phénoxyde ainsi formé lui confère une certaine stabilité, donc une réactivité plus faible, en raison de la délocalisation du radical [15]. Il peut, ensuite, réagir avec un autre radical libre [16].

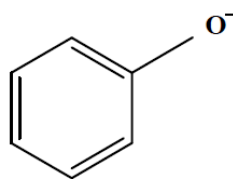


Figure I.3 : Structure chimique de l'ion phénolyle.

Les substitutions les plus rencontrées sur les phénols des végétaux sont principalement la méthylation et la conjugaison avec des esters et des glycosides, lesquels peuvent être acylés. Les polyphénols sont généralement glycosylés dans leur état naturel [17].

4. Rôles des polyphénols

Il a été rapporté que la consommation d'aliments riches en polyphénols réduit le développement de nombreuses pathologies. Les polyphénols ont été décrits comme étant des antioxydants [18], des antiagrégants plaquettaires, des anti-inflammatoires, des antithrombotiques et des anti-tumoraux [19][20][18]. Des expériences *in vivo* ont montré que l'administration orale de l'acide p-coumarique présent dans le fruit de dattes augmente l'expression des gènes des enzymes antioxydantes dans le tissu cardiaque chez le rat. Ce pouvoir antioxydant est ainsi attribué aux anthocyanines, flavonoïdes et les procyanidines présents dans les dattes [21].

Des études ont démontré que les extraits aqueux de dattes réduisent le stress oxydant et diminuent la peroxydation lipidique et protéique chez les rats [22,23]. Ont démontré que les extraits méthanoliques et butanoliques de trois variétés de datte Deglet-Nour, Ghars et Mech-Degla exercent une activité antibactérienne [24]. Ont démontré que l'extrait des dattes inhibe la croissance de *Streptococcus pyogenes* et neutralise leur effet hémolytique par l'inhibition de la sécrétion de l'enzyme «Streptolysine O».

Chapitre II : Généralités et propriétés de l'oxyde de zinc

1. Généralités sur les Nanomatériaux

L'origine du mot nano est dérivée du mot grec « nanos », qui est un mot grec signifiant nain, signifiant tout ce qui est petit et dans le domaine de la science signifie une partie d'un milliard. Une nanoparticule est définie comme étant une particule dont au moins une direction de l'espace a une dimension inférieure à 100 nm. La particularité d'une nanoparticule réside dans le fait que la majorité des atomes qui la constituent se trouve en surface. Cela confère à la nanoparticule une surface d'échanges (surface spécifique) très importante résultant dans des propriétés physiques et chimiques particulières. Ces propriétés peuvent entraîner des effets biologiques propres[1].

2. L'oxyde de Zinc

L'oxyde de Zinc est un composé inorganique, de formule ZnO. Il apparaît généralement sous forme de poudre blanche, insoluble dans l'eau, largement utilisée comme additif dans de nombreux matériaux et produits biomédicaux[2].

Le ZnO est présent dans la couche terrestre sous la forme de Zincite minérale, contenant, en général, une certaine quantité de Manganèse et d'autres éléments. Toutefois, dans la plupart des cas, le ZnO utilisé en commerce est produit synthétiquement. ZnO se décompose en vapeur de Zinc et d'oxygène autour de 1975°C, ce qui reflète sa considérable stabilité[3].

3. Propriétés de nanoparticule de ZnO**3.1. Propriétés structurales**

Le changement de la taille ou des dimensions de la nanoparticule change la propriété physique de la matière. La structure de nanoparticule de ZnO est la plus riche de tous autres matériaux. Il existe un fort moment dipolaire qui minimise leur énergie. La croissance anisotrope selon l'axe C donne des structures comme l'hélice ou les piliers [4].

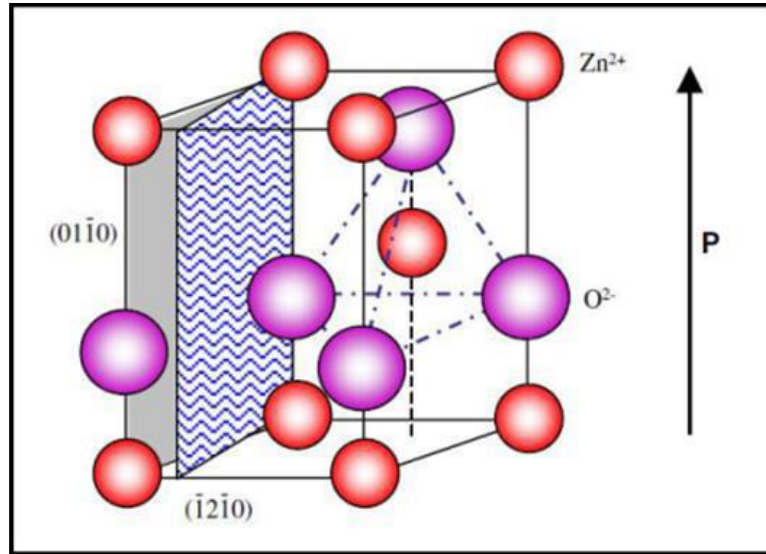


Figure II.1 : Modèle de structure wurtzite de ZnO (cas de 1D). Représentée la coordination tétraédrique de ZnO[5]

3.2. Propriétés électriques et électroniques

L'oxyde de zinc (ZnO) est un semi-conducteur direct à large bande interdite ($E_g = 3,37\text{eV}$ à température ambiante), ce qui correspond à une transmission proche des UV. Comme la plupart des autres semi-conducteurs industriels à large bande[4]. Les domaines d'intérêt pour les alliages à base de ZnO et les structures hétérogènes associées sont l'optoélectronique, l'électronique de spin et la microélectronique appliquée à la détection de gaz.

Les propriétés électroniques de ces Nps sont profondément modifiées et dépendantes de la taille, de la forme et de l'état de surface des nano cristaux. L'intérêt est, bien sûr, de contrôler de ces paramètres pour ajuster à volonté ces propriétés[6].

3.3. Propriétés optique

Les propriétés d'émission de ZnONps dépendent fortement de la méthode de synthèse utilisée, parce que ces propriétés sont liées aux défauts de surface. Les propriétés optiques peuvent être significativement modifiées par la nanostructure, et compte tenu de la faible extension spatiale de l'exciton (2,3 nm), les modifications dues aux effets quantiques de tailles ne sont accessibles qu'à des tailles inférieures à 10 nm. Les propriétés de luminescence associées aux défauts seront également indirectement affectées par la nanostructure.

En effet, certains défauts cristallins, tels que des perturbations ou des défauts d'empilement, seront logiquement affectés par la nanostructure. Au contraire, l'essentiel de la surface disponible sur les échantillons de nanostructures constitue un réservoir de défauts dont le nombre et la nature dépendent de la qualité de la surface considérée [6].



Figure II.2 : Variation de l'émission en fonction de la longueur d'onde d'excitation[7]

4. Méthodes de synthèse

4.1 Méthodes chimiques

Les méthodes chimiques sont utilisées pour l'obtention de dispersions nanométriques dans des matrices, ces méthodes ont l'avantage d'être plus simple à mettre en œuvre, elles permettent généralement un bon contrôle de la morphologie. Les méthodes les plus pertinentes et les plus rencontrées dans la littérature sont : la méthode sol- gel, la méthode solvo/hydrothermale, la méthode de précipitation, synthèse par voie organométallique.

4.1.1. La méthode sol-gel

La méthode sol-gel est la méthode la plus utilisée pour obtenir des oxydes métalliques nanostructurés. Le terme sol-gel signifie « solution gélification », La littérature fournit un grand nombre de publications mettant en jeu cette méthode de synthèse. La synthèse des nanoparticules d'oxyde par sol-gel consiste à préparer une solution homogène de précurseurs métalliques puis un traitement thermique de ce dernier pour obtenir l'oxyde et la formation du cristal. Les nanoparticules de ZnO synthétisé par le mélange de l'acétate de zinc et l'acide oxalique dans l'éthanol. Le principe de cette réaction est basé sur la substitution des ions acétates par les ions oxalate afin d'obtenir un gel. Ce gel est ensuite séché à une température de 500°C pour obtenir des poudres nanostructurées[8].

4.1.2. La méthode Solvothermale /hydrothermale

La synthèse de nanoparticules par voie solvothermale se déroule en présence de solvants aqueux tels que la triméthylamine ou le diméthyleformamide à une température supérieure à leur température d'ébullition. Les nanoparticules obtenues par cette méthode sont séparées du solvant par décantation[9], [10]. Les synthèses réalisées par voie solvothermale assurent un meilleur contrôle de la morphologie, de la cristallinité et de la mono dispersité des nanoparticules que par la voie hydrothermale [11].

La méthode hydrothermale repose sur l'utilisation de solutions aqueuses pour dissoudre des substances (sulfures ou oxydes) pratiquement insolubles dans des conditions normales à haute température et pression. La méthode est simple et n'implique aucun traitement supplémentaire ni l'utilisation de solvants organiques. La synthèse est réalisée dans un autoclave où le mélange de réactifs est progressivement porté à une température de 100-300°C et laissé plusieurs jours. Des graines de cristal se forment puis se croisent sous l'effet du refroidissement[12, 13].

4.1.3.La méthode de précipitation

Ce procédé est un procédé classique de préparation de nanoparticules d'oxyde métallique. Cela implique une réaction de précipitation en ajoutant une base à une solution de sel de zinc. Les oxydes métalliques sont généralement formés et précipités dans l'eau en ajoutant une solution basique telle qu'une solution d'hydroxyde d'ammonium ou d'hydroxyde de sodium. Après lavage et filtration, les sels de chlore restants (NaCl ou NHCl) sont séparés et l'hydroxyde métallique est calciné pour obtenir la poudre finale [14].

4.2.Méthodes physiques

Le principe d'élaboration de nanoparticules par voie physique est mis en œuvre à partir de la phase vapeur. Ces méthodes de synthèse utilisent des températures élevées et une mise en œuvre d'infrastructures lourdes. Parmi les méthodes de synthèse physique évoquées : condensation en phase vapeur, méthodes laser, méthode de pyrolyse par jet[15].

4.2.1.Evaporation / Condensation

Dans un premier temps, une poudre métallique est condensée sous gaz inerte après qu'une sursaturation d'une vapeur en métal concerné soit obtenue au sein de la chambre de préparation. Ensuite, dans un second temps, la poudre est oxydée en introduisant de l'oxygène à l'intérieur de la chambre réactionnelle. Il s'agit d'une réaction fortement exothermique qui peut atteindre environ 1000°C. Une étape conséquente de recuit à plus haute température est souvent nécessaire pour achever l'oxydation. Après refroidissement, les nanostructures se sont formées sur la paroi du four [16].

4.2.2.Pyrolyse laser

L'évaporation par laser est obtenue par la mise au point d'un laser pulsé à haute énergie sur un barreau du métal souhaité. La température au point de focus peut excéder 10000K et peut vaporiser toute substance. Des atomes métalliques chauds sont alors obtenus et peuvent réagir avec l'oxygène pour former une phase vapeur d'oxyde métallique[17].

4.2.3. Pyrolyse par jet

Le dépôt par pyrolyse d'aérosol, encore appelé « spray pyrolysis », part de solutions aqueuses ou alcooliques d'un sel de zinc et les vaporisent sous pression atmosphérique pour déposer des couches de ZnO [18, 19]. Les matériaux de départ sont des précurseurs chimiques, généralement des sels, en solution. Le procédé nécessite de générer un aérosol constitué de gouttes par « atomisation » de la solution de départ. Les gouttes subissent une évaporation suivie d'une condensation, d'un séchage, d'une thermolyse des particules précipitées à haute température pour former des particules microporeuses, et finalement, une étape de recuit est nécessaire pour obtenir les particules denses [20].

4.3. protocole de la Synthèse de ZnO

Le besoin de biosynthèse de nanoparticules a augmenté étant donné que les processus physiques et chimiques étaient coûteux. Pour réduire les coûts, les chercheurs ont utilisé des extraits de plantes et des microorganismes pour la synthèse de nanoparticules. Les méthodes vertes encouragent les scientifiques à minimiser l'utilisation de produits chimiques toxiques et à réduire la production de déchets en effectuant des opérations en milieu aqueux [21]. La synthèse verte est une nouvelle approche pour lutter contre la pollution en prévenant les problèmes environnementaux.

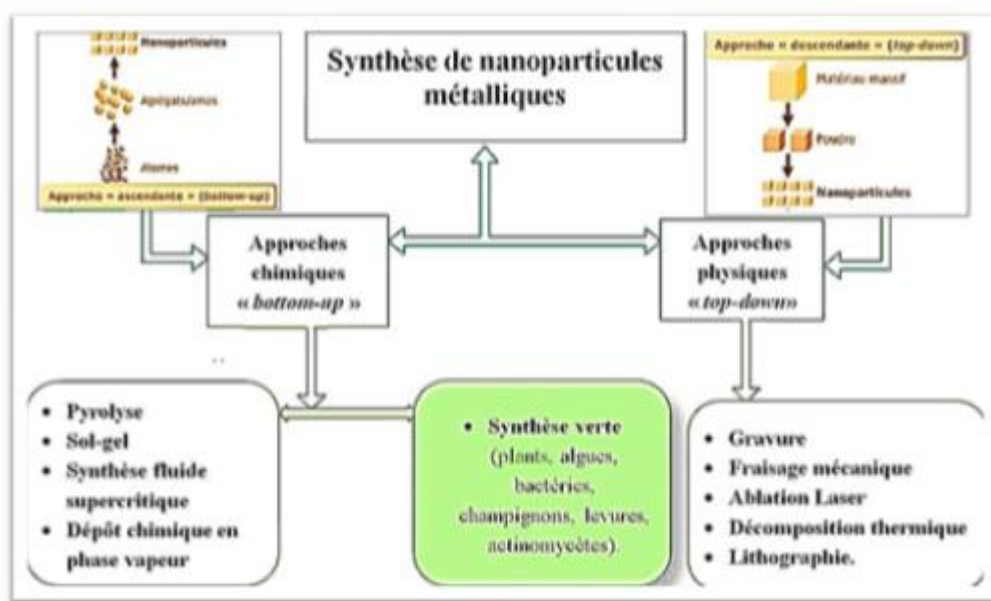
La synthèse des nanoparticules de ZnO est dominée par diverses méthodes physiques et chimiques qui nécessitent de haute pression et température. En général, les méthodes physiques consomment de l'énergie supplémentaire et le vide poussé obligatoire [22, 23], alors que les méthodes chimiques sont des méthodes de production de masse coûteuses et nuisibles [24, 25]. Ainsi, Les méthodes de synthèse chimique conduisent souvent à la présence de certaines espèces chimiques toxiques adsorbées sur la surface qui peuvent avoir des effets indésirables dans les applications médicales [26]. La synthèse verte des nanoparticules devance les autres méthodes car elle est simple, rentable et relativement reproductible et se traduit souvent par des matériaux plus stables. Les matériaux à base de plantes semblent être les meilleurs candidats [27-30]. Ce sont des nanoparticules de production à grande échelle et des alternatives respectueuses de l'environnement aux méthodes physiques et chimiques [31].

Des techniques pourraient être envisagées pour la synthèse de nanoparticules de métal d'origine naturelle à l'aide de réactifs tels que des plantes (feuilles, racines, latex, graines et tiges) et des microorganismes.

L'utilisation des plantes pour synthétiser des nanoparticules de zinc a pour principal avantage de permettre leur disponibilité, de les manipuler en toute sécurité et d'avoir une grande capacité de transformation des métabolites lorsqu'elles peuvent contribuer à la réduction.

La synthèse verte de nanoparticules est un type d'approche ascendante dans laquelle la réaction principale est la réduction / oxydation. Les phytochimiques végétaux antioxydants ou les enzymes microbiennes sont généralement responsables de la réduction décomposés métalliques dans leurs propres nanoparticules. L'agent actif primordial dans certaines de ces synthèses est les composés phénoliques.

De nos jours, on s'intéresse de plus en plus à l'utilisation de précurseurs non toxiques et respectueux de l'environnement, l'abaissement de la température de réaction, l'absence de rejets de sous-produits non désirés et la pollution sont les principaux problèmes qui méritent une attention particulière dans une stratégie de synthèse verte[32].



FigureII.3: Schéma illustrant les différentes techniques de synthèse des nanoparticules [33]

5.Applications de nanoparticules de ZnO

5.1.Additif alimentaire et engrais agricoles

L'oxyde de zinc est ajouté à de nombreux produits alimentaires, y compris les céréales pour petit déjeuner. Les aliments pour animaux contiennent de l'oxyde de zinc, un micronutriment essentiel qui favorise la bonne croissance des animaux. L'oxyde de zinc entre dans la fabrication des engrais. Il a été démontré que les suppléments de zinc

augmentent le rendement des cultures et jouent un rôle dans l'activation des enzymes de croissance des plantes[34].

5.2.Pharmacie, biomédical et biotechnologie

L'oxyde de zinc joue un rôle potentiel dans le système nerveux central et dans de nombreuses maladies de la peau telles que la poudre pour bébé à traiter l'érythème fessier, Et le shampoing antipelliculaire et en cas de peau sèche et craquelée, il protège également des coups de soleil et des rayons ultraviolets. Certaines études ont indiqué que l'oxyde de zinc affectait les fonctions de différentes cellules ou tissus[35].

5.3.Cosmétique

L'oxyde de zinc est un pigment blanc mat, très utile pour réaliser des produits de maquillage. Connu pour ses propriétés protectrices et purifiantes, il s'utilise aussi dans la fabrication de pommades et soins pour peaux irritées. L'oxyde de zinc est aussi connu comme filtre protecteur contre les rayons ultraviolets [36].

5.4.Santé

Grâce à ses propriétés anti-inflammatoires et cicatrisantes, le zinc permet de lutter contre les problèmes de peau comme l'acné, le psoriasis ou la dermatite. Il existe ainsi des médicaments ou des compléments alimentaires à base de zinc indiqués pour ces pathologies de peau. C'est aussi un élément essentiel dans la synthèse de la kératine et du collagène, des protéines qui composent nos cheveux à 95%. Associé à la vitamine B6, il leur confère résistance, souplesse et brillance. Et en tant qu'antioxydant, le zinc contribue à neutraliser les radicaux libres et ainsi, à ralentir le vieillissement oculaire et cutané[37]

6.Conclusion

L'oxyde de zinc (ZnO) est un composé inorganique largement utilisé dans les applications quotidiennes. Le ZnO est actuellement répertorié comme une substance utilisée comme additif alimentaire. L'avènement des nanotechnologies a conduit au développement de matériaux dotés de nouvelles propriétés utilisables comme agents antimicrobiens.

Chapitre III : Synthèse verte de nanoparticules de ZnO à l'aide d'extrait de feuille de phoenixdactylifera. L

1. Synthèse verte de nanoparticules de ZnO à l'aide d'extrait de feuille de *Phoenix Dactylifera.L*

Dans ce chapitre nous présentons la synthèse verte de nanoparticules de ZnO. Djamel Barani et son équipe en 2019 Ils ont mené cette étude pour la première fois pour examiner l'efficacité de l'extrait de feuille *Phoenix Dactylifera. L* avec l'acétate de zinc pour la synthèse de nanoparticules de ZnO. L'effet de la concentration de sel dans l'extrait sur les propriétés de nanoparticules de ZnO a été étudié. La caractérisation des NPs de ZnO a été effectuée par les techniques suivantes : la diffraction des rayons X (DRX) pour l'étude des propriétés structurales, l'UV-vis caractérise la nature d'absorbance de molécules obtenues, l'infrarouge à transformation de Fourier (FTIR) pour déterminer la nature des différentes liaisons présentes dans les NPs, en fin le MEB pour voir la morphologie des nanoparticules synthétisées.

2. Préparation de l'extrait de *Phoenix Dactylifera.L*

Les feuilles fraîches de *Phoenix Dactylifera. L* ont été récoltées dans la région d'El Oued. D'abord ont été lavés plusieurs fois pour éliminer les impuretés et poussières. Après le séchage à l'ombre à température ambiante pendant 5 à 7 jours, on fait le broyage pour obtenir une poudre fine. L'extrait a été préparé en mettant 10 g de la poudre avec 100 ml d'eau distillée dans un bécher en verre de 500 ml. Le mélange a été agité pendant 24 heures à température ambiante. L'extrait était filtré avec un papier filtre et conservé dans une bouteille hermétique à 6 °C [1].

3. Synthèse verte de nanoparticules de ZnO

L'extrait aqueux de *Phoenix Dactylifera. L* a été mis à réagir avec la solution déshydratante d'acétate de zinc ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dans un système de bain aqueux avec agitation continue à 80 °C pendant 30 minutes. Le rapport volumique entre l'extrait de feuille et le zinc l'acétate a été pris comme 100 ml / 200 ml.

La formation de nanoparticules d'oxyde de zinc est indiquée par un changement de couleur du mélange solution du vert au brun foncé. Les produits obtenus étaient recueilli par centrifugation à 4000 tr / min pendant 15 minutes, puis lavé à l'eau distillée et séché à 100 °C avant son recuit à 450 °C pendant 3 heures. Les poudres résultantes ont été stockées pour différentes caractérisations [1].

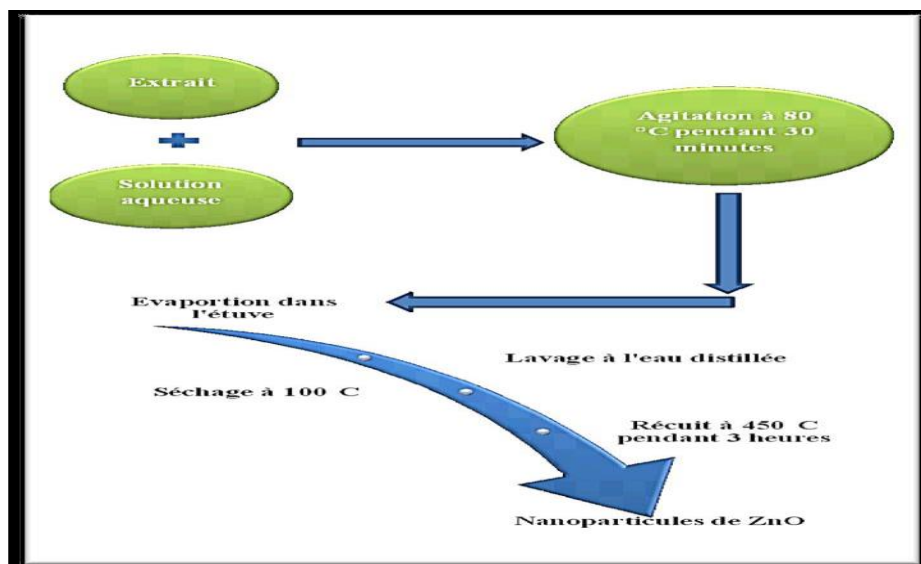


Figure III. 1: Résumé la synthèse verte de nanoparticules

4. Résultats et discussion

4.1. Analyse par spectroscopie UV-visible

Spectres UV-Vis de la solution de NP d'oxyde de zinc synthétisée, utilisant l'extrait de feuilles Phoenix Dactylifera. L, sont montré sur la Figure 2. Comme le montre cette figure, l'absorption de la bande est exposée à environ 350 nm, ce qui est attribué à la formation d'oxyde de zinc. Une augmentation de l'intensité de la bande avec l'augmentation de la concentration d'acétate de zinc est observée. Cela peut être dû au nombre croissant de nanoparticules formées en raison des transformations des ions zinc, qui peuvent être causés par l'extrait.

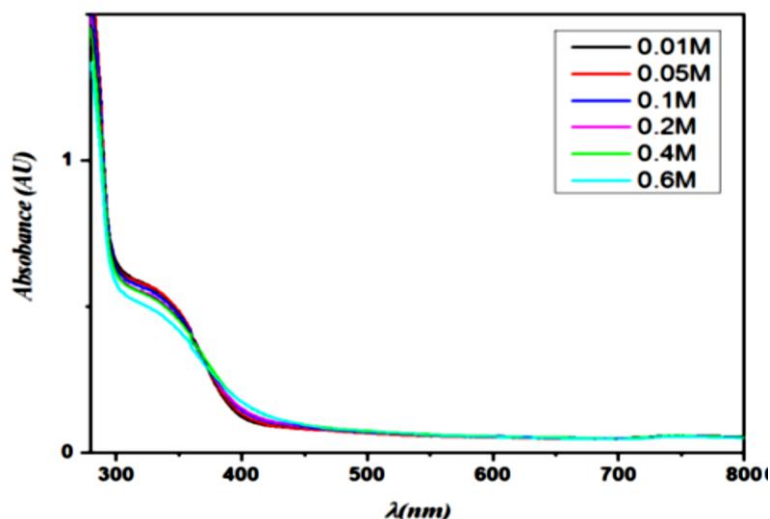


Figure III.2: Absorbance UV-vis de la solution de nanoparticules d'oxyde de zinc synthétisée avec différentes concentrations d'acétate de zinc

Ce que montre la Figure 3 sont les spectres de transmittance UV-Vis des mêmes échantillons, qui pour tous ceux-ci étaient plus de 88% dans la région (400-900 nm). Une diminution brutale de cette transmittance dans la région inférieure à 400 nm a été observée, ce qui représente les bandes d'absorption fondamentales (bande de valence à bande de conduction des nanoparticules de ZnO) [1].

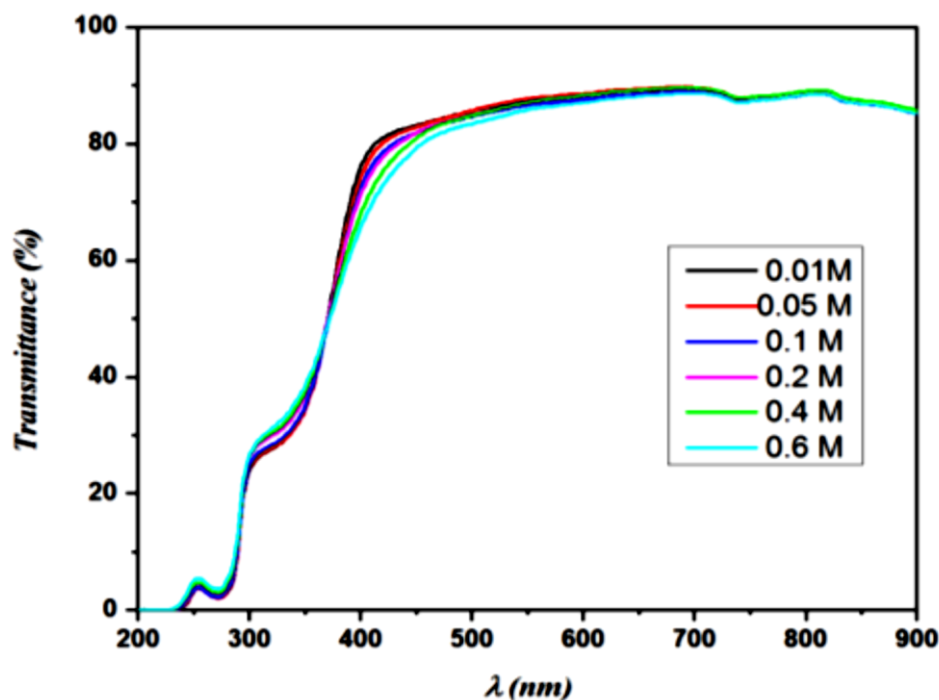


Figure III.3: Spectres de transmittance UV-vis de la solution de nanoparticules d'oxyde de zinc préparée avec différentes concentrations

4.2 Analyse par la spectroscopie Infrarouge (FTIR)

L'étude par spectroscopie infrarouge FTIR a été utilisée pour trouver les biomolécules possibles dans l'extrait de Phoenix Dactylifera. L'impliqué dans la formation et la stabilisation des NPs ZnO. Les groupes fonctionnels possibles de l'extrait avant son utilisation sont indiqués dans la figure 4, les spectres d'absorption des NPs ZnO préparés et l'extrait avant et après son utilisation ont été exposés. Pour les échantillons de ZnO NPs synthétisés et calcinés à 450°C, les pics d'adsorption à 593 et 674 cm^{-1} sont attribués aux NPs ZnO.

En outre, le spectre FTIR de l'extrait avant son utilisation montre des pics et des bandes forts à 3422, 2934, 1631, 1402, 1208, et 1070 cm^{-1} . La bande de vibrations d'étirement large la plus remarquable correspond à 3422 cm^{-1} est liée à l'O-H libre dans les liaisons de groupe de molécule et d'O-H. Les bandes de 2934, 1631, 1402 et vont de 1208 à 1070 cm^{-1} représentent les hydrocarbures saturés C-H (Csp³-H), le groupe carbonyle (C=O),

l'étirement de l'anneau aromatique C=C et les liaisons C-OH, respectivement. Alors que la bande autour de 2354 cm^{-1} correspond au mode de vibration du CO_2 , qui peut être entré dans l'extrait, de son environnement environnant.

De telles conceptions nous conduisent à proclamer que les agents responsables de la formation des NPs ZnO sont les composés phénoliques [1].

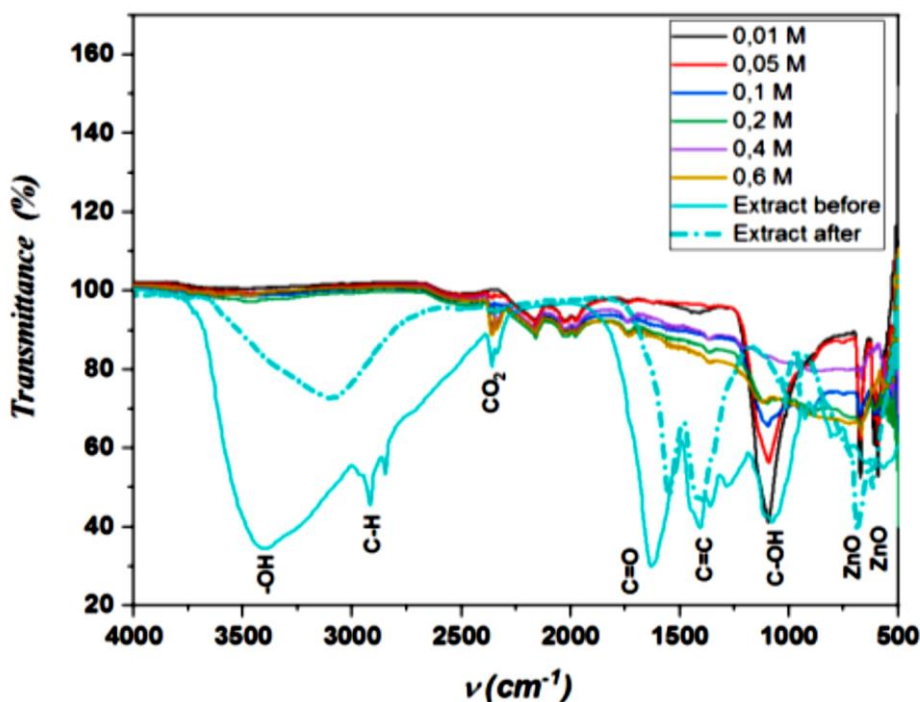


Figure III.4 : Spectre FTIR de Phoenix Dactylifera. L et les nanoparticules de ZnO préparées

4.3. Analyse par DRX

La Figure 5 présente les spectres XRD des nanoparticules de ZnO synthétisées avec différentes concentrations d'acétate de zinc. On voit clairement que des pics de diffraction sont présents dans tout le spectre de l'échantillon. Différents plans cristallins tels que (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), (201), (202) (104) et (203) correspondent bien à la structure wurtzite hexagonale de ZnO ayant la carte JCPDS N° : 01.089-0510. Les intensités des pics (100), (002) et (101) augmentent légèrement avec l'augmentation de la concentration d'acétate de zinc dans la solution jusqu'à 0,4 M puis diminuer pour la dernière concentration. La présence de pics (100), (002) et (101) dans le spectre XRD indique la formation de la haute pureté de cristallinité des nanoparticules de ZnO. De plus, aucun pic n'était observé en raison d'autres impuretés [1].

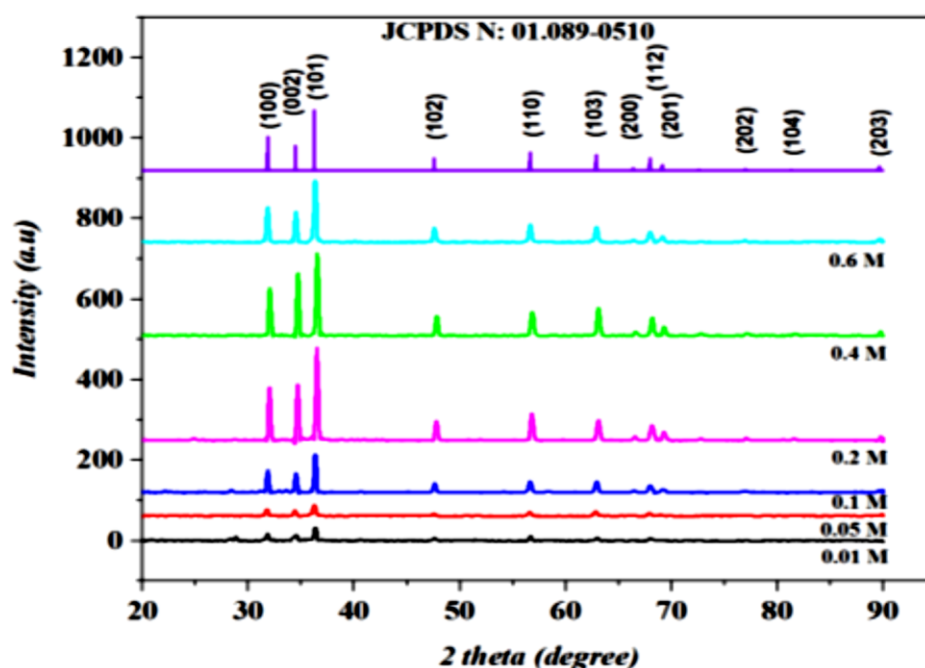


Figure III.5 : Diffraction des rayons X des nanoparticules de ZnO en fonction de la concentration

4.4. Analyse par MEB

La figure 6 (a et b) présente des images MEB des nanoparticules de ZnO synthétisées. Il est clairement montré que, en général, les nanoparticules dépendent de la concentration de l'acétate de zinc. Différentes formes irrégulières sont observées ; un mélange de coton séché et de feuilles (Figure 6 a) dans les cas des concentrations (0,01 et 0,05 M). Alors que pour le reste des concentrations de l'acétate de zinc, (Figure 6b), il a été observé qu'il existe plus d'une forme (des particules de forme hexagonale et autre de forme longitudinale des nanoparticules de ZnO) [1].

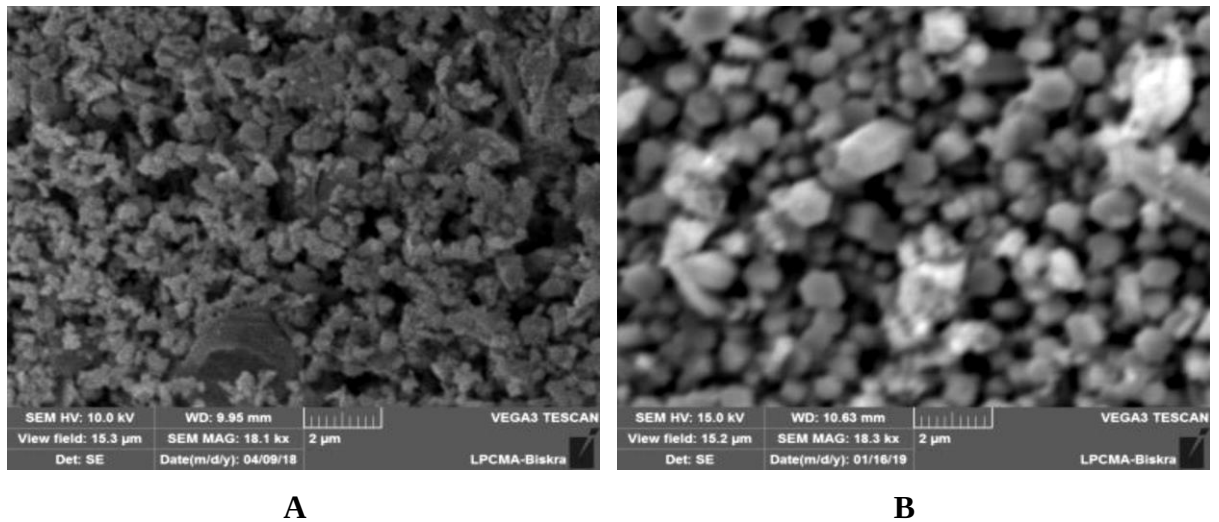


Figure III. 6 : Images MEB de nanoparticules de ZnO synthétisées

Chapitre IV : Etude bibliographique sur l'activité antibactérienne des nanoparticules de ZnO

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons une recherche bibliographique sur l'activité antibactérienne contre divers bactéries telle que : *E. coli*, *S. paratyphi*, *S. aureus*, *B. subtilis*, par des nanoparticules de ZnO qui sont synthétisées par voie vertutilisons l'extrait aqueux de quelque plantes.

2. Activité antimicrobienne des nanoparticules de ZnO synthétisées à l'aide d'extrait de feuille de plante médicinale *costus pictus*

Joghee Suresh et son équipe en 2018 [1] ont exploré l'activité antimicrobienne des nanoparticules de ZnO synthétisées à l'aide d'extrait de feuille de plante médicinale *costus pictus*. Les activités antimicrobiennes des nanoparticules de ZnO en contact avec des bactéries et des champignons sont façonnées par la taille des particules, la morphologie et les surfaces spécifiques sont impliquées. La figure IV.1 montre l'activité antibactérienne des nanoparticules de ZnO bio synthétisées. L'activité antibactérienne a été mesurée contre deux grammes de bactéries positives (*S. aureus*, *B. subtilis*) et deux grammes de bactéries négatives (*E. coli*, *S. paratyphi*).

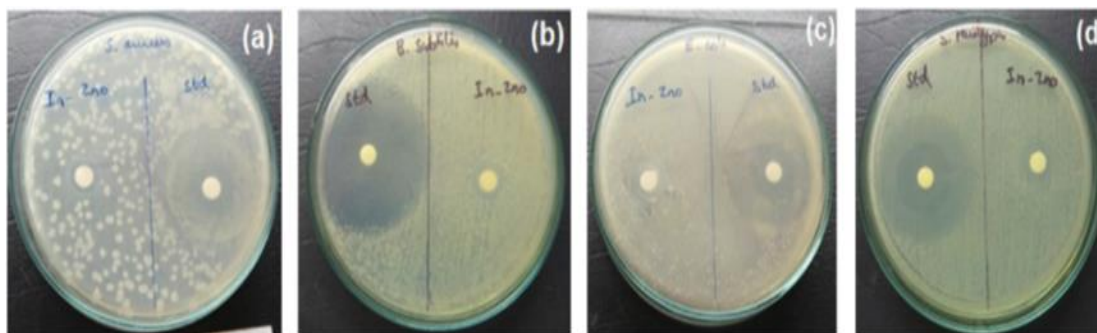


Figure IV.1 :teste antibactérienne de nanoparticules de ZnO (a) *S. aureus* (b) *B. Subtilis* (c) *E. coli* (d) *S. paratyphi*[1]

La ciprofloxacine est considérée comme la norme pour toutes les souches bactériennes. La figure IV.2 présente les niveaux de protection des nanoparticules de ZnO contre les souches bactériennes. Pour analyser les comportements antimicrobiens, des échantillons de 100 µg / disque de souches bactériennes et fongiques ont été prélevés.

Chapitre IV : Etude bibliographique sur l'activité antibactérienne des nanoparticules de ZnO

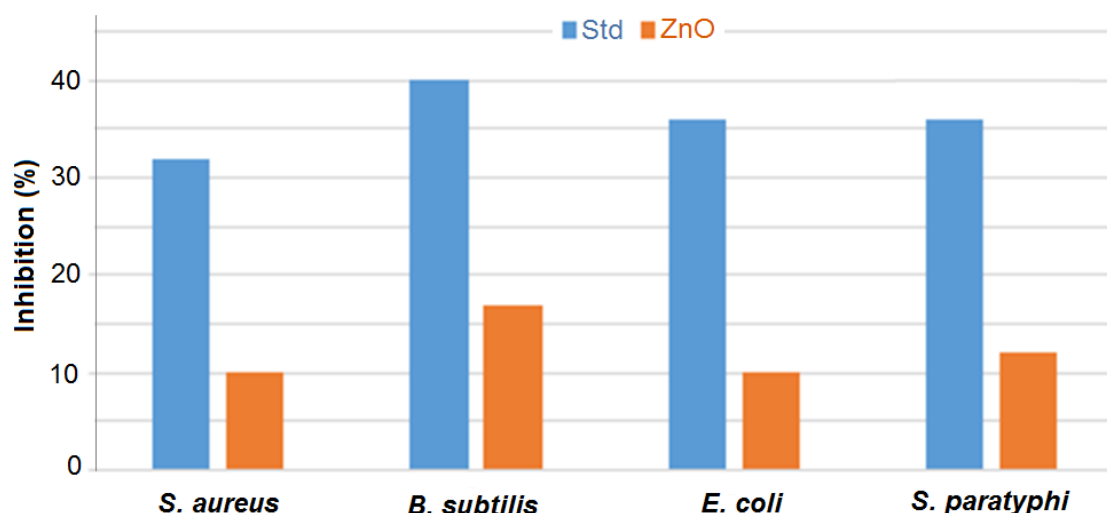


Figure IV.2: Pourcentage de résultats d'inhibition contre les souches bactériennes[1]

Le tableau IV.1 montre les zones d'inhibition pour la ciprofloxacine standard et pour deux bactéries Gram positives de 32 mm (*S. aureus*) et 40 mm (*B. subtilis*). Quand on compare la zone d'inhibition de deux bactéries à Gram positif, *B. subtilis* (17 mm) présente une zone d'inhibition plus grande par rapport à l'espèce bactérienne *S. aureus* (10 mm). La zone d'inhibition de la ciprofloxacine standard pour deux bactéries Gram négatif varie de 36 mm (*E. coli*) à 36 mm (*S. paratyphi*).

Tableau IV.1 : Résultats antibactériens pour les nanoparticules de ZnO [1]

Organisme	Zone d'inhibition (mm)	
	Ciprofloxacine standard (10 µg / disque)	Échantillons (100 µg/disque)
		Insuline-ZnO
<i>S. aureus</i>	32	10
<i>B. subtilis</i>	40	17
<i>E. coli</i>	36	10
<i>S. paratyphi</i>	36	12

Une comparaison des valeurs d'inhibition de zone pour deux bactéries gram-négatives *S. paratyphi* (12 mm) montre une zone d'inhibition plus grande que celle de la souche

bactérienne négative *E. coli* (10 mm). La zone d'inhibition montre clairement que les nanoparticules de ZnO bio synthétisées perturbent la membrane avec des taux élevés de génération d'espèces d'oxygène de surface et provoquent finalement la mort d'agents pathogènes. Nous avons constaté qu'en augmentant les concentrations de disques de nanoparticules de ZnO, l'inhibition de la croissance était constamment améliorée grâce à une bonne diffusion des nanoparticules dans le milieu gélosé [2]. Autre avantage, les nanoparticules synthétisées étant plus petites que les pores des bactéries, elles pouvaient traverser librement la membrane cellulaire [3].

3. Activité antibactérienne de nanoparticules de ZnO synthétisées à l'aide de l'extrait de feuille de *B. tomentosa*

G. Sharmila et son équipe en 2018 [4] ont testé l'activité antibactérienne des nanoparticules de ZnO bio synthétisées utilisant l'extrait de feuille de *B. tomentosa* testé contre *B. subtilis*, *S. aureus*, *P. aeruginosa* et *E. coli*. Les nanoparticules de ZnO bio synthétisées ont montré un effet antibactérien sur toutes les souches bactériennes testées. L'effet bactéricide des nanoparticules de ZnO a été trouvé plus élevé pour les bactéries Gram-négatives que pour les bactéries Gram-positives et était basé sur la différence de composition structurale des bactéries Gram-positives et Gram-négatives [5]. Les nanoparticules de ZnO synthétisées de l'extrait de feuille de *B. tomentosa* ont montré une zone d'inhibition significative pour *P. aeruginosa* (20,3 mm) et *E. coli* (19,8 mm), alors que la zone d'inhibition a été moins observée pour *B. subtilis* (8,1 mm) et *S. aureus* (10,7 mm). Le mécanisme de l'activité antibactérienne des nanoparticules de ZnO peut être attribué à la pénétration et à la désintégration de la membrane par des nanoparticules de plus petite taille qui conduisent à la lyse cellulaire [6],[7]. La libération de H₂O₂ de la surface de ZnO a également été signalée comme le mécanisme possible de l'activité bactéricide. La génération de H₂O₂ dépend fortement de la surface de ZnO et le H₂O₂ généré pénètre dans la membrane cellulaire et cause des dommages pour tuer les bactéries [8],[9].

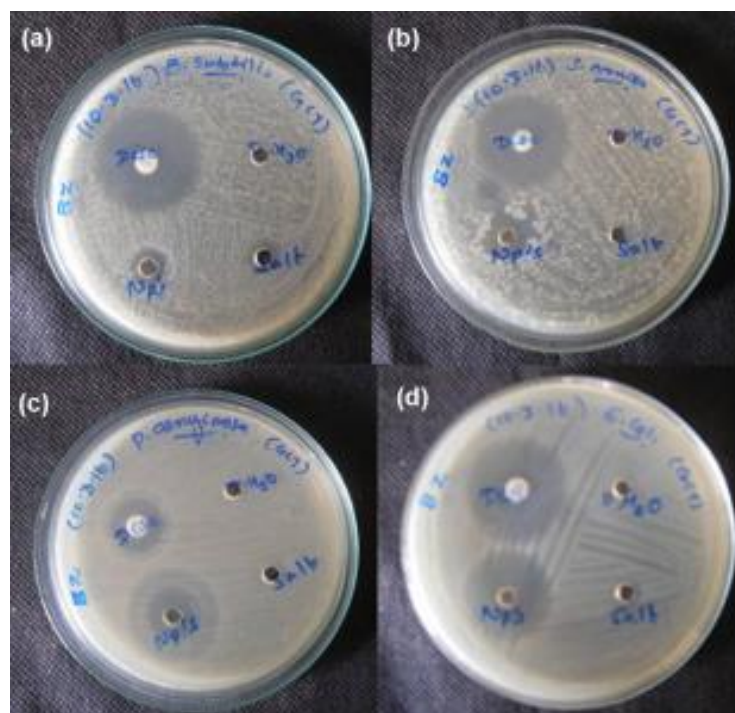


Figure IV.3: Activité antibactérienne des NPs de ZnO dérivées d'extraits de feuilles de *B. tomentosa* (a) *B. subtilis*, (b) *S. aureus*, (c) *P. aeruginosa* et (d) *E. coli*

4. Activité antibactérienne de nanoparticules de ZnO synthétisées à l'aide de l'extrait de feuille de *S. indica*

L'activité antimicrobienne des nanoparticules de ZnO synthétisés par Amrita Raj et son équipe en 2018 [10], s'est accomplie contre les bactéries gram-positives et gram-négatives. Les nanoparticules de ZnO synthétisées ayant une excellente activité antimicrobienne contre les bactéries gram-positives et gram-négatives. Les bactéries à gram positif indiquent la zone d'inhibition la plus élevée et la plus efficace par rapport aux bactéries à gram négatif. La zone d'inhibition la plus élevée a été observée pendant 15 mm chez *S. aureus* et 14,5 mm chez *E. coli* à la concentration la plus élevée de 7,5 $\mu\text{g} / \mu\text{l}$. Selon la figure IV.4, une concentration de 25 μl d'amoxicilline a montré le rayon maximal de la zone d'inhibition de 21 mm contre *S. aureus* et de 22,5 mm contre *E. coli*. Les nanoparticules de ZnO ont montré la plus grande efficacité pour inhiber la croissance des bactéries.

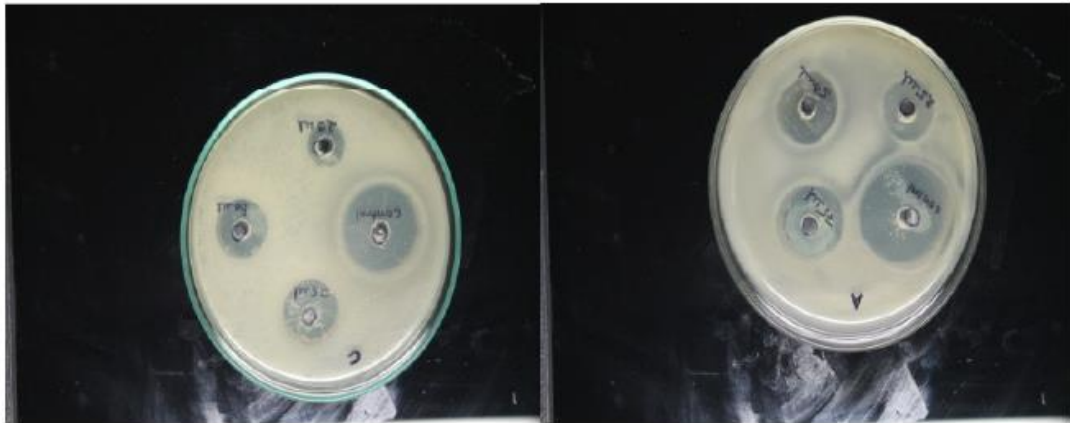


Figure IV.4: Activité antibactérienne des nanoparticules de ZnO synthétisées contre *S.aureus* et *E. coli*[10]

5.Activité antibactériennede nanoparticules de ZnOsynthétisées àl'aide de l'extrait de feuille defraisier

L'activité antimicrobienne des nanoparticules de ZnO a été démontrée par Maryem Bayat et son équipe en 2019[11]. Différentes concentrations de nanoparticules de ZnO ont été testées contre *P. aeruginosa*. Les résultats ont indiqué que les nanoparticules de ZnO synthétisées avec de l'extrait de feuilles de fraisier ont montré une activité antibactérienne contre les bactéries testées. Selon les résultats, l'effet inhibiteur du ZnO augmentait avec l'augmentation de la concentration. Selon les résultats de cette étude, les concentrations efficaces (CE) étaient respectivement de 26 et 42 mg / ml pour les nanoparticules de ZnO non calciné et calciné. Ces résultats ont montré que les nanoparticules de ZnO avaient subi une interaction avec la cellule bactérienne et on pouvait en conclure que ces nanoparticules avaient montré des propriétés antibactériennes sur cette classe de bactéries. À de très faibles concentrations de ZnO, aucune activité antibactérienne n'a été observée. Cela peut être dû à la présence de plus faibles quantités de nanoparticules de ZnO qui agissaient parfois comme un nutriment pour les organismes. L'activité antimicrobienne était toujours plus élevée au-dessus de la concentration de 5 μg / ml. une très grande surface de nanoparticules de ZnO pourrait entraîner un meilleur contact avec les micro-organismes.

Les bios essais par diffusion sur disque papier n'ont pas montré de bons résultats en raison des difficultés de diffusion des nanoparticules solides à travers le milieu gélosé [12]. Les résultats de l'étude ont indiqué que diverses concentrations de nanoparticules de ZnO provoquaient une inhibition de la croissance fongique de *B. cinerea*, et l'inhibition augmentait avec l'augmentation de la concentration de nanoparticules. La concentration la

plus élevée a entraîné l'inhibition maximale. La biomasse de *B. cinerea* était principalement composée d'hyphes. Il a été révélé que les nanoparticules de ZnO inhibaient la croissance de *B. cinerea* en affectant les fonctions cellulaires, ce qui provoquait une déformation des hyphes fongiques [13]. Les nanoparticules de ZnO synthétisés à base d'agro-déchets possèdent des particules de petite taille, améliorant le bon effet antimicrobien.

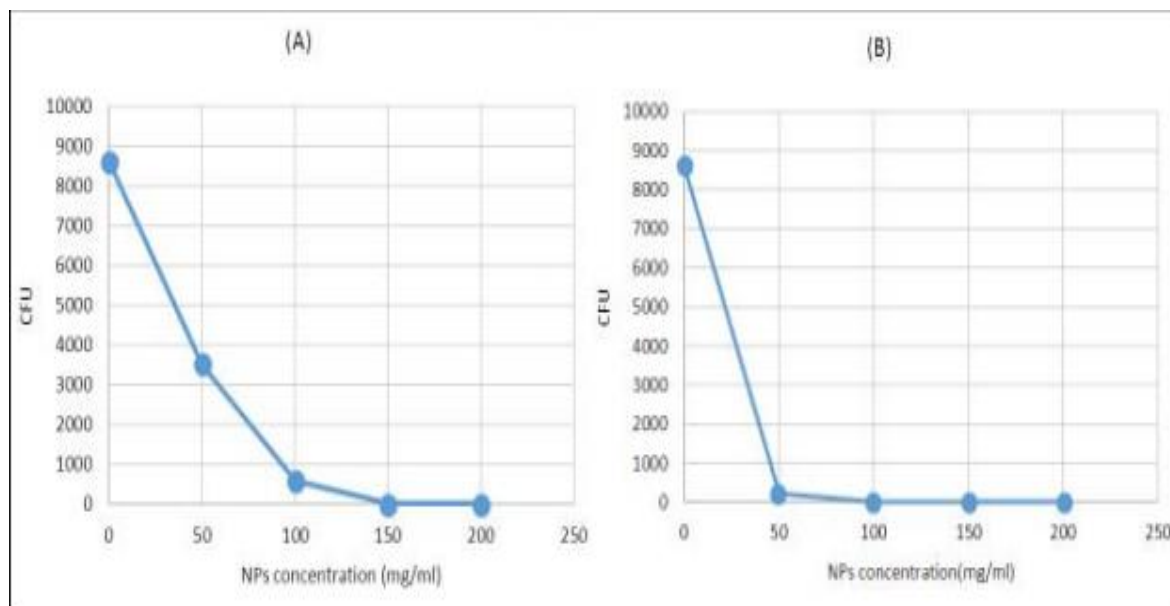


Figure IV. 5:UFC vs concentration de NP de ZnO pour (A) calciné et (B) non calciné

6. Activité antibactérienne de nanoparticules de ZnO synthétisées à l'aide de l'extrait de fruits d'*Ailanthus altissima*

Les nanoparticules de ZnO synthétisées par AKI MAwwad et son équipe en 2020 [14], ont été testées par la méthode de diffusion sur disque en utilisant des organismes sélectionnés tels que les bactéries Gram-négatives *E. coli* et les bactéries Gram-positives *S. aureus*. À mesure que la concentration de nanoparticules de ZnO augmente, la zone d'inhibition a également augmenté contre la souche bactérienne.

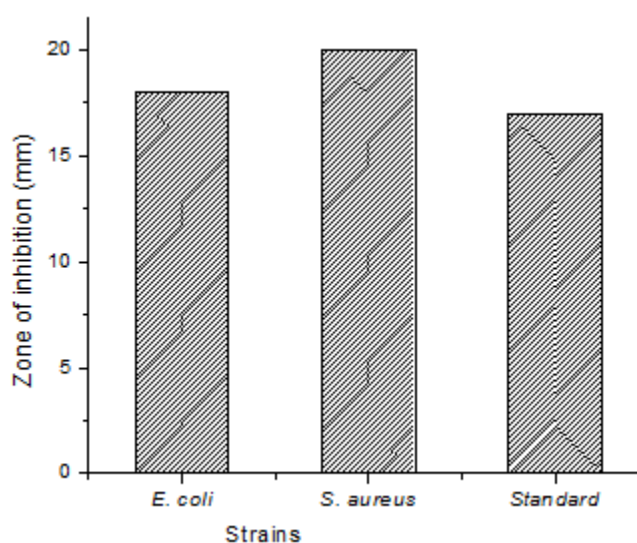


Figure IV .6: Activité antimicrobienne des nanoparticules de ZnO synthétisés à l'aide d'extraits aqueux de fruits d'*Ailanthusaltissima*[14]

Les valeurs de zone d'inhibition déterminées pour les nanoparticules de ZnO traités (0,5 mg / ml) ont été présentées dans la figure IV.6. Les nanoparticules d'oxyde de zinc ont un effet inhibiteur de croissance significatif contre les bactéries *S. aureus* et *E. coli*. Cet effet résulte de la grande surface spécifique des nanoparticules de ZnO et de leur petite taille de particules 12 nm. Ces résultats sont conformes aux études précédentes selon lesquelles le ZnO fabriqué par voie verte était des agents antimicrobiens hautement actifs. Par conséquent, le ZnO préparé par voie verte à l'aide d'extraits aqueux de fruits d'*Ailanthusaltissima* pourrait éventuellement être utilisé comme agent antimicrobien.

Tableau IV.2 : Activité antibactérienne de nanoparticules de ZnO synthétisées à l'aide de l'extraits de différentes plantes

Extrait des feuilles	Activité antibactérienne de nanoparticules de ZnO		
	Gram-positive	Gram-négative	<i>E. coli</i>
Costus pictus	forts niveaux d'activité	forts niveaux d'activité	/
B. tomentosa	meilleure activité	meilleure activité	/
Rosa indica	excellente activité	excellente activité	/
d' <i>Ailanthusaltissima</i>	/	/	Plus active

7. Conclusion

La synthèse verte de nanoparticules augmente son importance en raison de sa rentabilité, de sa réduction de la toxicité et de son activité antimicrobienne. Ici, nous avons illustré la synthèse de nanoparticules d'oxyde de zinc par l'utilisation de l'extrait de différentes plantes comme agent réducteur. Les nanoparticules synthétisées étaient très actives en tant qu'agent antibactérien contre les bactéries pathogènes comme *E. coli*, *S. aureus*, *B. subtilis*, *P. aeruginosa* et *S. paratyphi*. Compte tenu de l'impact négatif des méthodes conventionnelles de synthèse de nanoparticules, la synthèse verte est la meilleure alternative pour la synthèse des nanoparticules. Cette recherche conduit à développer une nouvelle stratégie de synthèse rentable et à réduire l'utilisation de produits chimiques dans d'autres études.

Conclusion générale

L'oxyde de zinc a suscité un grand intérêt chez les chercheurs en raison de ses grandes propriétés telles que la stabilité chimique et les propriétés stimulatrices, en particulier les activités antibactériennes qui causent la toxicité, qui sont des molécules d'oxyde dans les applications de la biche.

Au cours de ce travail, nous avons révélé la synthèse verte de nanoparticules d'oxyde de zinc à l'aide d'extraits de différentes plantes.

La synthèse verte de nanoparticules augmente son importance en raison de sa rentabilité, de sa réduction de la toxicité et de son activité antimicrobienne. Ici, nous avons illustré la synthèse de nanoparticules d'oxyde de zinc par l'utilisation de l'extrait de différentes plantes comme agent réducteur. Les nanoparticules synthétisées étaient très actives en tant qu'agent antibactérien contre les bactéries pathogènes comme *E. coli*, *S. aureus*, *B. subtilis*, *P. aeruginosa* et *S. paratyphi*. Compte tenu de l'impact négatif des méthodes conventionnelles de synthèse de nanoparticules, la synthèse verte est la meilleure alternative pour la synthèse des nanoparticules. Cette recherche conduit à développer une nouvelle stratégie de synthèse rentable et à réduire l'utilisation de produits chimiques dans d'autres études.

Références

Introduction générale

- [1] V. Nardello-Rataj, F. Bonte, Chimie et cosmétiques, l'actualité chimique, (2008) 10.
- [2] H. Fall, Enjeux et perspectives de communication scientifique dans le partenariat de l'institut universitaire Européen de la mer: étude de cas avec l'IMROP (Mauritanie), in, 2010.
- [3] A. Rosset, Synthèse et caractérisation de nanoparticules catalytiques pour une application en photocatalyse solaire, in, Perpignan, 2017.
- [4] N. Bouakkaz, Z. Karrai, L. Aouar, Activité antimicrobienne des nanopoudres (NPs) d'oxyde de zinc (ZnO) contre les germes des infections nosocomiales, (2020).
- [5] F. Bensmain, Etude théorique sur les applications actuelles du ZnO et les dopages possibles sur ce matériau, Soutenue le, 25 (2015).

Chapitre I

- [1] F. Aberlenc-Bertossi, Biotechnologies du palmier dattier, IRD Éditions, 2017.
- [2] W. Barreveld, Date palm products, FAO, 1993.
- [3] L. Elalaoui, M. Bakhabou, S. Mohammed, Importance et utilisation des produits et sous-produit du palmier dattier en médecine traditionnelle dans la wilaya d'Adrar Cas, in, UNIVERSITE AHMED DRAIA-ADRAR, 2020.
- [4] F. Hadji, Proposition de modèle de caractérisation numérique chez quelques cultivars du palmier dattier.
- [5] M. Ouinten, Diversité et structure génétiques des populations algériennes de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, agent de la fusariose vasculaire(Bayoud) du palmier dattier, in, 1996.
- [6] G. Toutain, Rapport de synthèse de l'atelier 'Techniques culturelles du Palmier dattier', Zaragoza (ESP): CIHEAM-IAMZ, 28 (1996) 201-205.
- [7] M. Matallah, Contribution à l'étude de la conservation des dattes de la variété Deglet-Nour: Isotherme d'adsorption et de désorption, Alger, Institut National Agronomique d'El Harrach, Mémoire de fin d'études Ingénieur d'Etat, (2004).
- [8] D. Ouahida, O. Mohammed Ridha, Optimisation de l'extraction des polyphénols des (*Phoenix dactylifera*) L par différents solvants et méthodes, in, Université KASDI MERBAH Ouargla, 2019.
- [9] A. Meriem, Optimisation des conditions d'extraction des composés phénoliques par ultrason des feuilles de *Phoenix dactylifera* L, in, 2014 – 2015.

Références

- [10] J. Bruneton, Pharmacognosy, phytochemistry, medicinal plants, Lavoisier publishing, 1995.
- [11] A. Rezaire, Activité anti-oxydante, et caractérisation phénolique du fruit de palmier amazonien *Oenocarpus bataua* (patawa), in, Antilles-Guyane, 2012.
- [12] T. Ozdal, D.A. Sela, J. Xiao, D. Boyacioglu, F. Chen, E. Capanoglu, The reciprocal interactions between polyphenols and gut microbiota and effects on bioaccessibility, *Nutrients*, 8 (2016) 78.
- [13] F.N. Muanda, Identification de polyphénols, évaluation de leur activité antioxydante et étude de leurs propriétés biologiques, Thèse de doctorat en Chimie organique. Ecole doctorale SESAMES Université Paul Verlaine-Metz, 294 (2010).
- [14] W. Xin-Bao, M. Fang, Z. Le, M. ZHANG, H. Quan-Lei, In vitro antioxidant activity of *Parnassia wightiana* W. extracts, *Chinese Journal of Natural Medicines*, 10 (2012) 190-195.
- [15] R.K. Sahu, M. Kar, R. Routray, DPPH free radical scavenging activity of some leafy vegetables used by tribals of Odisha, India, *J. Med. Plants*, 1 (2013) 21-27.
- [16] D.A. MOHAMED, S.Y. AL-OKBI, In vitro evaluation of antioxidant activity of different extracts of *Phoenix dactylifera* L. fruits as functional foods, *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, 101 (2005) 305-308.
- [17] A. Sartori-Thiel, Activités anti-microbiennes d'extraits végétaux enrichis en polyphénols, in, Avignon, 2003.
- [18] N.G. Baydar, H. Baydar, Phenolic compounds, antiradical activity and antioxidant capacity of oil-bearing rose (*Rosa damascena* Mill.) extracts, *Industrial Crops and Products*, 41 (2013) 375-380.
- [19] E. Middleton, C. Kandaswami, T.C. Theoharides, The effects of plant flavonoids on mammalian cells: implications for inflammation, heart disease, and cancer, *Pharmacological reviews*, 52 (2000) 673-751.
- [20] H. Falleh, N. Trabelsi, M. Bonenfant-Magné, G. Le Floch, C. Abdelly, C. Magné, R. Ksouri, Polyphenol content and biological activities of *Mesembryanthemum edule* organs after fractionation, *Industrial Crops and Products*, 42 (2013) 145-152.
- [21] C.-C. Yeh, M.-F. Hou, S.-M. Tsai, S.-K. Lin, J.-K. Hsiao, J.-C. Huang, L.-H. Wang, S.-H. Wu, L.A. Hou, H. Ma, Superoxide anion radical, lipid peroxides and antioxidant status in the blood of patients with breast cancer, *Clinica chimica acta*, 361 (2005) 104-111.

Références

- [22] P.K. Vayalil, Date fruits (*Phoenix dactylifera* Linn): an emerging medicinal food, *Critical reviews in food science and nutrition*, 52 (2012) 249-271.
- [23] A. Ayachi, N. Alloui, O. Bennoune, G. Yakhlef, S.D. Amieur, W. Bouzid, S.D. Zoughlache, K. Boudjellal, H. Abdessemed, Antibacterial activity of some fruits; berries and medicinal herb extracts against poultry strains of *Salmonella*, *American-Eurasian J Agric Environ Sci*, 6 (2009) 12-15.
- [24] N.A. Bokhari, K. Perveen, In vitro inhibition potential of *Phoenix dactylifera* L. extracts on the growth of pathogenic fungi, *Journal of Medicinal Plants Research*, 6 (2012) 1083-1088.

Chapitre II

- [1] E. Gaffet, Nanomatériaux: différentes voies de synthèse, propriétés, applications et marchés, *Actualité et dossier en santé publique*, 64 (2008) 183.
- [2] T.J. Jacobsson, Synthesis and characterisation of ZnO nanoparticles. An experimental investigation of some of their size dependent quantum effects, in, 2010.
- [3] H.E. Brown, Zinc oxide rediscovered, New Jersey Zinc Company, 1957.
- [4] A. Elkaïem, Contribution au Développement des Matériaux Nano-Composites à Base de ZnO et Polymère Etude Structural et Optique, (2015).
- [5] Z.L. Wang, Zinc oxide nanostructures: growth, properties and applications, *Journal of physics: condensed matter*, 16 (2004) R829.
- [6] C. Ramzi, Contribution à l'étude de l'effet des nanomatériaux sur les bactéries.
- [7] K. Zhour, Elaboration et Caractérisation des nanopoudres de ZnO par Voie Chimique Sol-gel, in, 2014.
- [8] S.C. Pillai, J.M. Kelly, D.E. McCormack, P. O'Brien, R. Ramesh, The effect of processing conditions on varistors prepared from nanocrystalline ZnO, *Journal of Materials Chemistry*, 13 (2003) 2586-2590.
- [9] A.B. Marai, K. Djessas, Z.B. Ayadi, S. Alaya, Preparation and characterization of CuInSe₂ nanoparticles elaborated by novel solvothermal protocol using DMF as a solvent, *Journal of Alloys and Compounds*, 648 (2015) 1038-1042.
- [10] R. Mendil, Z.B. Ayadi, K. Djessas, Effect of solvent medium on the structural, morphological and optical properties of ZnS nanoparticles synthesized by solvothermal route, *Journal of Alloys and Compounds*, 678 (2016) 87-92.

Références

- [11] L. Vauriot, Synthèse microfluidique de nanomatériaux multifonctionnels par laser, in, Bordeaux 1, 2012.
- [12] A. B Djuricic, X. Y Chen, Y. H Leung, Recent progress in hydrothermal synthesis of zinc oxide nanomaterials, *Recent patents on nanotechnology*, 6 (2012) 124-134.
- [13] T. Tsuzuki, R. He, J. Wang, L. Sun, X. Wang, R. Hocking, Reduction of the photocatalytic activity of ZnO nanoparticles for UV protection applications, *International journal of nanotechnology*, 9 (2012) 1017-1029.
- [14] L. Guo, Y.L. Ji, H. Xu, P. Simon, Z. Wu, Regularly shaped, single-crystalline ZnO nanorods with wurtzite structure, *Journal of the American Chemical Society*, 124 (2002) 14864-14865.
- [15] E. Gautron, M. Buffière, S. Harel, L. Assmann, L. Arzel, L. Brohan, J. Kessler, N. Barreau, Microstructural characterization of chemical bath deposited and sputtered Zn (O, S) buffer layers, *Thin solid films*, 535 (2013) 175-179.
- [16] J. Hu, Q. Li, N. Wong, C. Lee, S. Lee, Synthesis of uniform hexagonal prismatic ZnO whiskers, *Chemistry of Materials*, 14 (2002) 1216-1219.
- [17] X. Zhao, F. Zheng, Y. Liang, Z. Hu, Y. Xu, Preparation and characterization of single phase γ -Fe nanopowder from cw CO₂ laser induced pyrolysis of iron pentacarbonyl, *Materials Letters*, 21 (1994) 285-288.
- [18] F. Caillaud, A. Smith, J.-F. Baumard, Additives content in ZnO films prepared by spray pyrolysis, *Journal of the European Ceramic Society*, 9 (1992) 447-452.
- [19] M. Ortel, V. Wagner, Leidenfrost temperature related CVD-like growth mechanism in ZnO-TFTs deposited by pulsed spray pyrolysis, *Journal of crystal growth*, 363 (2013) 185-189.
- [20] M.H. Huang, S. Mao, H. Feick, H. Yan, Y. Wu, H. Kind, E. Weber, R. Russo, P. Yang, Room-temperature ultraviolet nanowire nanolasers, *science*, 292 (2001) 1897-1899.
- [21] X. Wang, J. Song, J. Liu, Z.L. Wang, Direct-current nanogenerator driven by ultrasonic waves, *Science*, 316 (2007) 102-105.
- [22] K. Ellmer, Past achievements and future challenges in the development of optically transparent electrodes, *Nature Photonics*, 6 (2012) 809-817.
- [23] S. Ameen, M.S. Akhtar, H.S. Shin, Highly dense ZnO nanowhiskers for the low level detection of p-hydroquinone, *Materials Letters*, 155 (2015) 82-86.
- [24] Y. Chen, S. Ma, Preparation and photoluminescence studies of high-quality AZO thin films grown on ZnO buffered Si substrate, *Materials Letters*, 162 (2016) 75-78.

Références

- [25] F. Fan, Y. Feng, P. Tang, D. Li, Facile synthesis and photocatalytic performance of ZnO nanoparticles self-assembled spherical aggregates, *Materials Letters*, 158 (2015) 290-294.
- [26] M.J. Firdhouse, P. Lalitha, Biosynthesis of silver nanoparticles and its applications, *Journal of Nanotechnology*, 2015 (2015).
- [27] G. Sharmila, C. Muthukumaran, K. Sandiya, S. Santhiya, R.S. Pradeep, N.M. Kumar, N. Suriyanarayanan, M. Thirumarimurugan, Biosynthesis, characterization, and antibacterial activity of zinc oxide nanoparticles derived from *Bauhinia tomentosa* leaf extract, *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 8 (2018) 293-299.
- [28] A. Raj, R. Lawrence, Green synthesis and characterization of ZnO nanoparticles from leaf extracts of *Rosa indica* and its antibacterial activity, *nutrition*, 11 (2018) 1339-1348.
- [29] M. Bayat, E. Chudinova, M. Zargar, M. Lyashko, K. Louis, F.K. Adenew, Phytoassisted green synthesis of zinc oxide nanoparticles and its antibacterial and antifungal activity, *Res. on Crops*, 20 (2019) 725-730.
- [30] A.M. Awwad, M.W. Amer, N.M. Salem, A.O. Abdeen, Green synthesis of zinc oxide nanoparticles (ZnO-NPs) using *Ailanthus altissima* fruit extracts and antibacterial activity, *Chem. Int*, 6 (2020) 151-159.
- [31] P. Mohanpuria, N.K. Rana, S.K. Yadav, Biosynthesis of nanoparticles: technological concepts and future applications, *Journal of nanoparticle research*, 10 (2008) 507-517.
- [32] D. BARANI, Optimisation des conditions opératoires de synthèse verte de nanoparticules de ZnO à l'aide d'extrait des feuilles de *Phoenix Dactylifera*. L, in, Université Mohamed Khider-Biskra, 2020.
- [33] M. Ricaud, O. Witschger, Les nanomatériaux, Définitions, risques toxicologiques, (2012).
- [34] F. BENSMAIN, Etude théorique sur les applications actuelles du ZnO et les dopages possibles sur ce matériau, in, 2015.
- [35] M. Vaseem, A. Umar, Y.-B. Hahn, ZnO nanoparticles: growth, properties, and applications, *Metal oxide nanostructures and their applications*, 5 (2010).
- [36] V. Nardello-Rataj, F. Bonte, *Chimie et cosmétiques, l'actualité chimique*, (2008) 10.
- [37] E. Poirel, Bienfaits psychologiques de l'activité physique pour la santé mentale optimale, *Santé mentale au Québec*, 42 (2017) 147-164.

Références

Chapitre III

[1] D. BARANI, Optimisation des conditions opératoires de synthèse verte de nanoparticules de ZnO à l'aide d'extrait des feuilles de Phoenix Dactylifera. L, in, Université Mohamed Khider-Biskra, 2020.

Chapitre IV

[1] J. Suresh, G. Pradheesh, V. Alexramani, M. Sundrarajan, S.I. Hong, Green synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticle using insulin plant (*Costus pictus* D. Don) and investigation of its antimicrobial as well as anticancer activities, *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 9 (2018) 015008.

[2] Z. Emami-Karvani, P. Chehrazi, Antibacterial activity of ZnO nanoparticle on gram-positive and gram-negative bacteria, *African journal of microbiology research*, 5 (2011) 1368-1373.

[3] H. Zhang, G. Chen, Potent antibacterial activities of Ag/TiO₂ nanocomposite powders synthesized by a one-pot sol–gel method, *Environmental science & technology*, 43 (2009) 2905-2910.

[4] G. Sharmila, C. Muthukumaran, K. Sandiya, S. Santhiya, R.S. Pradeep, N.M. Kumar, N. Suriyanarayanan, M. Thirumarimurugan, Biosynthesis, characterization, and antibacterial activity of zinc oxide nanoparticles derived from *Bauhinia tomentosa* leaf extract, *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 8 (2018) 293-299.

[5] M. Iswarya, P. Sudha, V. Kalaiselvi, V. Ramya, S. Shanmathi, Solanum Nigrum Leaf Extract capped Synthesis of ZnO Nanoparticles, *J. Environ. Nanotechnol*, 9 37-41.

[6] K. Kairyte, A. Kadys, Z. Luksiene, Antibacterial and antifungal activity of photoactivated ZnO nanoparticles in suspension, *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 128 (2013) 78-84.

[7] A. Sirelkhatim, S. Mahmud, A. Seeni, N.H.M. Kaus, L.C. Ann, S.K.M. Bakhori, H. Hasan, D. Mohamad, Review on zinc oxide nanoparticles: antibacterial activity and toxicity mechanism, *Nano-micro letters*, 7 (2015) 219-242.

[8] U. Kadiyala, E.S. Turali-Emre, J.H. Bahng, N.A. Kotov, J.S. VanEpps, Unexpected insights into antibacterial activity of zinc oxide nanoparticles against methicillin resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA), *Nanoscale*, 10 (2018) 4927-4939.

Références

- [9] S. Ahmed, S.A. Chaudhry, S. Ikram, A review on biogenic synthesis of ZnO nanoparticles using plant extracts and microbes: a prospect towards green chemistry, *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 166 (2017) 272-284.
- [10] A. Raj, R. Lawrence, Green synthesis and characterization of ZnO nanoparticles from leaf extracts of *Rosa indica* and its antibacterial activity, *nutrition*, 11 (2018) 1339-1348.
- [11] M. Bayat, E. Chudinova, M. Zargar, M. Lyashko, K. Louis, F.K. Adenew, Phytoassisted green synthesis of zinc oxide nanoparticles and its antibacterial and antifungal activity, *Res. on Crops*, 20 (2019) 725-730.
- [12] T. Bhuyan, K. Mishra, M. Khanuja, R. Prasad, A. Varma, Biosynthesis of zinc oxide nanoparticles from *Azadirachta indica* for antibacterial and photocatalytic applications, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 32 (2015) 55-61.
- [13] L. He, Y. Liu, A. Mustapha, M. Lin, Antifungal activity of zinc oxide nanoparticles against *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum*, *Microbiological research*, 166 (2011) 207-215.
- [14] A.M. Awwad, M.W. Amer, N.M. Salem, A.O. Abdeen, Green synthesis of zinc oxide nanoparticles (ZnO-NPs) using *Ailanthus altissima* fruit extracts and antibacterial activity, *Chem. Int*, 6 (2020) 151-159.