

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURET DE LA RECHERCHE**

**SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA**

**Faculté des Sciences appliquées**

**Département de Génie des Procédés**

**Mémoire fin d'études**

**MASTER ACADEMIQUE**

**Domaine: Sciences et Technologies**

**Filière: Génie des Procédés**

**Spécialité : Génie Pétrochimique**

**Présenté Par :**

**Wiam SAHRAOUI**

**Rahma MEKHLOUFI**

**Thème :**

**Synthèse vert et caractérisation des nanoparticules à base de CuO et leur application en photocatalyse (élimination de bleu de méthylène)**

**Devant le jury composé de :**

Dr. BENABDESSALAM Soulef MCA (UKM Ouargla)

Président

Dr. MOKHBI Yasmina MCB (UKM Ouargla)

Examinatrice

Dr. GOUDJIL Mohamed Bilal MCA (UKM Ouargla)

Encadreur

**Année Universitaire :2022/2023**



## *Dédicace*

*« Louange à ALLAH, le seul et unique »*

*Je dédie ce modeste travail à:*

*A toute ma famille et particulièrement mes  
chers parents qui m'ont toujours encouragé et*

*soutenu durant les 18 années de  
mes études et leurs sacrifices pour m'offrir un  
climat de travail agréable.*

*A mes frères: Habib, Badis*

*A mes sœurs: Manel, Djaouher, Imane*

*A toutes mes ami(e)s*

*A Toute l'équipe du laboratoire de Département de  
Génie des Procédés*

*WIAM SAHRAOUI*



## *Dédicace*

*«Louange à ALLAH, le seul et  
unique»*

*Je dédie ce modeste travail à:*

*A toute ma famille et particulièrement mes  
chers parents qui m'ont toujours encouragé et  
soutenu durant les 18 années de  
mes études et leurs sacrifices pour m'offrir un  
climat de travail agréable.*

*A mon frère*

*A mes sœurs*

*A toutes mes ami(e)s*

*A Toute l'équipe du laboratoire de Département de  
Génie des Procédés*

*RAMA MEKHLOUFI*

## Remerciements

Mes remerciements vont d'abord à Allah, le tout puissant, clément et miséricordieux pour m'avoir donné la volonté et le courage pour accomplir mes études. Mes parents sont la source de notre réussite et de notre fierté. Qu'ils trouvent ici, l'expression de ma reconnaissance et de mon grand amour.

Mes remerciements vont particulièrement à notre encadreur «Dr. Mohamed Bilal GOUDJIL» pour la confiance et l'intérêt qu'il m'a témoignés tout au long de l'élaboration de ce travail, pour son aide si précieuse et ses conseils pertinents. Que les membres du jury qui ont bien voulu accepter de juger notre travail, trouvent ici, l'expression de notre reconnaissance et de mes remerciements anticipés.

## Résumé

Dans cette étude, les nanoparticules de cuivre ont été synthétisées de manière simple et respectueuse de l'environnement, en utilisant un extrait de plante aromatique (menthe pulegium) avec différentes concentrations d'Oxyde de cuivre. Les propriétés de ces particules ont été étudiées par la spectroscopie d'UV, la diffraction des rayons X et FT-IR. Les spectres UV-Vis ont montré une absorption maximale dans la plage de 200 à 400 nm. La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) a été utilisée pour confirmer l'existence de divers groupes fonctionnels responsables de la réduction et de la stabilisation au cours du processus de biosynthèse. Le résultat des spectres présente un faible pic à 457, 521 et 565 $\text{cm}^{-1}$  attribués à la vibration des (CuO)Nps, confirmant la formation de nanoparticules. L'analyse par diffraction des rayons X (XRD) a confirmé la nature cristalline des (CuO)Nps avec une taille moyenne comprise entre 24 et 42 nm. Nous avons aussi pu montrer qu'il est possible application des nanoparticules formées dans la dégradation des polluants organiques (bleu de méthylène) où les (CuO)Nps avec une concentration de 0.8 g ont montré une activité photocatalytique plus élevée.

**Les mots clés :** *Mentha pulegium* ; CuO Nps ; synthèse verte ; DRX ; photocatalytique ; bleu méthylène.

## Abstract

In this research, copper nanoparticles were, synthesized in a simple and environmentally friendly way, using an aromatic plant extract (pulegium mint) with different concentrations of copper oxide. The properties of these particles have been studied by UV spectroscopy, X-ray diffraction and FT-IR. UV-Vis spectra showed maximum absorption in the range of 200-400 nm. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy was used to confirm the existence of various functional groups responsible for reduction and stabilization during the biosynthetic process. The result of the spectra shows a weak peak at 457, 521 and 565 $\text{cm}^{-1}$  attributed to the vibration of the (CuO)Nps, confirming the formation of nanoparticles. X-ray diffraction (XRD) analysis confirmed the crystalline nature of the (CuO)Nps with an average size between 24 and 42nm. We were also able to show that it is possible to apply the nanoparticles formed in the degradation of organic pollutants (methylene blue) where the (CuO)Nps with a concentration of 0.8 g showed a higher photocatalytic activity.

**Key words:** Pulegium mint; CuO Nps; green synthesis; XRD; photocatalytic; methylene blue.

## ملخص

في هذا البحث، تم تصنيع جزيئات النحاس النانوية بطريقة بسيطة وصديقة للبيئة، باستخدام مستخلص نباتي عطري (النعناع البري) بتركيزات مختلفة من أكسيد النحاس. تمت دراسة خصائص هذه الجسيمات بواسطة التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية وحيد الأشعة السينية والأشعة تحت الحمراء. أظهرت أطوال الأشعة فوق البنفسجية أقصى امتصاص في نطاق 200 إلى 400 نانومتر. تم استخدام التحليل الطيفي لتحويل الأشعة تحت الحمراءأكيد وجود مجموعات وظيفية مختلفة مسؤولة عن التخفيض والاستقرار أثناء عملية التمثيل البيولوجي تظهر نتيجة الأطوال ذروة منخفضة عند 457 521 إلى 565 سم إلى اهتزاز الجسيمات النانوية لأكسيد النحاس مما يؤكد تكوين الجسيمات النانوية. أكد تحليل الأشعة السينية الطبيعة البلورية لجسيمات النانوية لأكسيد النحاس بمتوسط حجم بين 24 إلى 42 نانومتر. تمكنا أيضا من اظهار أنه من الممكن تطبيق الجسيمات النانوية المتكونة في تحلل الملوثات العضوية (أزرق الميثيلين) حيث أظهرت الجسيمات النانوية لأكسيد النحاس بتركيز 0.8 غرام نشاطا تحفيزيا ضوئيا أعلى.

**الكلمات المفتاحية:** النعناع البري؛ الجسيمات النانوية لأكسيد النحاس؛ التوليف الأخضر؛ حيدود الأشعة السينية؛ محفز ضوئي. الميثيلين الأزرق.

## Liste des tableaux

Tableau I-1 Applications des nanotechnologies et des nanomatériaux en fonction des secteurs d'activité.[19] .....	7
Tableau I-2 : propriétés physiques de cuivre [22] .....	8
Tableau III-1 buts des étapes de mode d'opérateur .....	21
Tableau IV-1 Résultats de Calcul de la taille de particule synthétisée par l'extrait de feuille de Menthe pulegium.....	35
Tableau IV-2 Résultats de L'absorption du bleu de méthylène en fonction de la concentration des nanoparticules d'oxyde de cuivre . .....	38
Tableau IV-3 Résultats de rendement du bleu de méthylène en fonction de temps.....	39

## Liste des figures

Figure I.1 Gamme de tailles des nanoparticules comparées à celles des principales Structures chimiques et biologiques [15] .....	6
Figure I.2 Représentation schématique de la structure cristallographique de CuO.[22] .....	9
Figure I.3 Consommation mondiale de cuivre[23] .....	9
Figure II.1 Menthe pouliot ( <i>Menthe pulegium</i> ) [27].....	13
Figure II.2 Représentation schématique du spectrophotomètre <i>UV – Visible</i> .....	14
Figure II.3 Schéma de principe de l'analyse par spectroscopie d'absorption infrarouge .....	15
Figure II.4 Schéma représentant le principe de diffractomètre de rayon X (DRX) par un réseau cristallin .....	15
Figure III.1 Organigramme de procédure expérimentale.....	18
Figure III.2 Extraction de l'extrait aqueux des plantes .....	20
Figure III.3 Schéma illustrant le protocole de préparation de nanoparticule de CuO .....	21
Figure III.4 mécanisme de formation de nanoparticules de CuO par la synthèse verte .....	22
Figure III.5 Techniques de caractérisation des nanoparticules d'oxyde de cuivre.....	23
Figure III.6 spectroscopie UV- visible.....	23
Figure III.7 Diffractomètre des rayons X.....	24
Figure III.8 Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR).....	25
Figure IV.1 Spectre UV-visible d'échantillon synthétisée et l'extrait en utilisant les feuilles de Menthe pulegium. ....	29
Figure IV.2 Spectre FT-IR de l'extrait Menthe pulegium et des nanoparticules de cuivre synthétisées.....	30

Figure IV.3 Diffractogramme XRD de nanoparticules de cuivre synthétisées par l'extrait de feuille de <i>Mentha pulegium</i> .....	32
Figure IV.4 Illustration montrant les informations des pics les plus grands de <i>MenthaPulegium</i> (concentration de 0.8g/l).....	32
Figure IV.5 Illustration montrant les informations des pics les plus grands de <i>MenthaPulegium</i> (concentration de 0.6g/l).....	33
Figure IV.6 Illustration montrant les informations des pics les plus grands de <i>Menthe Pulegium</i> (concentration de 0.4g/l).....	33
Figure IV.7 Illustration montrant les informations des pics les plus grands de <i>Menthe Pulegium</i> (concentration de 0.2g/l).....	33
Figure IV.8 : Spectre UV-visible du bleu de méthylène.....	37
Figure IV.9 : Courbe d'étalonnage de bleu de méthylène.....	38
Figure IV.10 Variation de rendement d'absorption du BM en fonction du temps.....	39
Figure IV.11 Changement de couleur des quatre solutions selon la dégradation photocatalytique du BM en présence de(CuO)Nps. ....	40
Figure IV.12 Balayage de la solution de BM en présence de CuONps (0.8g) en fonction de temps d'exposition aux radiations UV.....	41
Figure IV.13 Photodégradation de BM en présence de lumière UV.....	42



## Liste des abréviations

**Cu** : Cuivre

**CuO** : Oxyde de cuivre

**NPs** : Nanoparticule

**CuNPs** : Nanoparticules de cuivre

**UV-Vis** : Ultraviolet-Visible

**DRX** : Diffraction des Rayons X

**Nm** : Nanomètre

**·OH** : Groupe hydroxyle

**FWHM**: Full Width at Half Maximum

**Å**: Ångström ( $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ nm}$ )

# Sommaire

Décidas .....	I
Remerciements .....	III
Résumé .....	IV
Liste des tableaux.....	V
Liste des figures .....	VI
Liste des abréviations.....	VIII
Introduction générale .....	1

## **Chapitre I Généralités sur les nanoparticules et leurs applications**

I. Introduction .....	5
I.1. Généralités sur les Nanoparticules .....	5
I.2. nanotechnologies : .....	5
I.3. nanomatériaux : .....	5
I.4. Nanoparticule : .....	5
I.4.1. Définition d'une nanoparticule .....	5
I.4.2. Classification des nanoparticules :.....	6
I.4.2.1. Classification de nanoparticules en fonction de leurs sources .....	6
I.4.2.1.1. Origine naturelle : .....	6
I.5. Applications des nanoparticules .....	7
I.6. Définition de cuivre: .....	8
I.6.1. Propriétés physiques de cuivre : .....	8
I.6.2. Applications de Cuivre : .....	9

## **Chapitre II : Présentation de plante étudiée et caractérisations des nanoparticules**

II. Présentation de plante étudiée et caractérisations des nanoparticules.....	11
II.1. plantes aromatiques : .....	11

II.2. Etude botanique .....	11
II.2.1. Présentation de la plante : .....	11
II.2.1.1. Menthe pouliot ( <i>Menthe pulegium</i> ) : .....	11
II.2.1.2. Classification botanique de la plante : .....	12
II.3. Composition phytochimique : .....	13
II.3.1. Substance bioactives : .....	13
II.3.1.1. Composition phytochimique de <i>Menthe pulegium</i> : .....	13
II.3.1.2. Usage traditionnelle : .....	13
II.4. Caractérisation des nanoparticules : .....	14
II.4.1. Spectroscopie UV-visible .....	14
II.4.1.1. Principe .....	14
II.4.2. Spectroscopie infrarouge a transformé de fourrier (FT-IR) : .....	14
II.4.2.1. Principe : .....	14
II.4.3. Diffraction des Rayons X (DRX) : .....	15
II.4.3.1. Principe : .....	15

### **Chapitre III : Matériels et méthodes**

III. Matériels et méthodes.....	17
III.1. différentes étapes de ce chapitre : .....	18
III.2. Matériel et méthodes .....	19
III.2.1. Matériel végétal : .....	19
III.2.2. Produits chimiques : .....	19
III.2.3. appareilles : .....	19
III.2.4. Matériel de laboratoire : .....	19
III.3. Synthèse verte : .....	19
III.4. Caractérisation des nanoparticules d'oxyde de cuivre : .....	22
III.4.1. Mécanisme de formation des nanoparticules de CuO à partir de $\text{CuCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ : .....	22
III.4.2. Techniques de Caractérisation des nanoparticules de CuO : .....	22
III.4.2.1. La spectroscopie UV-Visible : .....	23

III.4.2.2. diffraction des rayons X (DRX) : .....	24
III.4.3. Spectroscopie infrarouge a transformé de fourrier (FT-IR) : .....	24
III.5. Test photocatalytique .....	25
III.5.1. Conditions expérimentales.....	25
III.5.2. Protocol : .....	25

## **Chapitre IV : Résultats et Discussions**

IV. Résultats et discussion.....	29
IV.1. Caractérisation des nanoparticules d'oxyde de cuivre : .....	29
IV.1.1. UV –Visible : .....	29
IV.1.1.1. Discussions des résultats (UV-Vis) : .....	29
IV.1.2. Caractérisation par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) : .....	30
IV.1.3. Diffraction des rayons X : .....	32
IV.1.3.1. Discussions des résultats DRX : .....	32
IV.1.3.2. Calculer la taille de particule : .....	34
IV.2. Test photocatalytique : .....	37
IV.2.1. Test d'absorption BM par le spectroscopie UV-visible : .....	37
IV.2.2. courbe d'étalonnage du bleu de méthylène : .....	38
IV.2.3. Formule de calcul : .....	38
Conclusion générale.....	44

# *Introduction générale*

Au 21<sup>e</sup> siècle, le monde a connu une renaissance scientifique et des progrès dans la recherche technologique[1]. En particulier la nanotechnologie, car la nanotechnologie est un nouveau domaine scientifique et est largement appliquée dans de nombreuses parties de notre vie . Les origines des études scientifiques sur les nanomatériaux remontent à 1959, lorsque le physicien américain Richard Feynman a souligné la possibilité d'un contrôle précis de la structure atomique et moléculaire à l'échelle nanométrique. Depuis lors, ce domaine a connu de nombreuses avancées et transformations dans de nombreux domaines tels que la physique, la chimie, la médecine, l'électronique, les matériaux et la nanotechnologie[2-5]. Les nanomatériaux sont des matériaux composés de très petites particules de la taille d'un nanomètre. Ces matériaux ont des caractéristiques uniques et distinctives et attirent donc l'intérêt de nombreux chercheurs et ingénieurs dans plusieurs domaines tels que les sciences naturelles, industrielles, médicales, électroniques et biologiques. Il peut être fabriqué à partir d'une variété de matériaux tels que les métaux, oxydes, polymères, etc. Parmi les principales propriétés des nanoparticules, il a une surface élevée par rapport à sa taille, ce qui le rend très réactifs[6]. Les techniques traditionnelles utilisées dans la fabrication des nanoparticules métalliques sont assez coûteuses et dangereuses pour l'environnement, en raison de la participation de divers produits chimiques dangereux dans leur fabrication, responsables de divers risques pour la santé[7].

L'objectif de notre étude est de préparer les nanoparticules d'oxyde de cuivre par une manière simple, relativement peu coûteux et respectueux de l'environnement, puis tenter leur application en photocatalyse (pour éliminer le bleu de méthylène de l'eau ) [8].

Pour étudier ces caractéristiques, nous avons adopté un plan divisé en 04 chapitres. Où nous avons étudié.

- Le premier chapitre est consacré à la description et généralité de nanoparticules ou recherche bibliographique touchant les principales propriétés de nanoparticules été apportée et leur application.

- Le deuxième chapitre on va présenter la plante entièrement consacrée à différentes techniques de caractérisations structurales et physiques de nos échantillons. Les différentes techniques de caractérisation des propriétés morphologiques, structurales et physiques comme la diffraction des rayons X (DRX), et les spectroscopies de l'FT-IR et (UV-VIS).

- Le troisième chapitre : présente la partie des matériels et méthodes utilisés au laboratoire et la caractérisation des nanoparticules synthétisés.

- Au chapitre quatre : réservé aux résultats des caractérisations des CuONPs et leur activité photocatalytique.

Enfin, nous concluons ce travail par une conclusion générale sur les résultats que nous avons obtenus au cours de ce travail.

# *Chapitre I*

## *Généralités sur les nanoparticules et leurs applications*



**I. Introduction**

Le domaine de recherche de la nanotechnologie est l'une des plus grandes enquêtes énergétiques des sciences des matériaux. Récemment, la synthèse verte de nanoparticules d'oxyde métallique est un sujet remarquable de La nanoscience. Pour plus d'informations on va étudier les nanoparticules du cuivre et ces propriétés à partir d'une plante aromatique *Menthe pulegium*[9].

**I.1. Généralités sur les Nanoparticules****I.2. Nanotechnologies :**

Étudient les propriétés des systèmes de dimensions de l'ordre de quelques angströms à une centaine de nanomètres. Les nanomatériaux établissent un espace de recherche et de développement impliquant l'utilisation de procédés permettant l'organisation de la matière au niveau moléculaire ou atomique à des échelles caractéristiques de 1 à 100 nanomètres (nm) [10].

**I.3. Nanomatériaux :**

sont produits à partir de la destruction d'un matériau macroscopique, ou par l'aménagement d'un groupe d'atomes ou de molécules, Ces nanoparticules peuvent avoir différentes formes (nano sphères, nanotubes, nano fils, cellules, monocristaux...) [11].

Les nanomatériaux présentent des caractéristiques différentes de l'échelle macroscopique, grâce à leur taille. Certainement, lorsque la taille d'une particule diminue, le nombre de particules par unité de masse croît. Les nanoparticules possèdent des propriétés qui dépendent de leurs tailles en raison de la proportion importante des atomes existants sur leurs surfaces par rapport à leurs volumes, ce qui entraîne une importante surface spécifique [12].

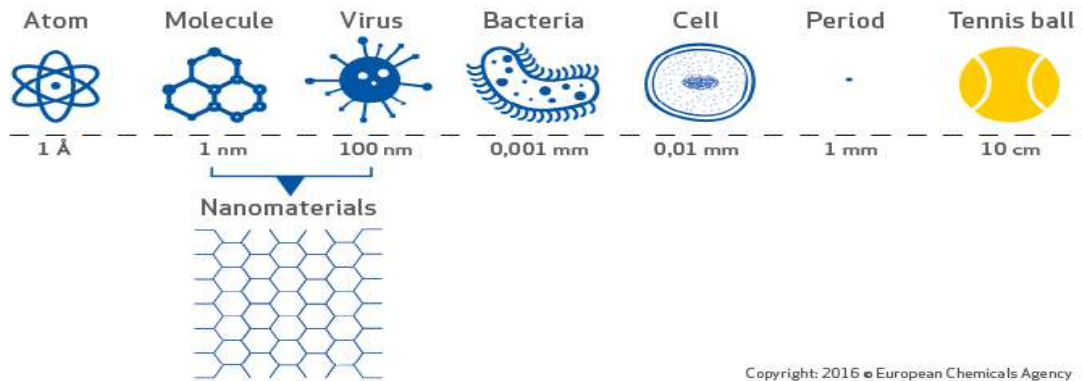
Les structures nanométriques permettent alors d'obtenir de nouveaux matériaux présentant des propriétés mécaniques, électriques, magnétiques, optiques et catalytiques particulières différant parfois des propriétés du même matériau à une échelle différente [13].

**I.4. Nanoparticule :****I.4.1. Définition d'une nanoparticule :**

Une nanoparticule (NP) est un agglomérat des millions d'atomes qui forment une molécule dont la dimension est comprise entre 5 et 200 nm ou plus globalement inférieure à 1µm La taille nanométrique augmente la surface de contacts entre les matériaux, Ce qui leur confère

une plus grande réactivité. Les tailles des nanoparticules sont donc du même que les protéines et les virus [14].

### Nanotechnology



**Figure I.1** Gamme de tailles des nanoparticules comparées à celles des principales Structures chimiques et biologiques [15].

## I.4.2. Classification des nanoparticules :

### I.4.2.1. Classification de nanoparticules en fonction de leurs sources :

#### I.4.2.1.1. Origine naturelle :

##### a. Biologique :

L'ADN - diamètre de l'ordre de 2,5 nm, plusieurs bactéries - 30 nm à 10 mm, plusieurs virus (10 à 60 nm) [16].

##### b. Minérale ou environnementale :

La fraction fine du sable de désert, les fumées originaires d'activité volcanique ou de feux de forêt et certaines poussières atmosphériques [17].

##### c. Origine humaine :

Les « engineered nanoparticles », ou nanoparticules manufacturées, qui sont les nanomatériaux fabriqués dans un but d'application technologique comme les particules ultrafines d'oxyde de titane et des métaux ultrafins, les pigments de peinture, etc. Les « bulknanoparticules » : le noir de carbone, la fumée de silice, la fumée d'huile le « smog » et les particules diesel...etc [18].

## I.5. Applications des nanoparticules

**Tableau I-1** Applications des nanotechnologies et des nanomatériaux en fonction des secteurs d'activité [19].

Secteurs d'activité	Exemples d'applications actuelles et potentielles
<b>Automobile, aéronautique et aérospatial</b>	Matériaux renforcés et plus légers ; peintures extérieures avec effets de couleur, plus brillantes, anti-rayures, anti-corrosion et anti-salissures ; capteurs optimisant les performances des moteurs ; détecteurs de glace sur les ailes d'avion ; additifs pour diesel permettant une meilleure combustion ; pneumatiques plus durables et recyclables...
<b>Agroalimentaire</b>	Emballages actifs ; additifs : colorants, anti-agglomérants, émulsifiants...
<b>Chimie et matériaux</b>	Pigments ; charges ; poudres céramiques ; inhibiteurs de corrosion catalyseurs multi-fonctionnels ; textiles et revêtements anti-bactériens et ultra-résistants...
<b>Electronique et communications</b>	Mémoires à haute densité et processeurs miniaturisés ; cellules solaires ; bibliothèques électroniques de poche ; ordinateurs et jeux électroniques ultra-rapides ; technologies sans fil ; écrans plats...
<b>Construction</b>	Ciments autonettoyants et anti-pollutions, vitrages autonettoyants et anti-salissures ; peintures ; vernis ; colles ; mastics...
<b>Pharmacie et santé</b>	Médicaments et agents actifs ; surfaces adhésives médicales anti-allergènes ; médicaments sur mesure délivrés uniquement à des organes précis ; surfaces bio-compatibles pour implants ; vaccins oraux ; imagerie médicale...
<b>Énergie</b>	Cellules photovoltaïques nouvelle génération ; nouveaux types de batteries ; fenêtres intelligentes ; matériaux isolants plus efficaces ; entreposage d'hydrogène combustible...
<b>Cosmétique</b>	Crèmes solaires transparentes ; pâtes à dentifrice abrasives ; maquillage avec une meilleure tenue...

**I.6. Définition de cuivre:**

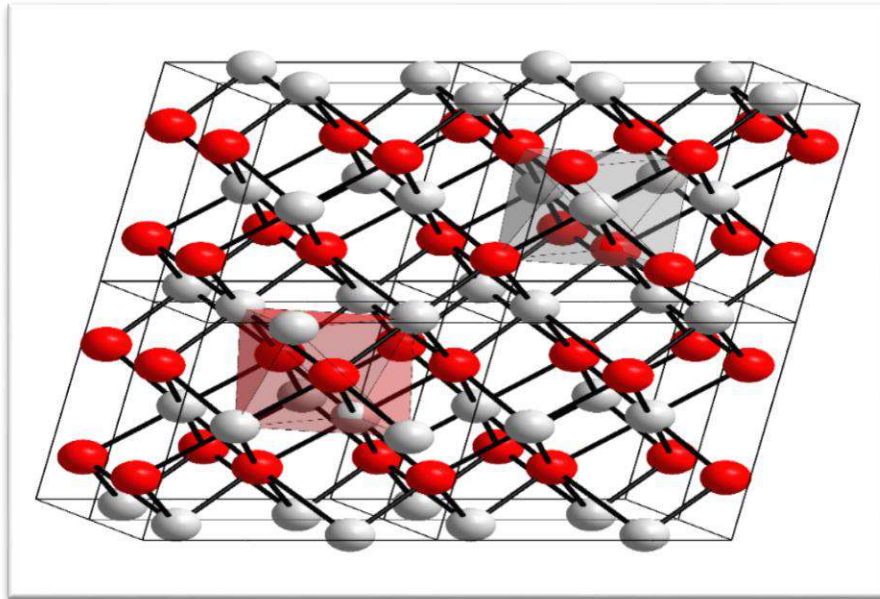
Métal de couleur rouge ou orangée, le cuivre est ductile et malléable. Il possède une très grande conductivité électrique et présente une certaine résistance à la corrosion. Le cuivre présente aussi des propriétés antisalissure [20].

**I.6.1. Propriétés physiques de cuivre :**

Le cuivre est relativement mou et ductile et s'allie facilement avec d'autres métaux pour donner, par exemple, les laitons et les bronzes . Le cuivre, métal peu oxydable, présente deux degrés d'oxydation possibles : Cu (+ I ) et Cu (+ II ). Sa couleur fonce à l'air par oxydation et noircit par sulfuration [21].

**Tableau I-2 : les propriétés physiques de cuivre [22].**

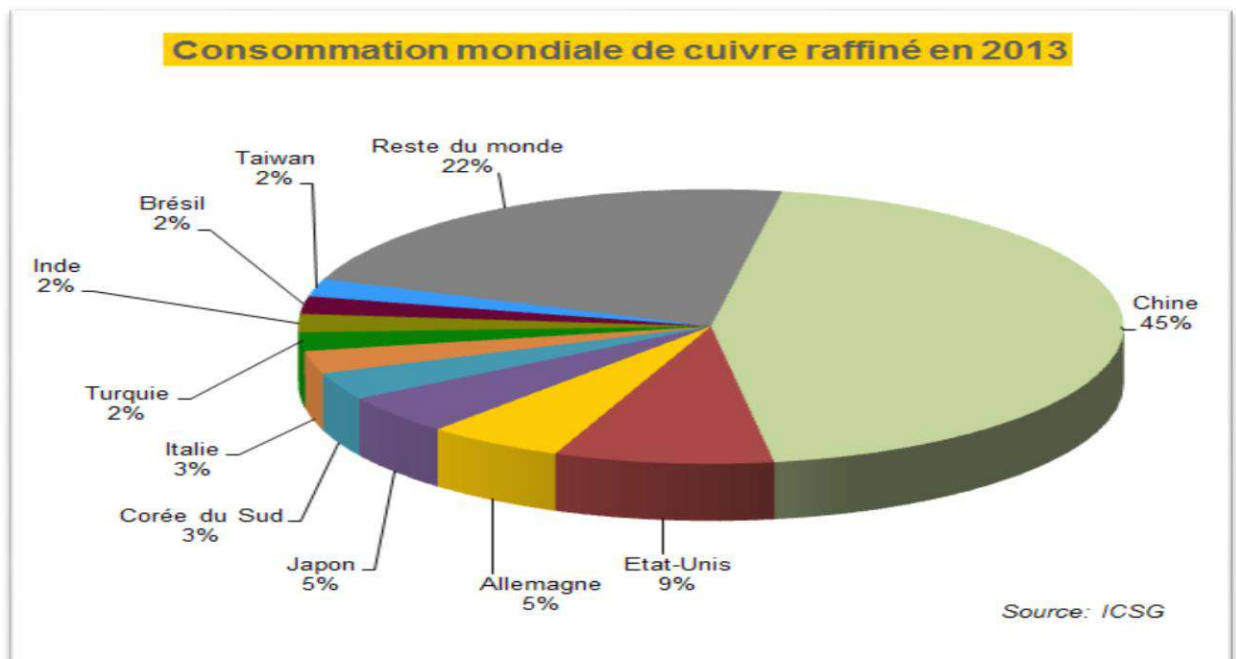
Propriétés	Cu
Configuration électronique	[Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>1</sup>
Numéro atomique – poids	29 – 63.546
Densité (g/cm <sup>3</sup> )	8.96
Rayon atomique (nm)	0.157
Première énergie d'ionisation (KJ mol <sup>-1</sup> )	773
Cu/Cu <sup>+</sup> (V)	0.552
Cu/Cu <sup>2+</sup> (V)	0.345
Résistivité électrique ( $\Omega$ m)	$17 \times 10^{-9}$
Température de fusion (K)	1358
Température d'ébullition (K)	2835
Conductivité thermique (W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	386
Conductivité électrique (S m <sup>-1</sup> )	$59.6 \times 10^6$
Electronégativité	1.9



**Figure I.2** Représentation schématique de la structure cristallographique de CuO [22].  
Les sphères grises représentent les ions de  $\text{Cu}^{2+}$  et les sphères rouges les ions de  $\text{O}^{2-}$  [22].

### I.6.2. Applications de Cuivre :

En raison de ses propriétés diverses, chimiques et physiques, le cuivre est largement utilisé dans de nombreux domaines. Il joue un rôle important dans une très large gamme d'applications. La figure montre la consommation mondiale de cuivre [22].



**Figure I.3** Consommation mondiale de cuivre [23].

**Conclusion :**

Après les données précédentes, on peut dire que les nanoparticules sont des particules infiniment petites de  $10^{-7}\text{m}$  à  $10^{-9}\text{m}$  qui sont classées selon leurs suspensions (dans un solide, dans un liquide ou dans l'air) et leurs origines (naturelle ou humaine). Les nanoparticules sont utilisées dans différents secteurs industriels (construction, cosmétique, énergie, santé, plasturgie et textile...etc.) De plus, on peut dire que la nanoparticule de  $\text{CuO}$  a une structure la plus riche, il peut émettre les couleurs (rouge, gris ou blanche). Ces nanoparticules sont des semi-conducteurs. Ces propriétés permettent d'utiliser ces particules dans plusieurs secteurs industriels.

## *Chapitre II*

### *Présentation de plante étudiée et caractérisations des nanoparticules*

**II. Présentation de plante étudiée et caractérisations des nanoparticules**

**II.1. plantes aromatiques :**

Les plantes aromatiques sont à la fois un produit fini destiné à la consommation et une matière première pour l'obtention des substances bioactives qui sont à l'origine de plusieurs médecines modernes grâce à leur richesse en métabolites secondaires, notamment en composés phénoliques dotés de propriétés biologiques bénéfiques [24].

Les produits végétaux trouvent une utilisation impérative dans la synthèse des nanoparticules (NPs)[24].Donc, dans le cadre de la valorisation de la flore algérienne on s'est intéressé aux deux espèces de la famille des Lamiacées (*Menthe pulegium*).

**II.2.Etude botanique**

**II.2.1. Présentation de la plante :**

La menthe est une plante herbacée vivace de la famille des lamiacées. L'huile de menthe aromatique est utilisée dans de nombreux produits, tels que les dentifrices, les produits de soins personnels et les produits d'entretien La menthe a de nombreux avantages pour la santé, y compris aider à soulager les douleurs d'estomac, les nausées et les maux de tête. Il est également utilisé pour traiter les symptômes du rhume et de la grippe. En outre, la menthe est riche en antioxydants et en composés anti-inflammatoires. Il y a de nombreux types de menthe, notamment la menthe poivrée utilisée dans notre étude c'est *laMenthe pulegium*[25].

**II.2.1.1.     Menthe pouliot (*Menthe pulegium* ) :**

La menthe pouliot, également connue sous le nom de *Mentha pulegium*, est une plante herbacée de la famille des Lamiacées (Labiées), originaire d'Europe, d'Afrique du Nord et d'Asie tempérée. Connue depuis l'Antiquité européenne comme plante médicinale, elle ne fut rattachée aux menthes qu'à l'époque moderne.

Sa consommation même sous forme d'infusion, est maintenant déconseillée en raison de la présence d'un composant très hépatotoxique, la pulégone, pouvant parfois être présent dans une concentration élevée [26].

Voici quelques informations sur *la Menthe pulegium*:

- a. **Habitat et distribution** : La menthe pouliot est originaire d'Europe et d'Asie occidentale et le nord de l'Afrique (du Maroc à l'Égypte), mais elle a été largement



## Chapitre II                   Présentation des plants étudiés et caractérisation des nanoparticules

naturalisée dans le monde entier. Elle pousse souvent dans des endroits humides, comme les marais et les berges de rivières [26].

- b. **Description de la plante** : La menthe pouliot mesure environ 30 à 60 centimètres de hauteur. Elle a des feuilles ovales et dentées de couleur vert foncé et produit des fleurs roses ou violettes [26].
- c. **Propriétés médicinales** : La menthe pouliot a été traditionnellement utilisée pour traiter les douleurs menstruelles, les troubles digestifs et les maux de tête. Elle est également utilisée comme antiseptique, antispasmodique et insectifuge [26].
- d. **Contre-indications** : La menthe pouliot doit être évitée pendant la grossesse car elle peut provoquer des contractions utérines. Elle peut également être toxique en grande quantité, il est donc important de respecter les doses recommandées [26].

### II.2.1.2. Classification botanique de la plante :

**Règne** : Planta

**Division** : Magnoliophyta

**Classe** : Magnoliopsida

**Ordre** : Lamiales

**Famille** : Lamiaceae

**Genre** : Menthe

**Espèce** : *Menthe pulegium*

**Nom vernaculaire algérien** : fliyou

**Nom arabe** : النعناع البري [28]



**Figure II.1** Menthe pouliot (*Menthe pulegium*) [27].

### **II.3.Composition phytochimique :**

#### **II.3.1. Substance bioactives :**

Il constituée les acides phénoliques : acide caféique Acide coumarinique. Les flavonoïdes : hespéridine, eriotrécine, narirutine lutéoline. Les polyphénols : tanins. Et les huiles essentielles[28].

#### **II.3.1.1. Composition phytochimique de *Menthe pulegium* :**

L'extrait aqueux chaude de la plante de *Menthe pulegium* contient des tanins, des glycosides, des saponines et des huiles volatiles, comme pour les terpènes, alcaloïdes, phénols et flavones. Et les résines n'ont pas remarqué. Alors que l'extrait éthanolique chaud contient toutes sortes des saponines, tanins, alcaloïdes, stéroïdes, flavones, phénols, huiles volatiles, terpènes, coumarines et glycosides [29].

#### **II.3.1.2. Usage traditionnelle :**

Menthe *pulegium* c'est une source réelle d'agent antimicrobien, anti-inflammatoire, antioxydant et sont utilisées d'une façon large dans la médecine traditionnelle notamment contre les maladies dermatiques, respiratoires et gastriques [30].

## II.4. Caractérisation des nanoparticules :

### II.4.1. Spectroscopie UV-visible

#### II.4.1.1. Principe

La spectroscopie UV-Visible : est une technique très utilisée pour les substances organiques et minérales, elle repose sur la transition d'électrons de valence qui passent de l'état fondamental à l'état excité grâce à une onde électromagnétique. Cette transition s'accompagne des propriétés rotationnelles et vibrationnelles des molécules qui requiert une énergie assez forte qui correspond à la longueur d'onde de l'UV-visible [31].

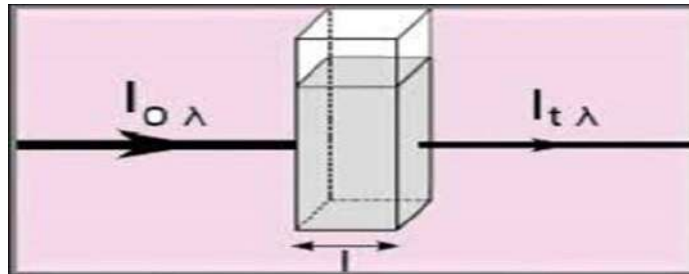
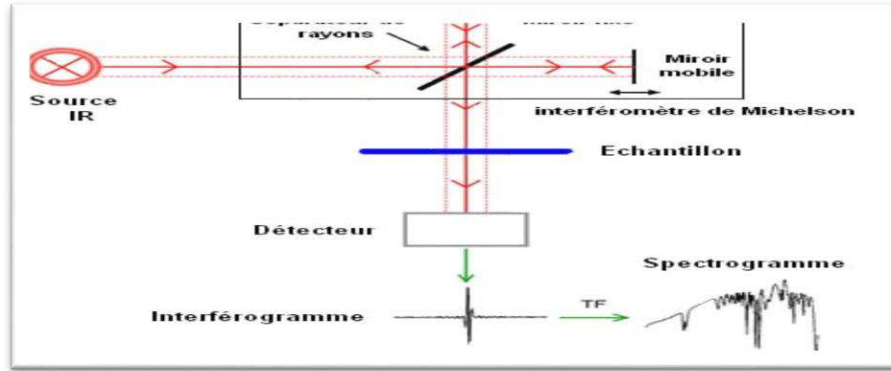


Figure II.2 Représentation schématique du spectrophotomètre *UV – Visible*

### II.4.2. Spectroscopie infrarouge a transformé de fourrier (FT-IR) :

#### II.4.2.1. Principe :

L'infrarouge est une méthode très utilisée pour la caractérisation et l'identification des composés ou de leurs groupements fonctionnels (liaisons chimiques) dans un mélange d'extraits. L'identification des liaisons se fait à l'aide du nombre d'onde correspondant et la détermination de groupe caractéristique par un spectre d'un composé inconnu qui sera identifié par comparaison à la bibliothèque des composés connus [32].

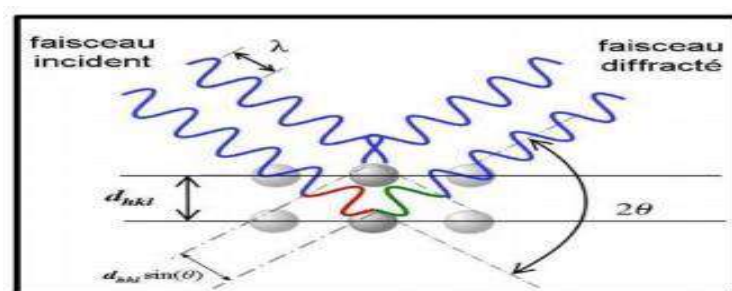


**Figure II.3** : Schéma de principe de l'analyse par spectroscopie d'absorption infrarouge.

### II.4.3. Diffraction des Rayons X (DRX) :

#### II.4.3.1. Principe :

La technique de diffraction des rayons X est une méthode qui permet de déterminer les phases cristallisées d'un échantillon et d'identifier l'arrangement de ces atomes ainsi que leur distance interatomique. Cette technique consiste à observer l'interaction des rayons X avec la matière, lorsque la matière est bombardée par des rayons X un rayonnement émis dans toutes les directions avec des ondes de même phase, de la même longueur d'onde, cette diffusion entraîne l'interférence entre les ondes diffusées par chaque plan atomique formant ainsi une onde diffractée dont les caractéristiques dépendent de la structure cristalline de la matière, le diffractogramme est enregistré sous forme d'un spectre. Les spectres peuvent être obtenus à partir d'un fragment solide ou de petite quantité de poudre [33].



**Figure II.4** Schéma représentant le principe de diffractomètre de rayon X (DRX) par un réseau cristallin.

## ***Chapitre III : Matériels et méthodes***

### III. Matériels et méthodes

Ce travail vise à développer de nouveaux biomatériaux avec des activités photo-catalytiques , y compris l'élimination du colorant (bleu de méthylène) par de nanoparticules. Les thèmes de ces travaux ont été réalisés au **Centre de recherche** de l'Université de Ouargla et laboratoire de recherche **de génie des procédés**.

Dans cette partie expérimentale nous avons présenté les trois voies de recherche :

- La première branche est consacrée à la biosynthèse des nanoparticules .
- Dans la deuxième branche qui consiste à la caractérisation des nanoparticules à base de (CuO) par :
  - ✓ Analyse par spectroscopie UV- Visible : pratiqué au niveau de laboratoire de Génie de l'eau et de l'environnement en milieu saharien
  - ✓ Analyse de diffractométrie de rayons X(DRX) : effectué au niveau de laboratoire de Géologie Sahara.
  - ✓ Analyse par FT-IR : réalisé au niveau de Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyses Physico –chimiques Ouargla (C.R.A.P.C)
  - ✓ Ce travail avait pour principale objectif de l'élaboration et l'étude des propriétés structurelle des nanoparticules formées, partant du fait que la diminution de la taille des particules, jusqu' à l'échelle nanométrique. L'une d'eux a été mis en évidence les applications les plus importantes des nanoparticules dans le domaine de l'élimination des polluants organique (adsorption de bleu de méthylène).

Nous échantillons ont été élaborés par la synthèse verte, une méthode simple, non couteuse, et facile à mettre en œuvre.

Ce chapitre concerne à la description des différents matériaux et produits chimiques et végétal utilisés, détaillant les méthodes et techniques expérimentales employés tout au long de ce travail.

III.1. différentes étapes de ce chapitre :

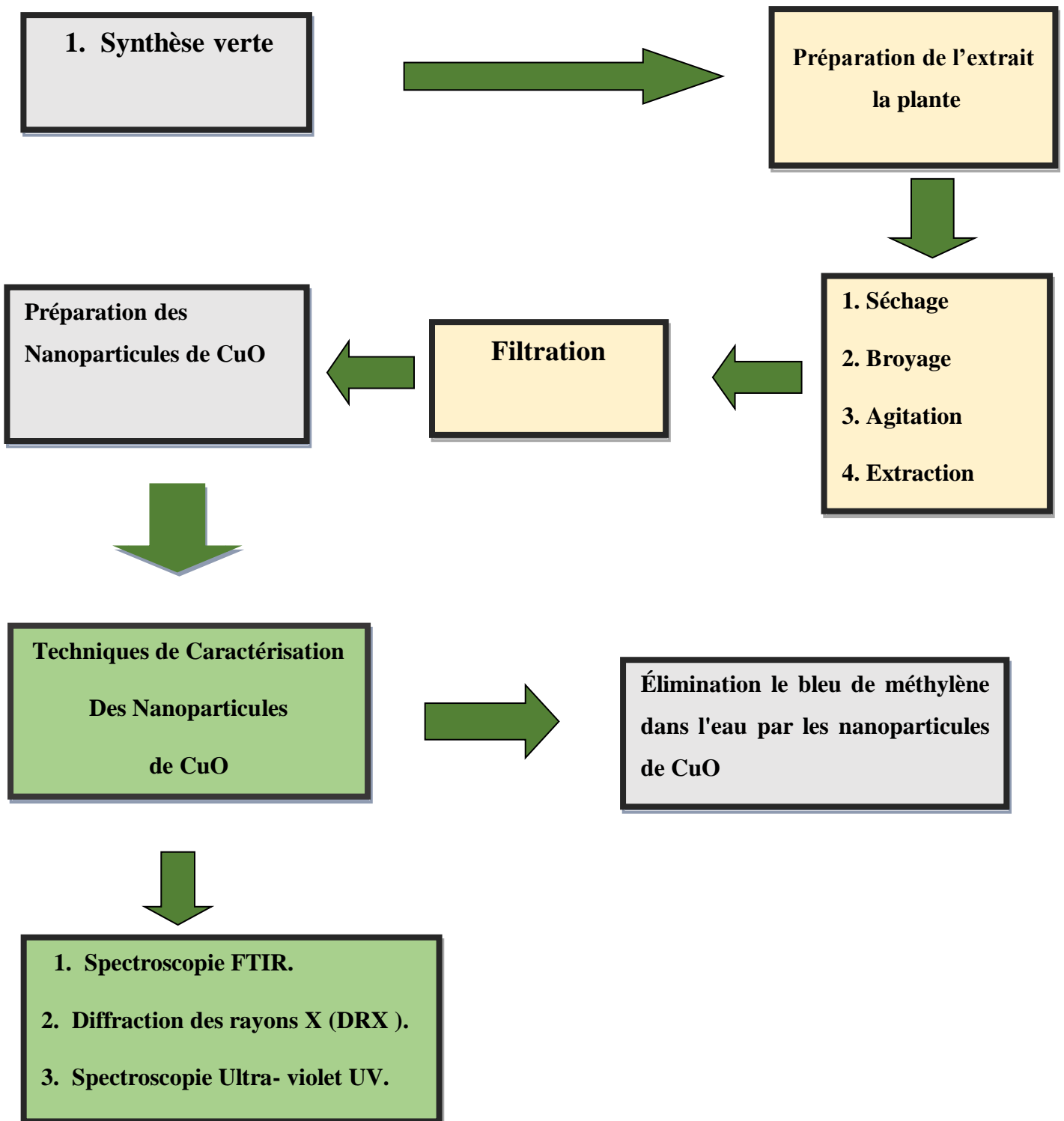


Figure III.1 Organigramme de procédure expérimentale

### III.2. Matériel et méthodes

#### III.2.1. Matériel végétal :

Le matériel végétal utilisé dans cette étude c'est la Menthe pulegium.

#### III.2.2. Produits chimiques :

- Chlorure de cuivre dihydraté
- Eau distillée.
- Bleu méthylène

#### III.2.3. appareilles :

- Balance électrique
- Agitateur magnétique
- L'étuve
- Appareil centrifugeuse
- Appareil spectroscopie Ultra-violet UV
- Appareil diffraction des rayons X
- Pompe sous vide
- Spectroscopie infrarouge à transformé de Fourir (FTIR)

#### III.2.4. Matériel de laboratoire :

- Béchers.
- Verre de montre.
- Spatule.
- Entonnoir.
- Erlenmeyer.
- Barreau magnétique.
- Papier filtre.

### III.3. Synthèse verte :

#### a- Préparation de l'extrait aqueux de plante :

Les menthes pouliot obtenus ont été séchées à température ambiante pendant 3 jours puis broyée à l'aide d'un mixer. L'extrait a été préparé en mettant 10g de la plante avec 100ml d'eau distillée dans un bécher de verre de 100 ml avec agitation de 350 tr/min et chauffage à





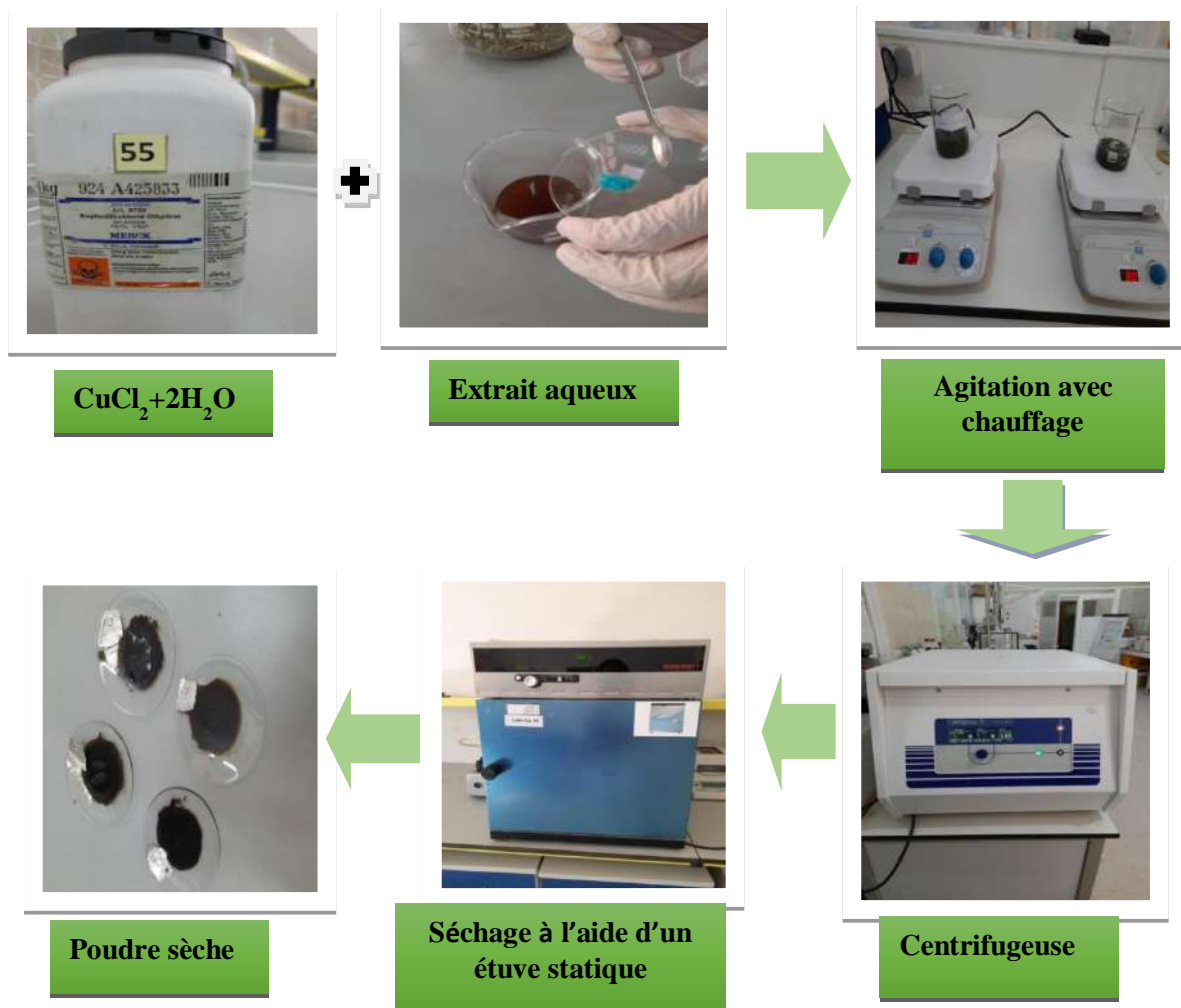


Figure III.3 Schéma illustrant le protocole de préparation de nanoparticule de CuO  
 c - Le but des étapes d'expérimentation :

Tableau III-1 buts des étapes de mode d'opérateur

À faire	But
Broyage à l'aide du moulin électronique	Pour faciliter l'extraction de poly phénol.
Macération et mélange sous agitation magnétique	Pour extraire les poly phénols.
Filtration	Pour éliminer les déchets
Séchage	Pour éliminer l'eau
Centrifugation	Pour séparer les impuretés (lavage)

### III.4. Caractérisation des nanoparticules d'oxyde de cuivre :

#### III.4.1. Mécanisme de formation des nanoparticules de CuO à partir de $\text{CuCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ :

Le mécanisme fondamental exact pour la préparation de nanoparticules d'oxyde de métal par des extraits végétaux n'est pas encore entièrement. En général, il existe deux phases de synthèse de nanoparticules métalliques à partir d'extraits végétaux :

**a-Réaction de réduction:** Un réducteur approprié est ajouté à la solution de  $\text{CuCl}_2$  pour réduire les ions  $\text{Cu}^{2+}$  en CuO.les métabolites végétaux jouent un rôle important dans la réduction des ions métalliques en nanoparticules et dans le soutien de leur stabilité ultérieure [36] , [35],et stabilisants dans la synthèse des nanoparticules [37].

**b-Formation des nanoparticules de CuO :** Les ions  $\text{Cu}^{2+}$  réduits réagissent entre eux et s'agrégent pour former des nanoparticules de CuO[38]. Cette agglomération peut être facilitée par des facteurs tels que la température, le pH et la présence de stabilisants ou de surfactants. Les nanoparticules de CuO ainsi formées peuvent présenter différentes tailles [38].Et formes en fonction des conditions spécifiques de la réaction. Il convient de noter que les détails spécifiques du mécanisme de formation des nanoparticules de CuO à partir de  $\text{CuCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$  peuvent varier en fonction des conditions expérimentales et des réactifs utilisés.

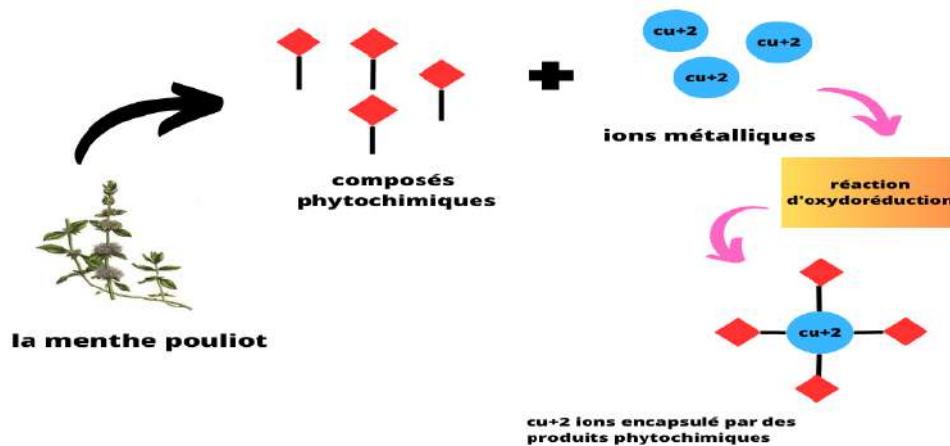
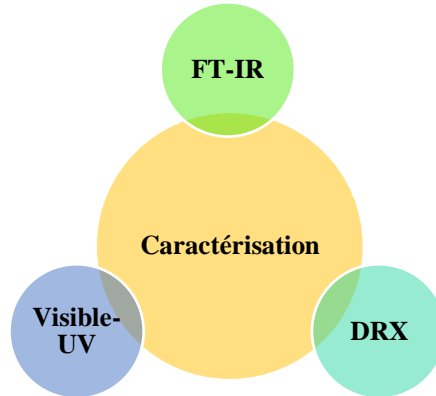


Figure III.4 Mécanisme de formation de nanoparticules de CuO par la synthèse verte.

#### III.4.2. Techniques de Caractérisation des nanoparticules de CuO :

L'ensemble des Techniques de caractérisation des nanoparticules deOxyde de cuivre sont regroupés dans la figure III.4



**Figure III.5 Techniques de caractérisation des nanoparticules d'oxyde cuivre.**

#### III.4.2.1. La spectroscopie UV-Visible :

##### a-Mode opératoire :

Les mesures spectrophotométriques ont été effectuées à l'aide d'un spectrophotomètre à double faisceau pour les deux extraits préparés ( CuO Nps et extrait) en utilisant une cuve en quartz de 10 mm de trajet optique. L'enceinte du spectrophotomètre est thermo statée à 25°C.L'analyse est effectuée entre 190 et 700 nm [39].



**Figure III.6 spectroscopie UV- visible.**

**III.4.2.2. diffraction des rayons X (DRX) :****b-Mode opératoire :**

Les poudres obtenues des nanoparticules préparées à base d'extrait de plante (*Menthe pouliot*) ont été tamisées par un tamis de diamètre 150  $\mu\text{m}$  afin d'homogénéiser les échantillons puis les ont mis dans l'appareil de Diffraction des Rayons X[39].



**Figure III.7** Diffractomètre des rayons X

**III.4.3. Spectroscopie infrarouge a transformé de fourrier (FT-IR) :****a-Mode opératoire :**

Cette technique a été utilisée afin d'identifier les groupements fonctionnels présentes dans un échantillon ainsi que les liaisons développées après la formation des nanoparticules d'oxyde de cuivre. La poudre des nanoparticules d'oxyde de cuivre préparées à base d'extraits de plantes a été déposée dans l'ATR (Réflectance totale atténuée) de spectroscopie et les spectres sont enregistrés dans l'intervalle de 4000 à 400 $\text{cm}^{-1}$ [39].



**Figure III.8** Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR).

### **III.5. Test photocatalytique**

#### **III.5.1. Conditions expérimentales**

Colorant : Bleu méthylène

Irradiation : 150 min UV irradiation

Photocatalyseur : CuO /m= 0.1 g

#### **III.5.2. Protocol :**

L'expérience de photocatalyse a été effectuée en utilisant une chambre préfabriquée comme photo réacteur. Les dimensions de cette chambre sont 70cm\*100cm\*100cm. Une lampe de 5W est utilisée pour les radiations UV.

La distance entre la lampe UV et la solution est de 10 cm.

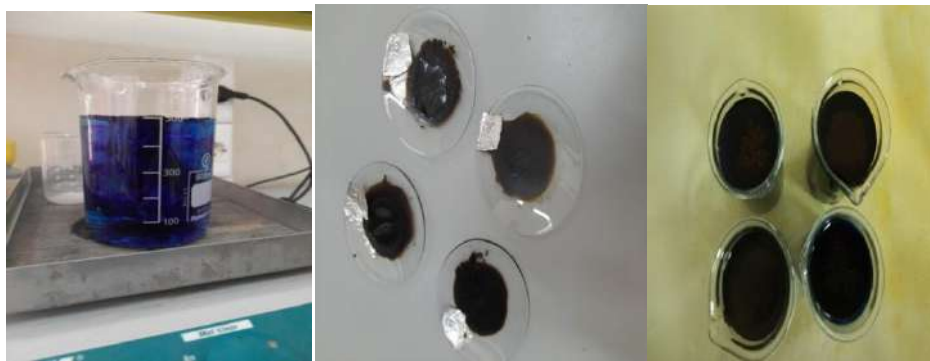




Dans l'expérience de irradiation, on a préparé 100ml de solution de BM avec concentration initiale égal à 10 mg/l .



Les CuONPs sont ajouté avec une masse égale à (0.01 g) à la solution de colorant, dans quatre bécher de 100ml différents.



À différentes conditions de traitement ont été mises en place pour évaluer l'influence de la lumière UV :

- **Conditions A** : BM + (CuO)NPs + sans lumière pendant 30 minutes.
- **Conditions B** : BM + (CuO)NPs + irradiation UV pendant 30 minutes \*4 fois.



Une quantité de 2 ml de solution à été prenez chaque 30 minute, la concentration résiduelle de chaque solution est ensuite déterminée par spectrophotométrie.





## *Chapitre IV*

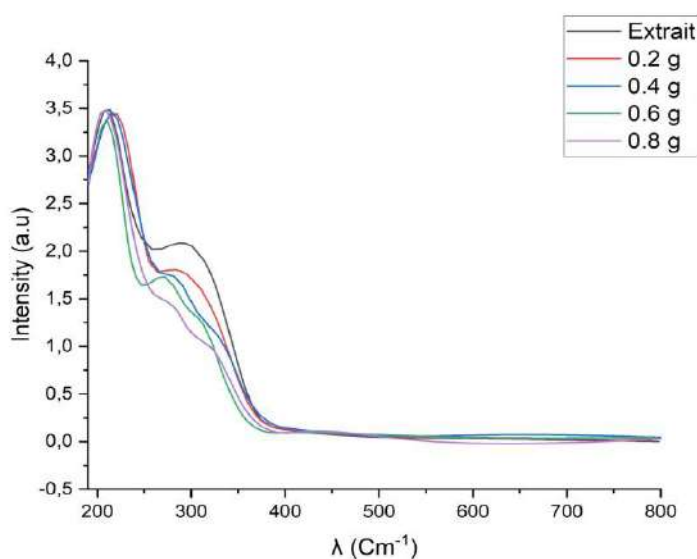
### *Résultats et Discussions*

## IV. Résultats et discussion

## IV.1. Caractérisation des nanoparticules d'oxyde de cuivre

## IV.1.1. UV –Visible

La formation des nanoparticules de CuONps a été suivie en mesurant le spectre UV-Visible du milieu réactionnel dans la gamme de longueur d'onde de 190 à 800 nm, les propriétés optiques de NPs synthétisées ont été étudiées en utilisant la spectroscopie UV-Visible et les spectres enregistrés sont montrés dans les figures suivantes :



**Figure IV.1** Spectre UV-visible d'échantillon synthétisée et l'extrait en utilisant les feuilles de Menthe pulegium.

Dans la figure IV.1 : représente la longueur d'onde d'absorption a différentes concentrations, on constate l'apparition d'une seule bande et sa diminution après ajout de la poudre d'oxyde de cuivre.

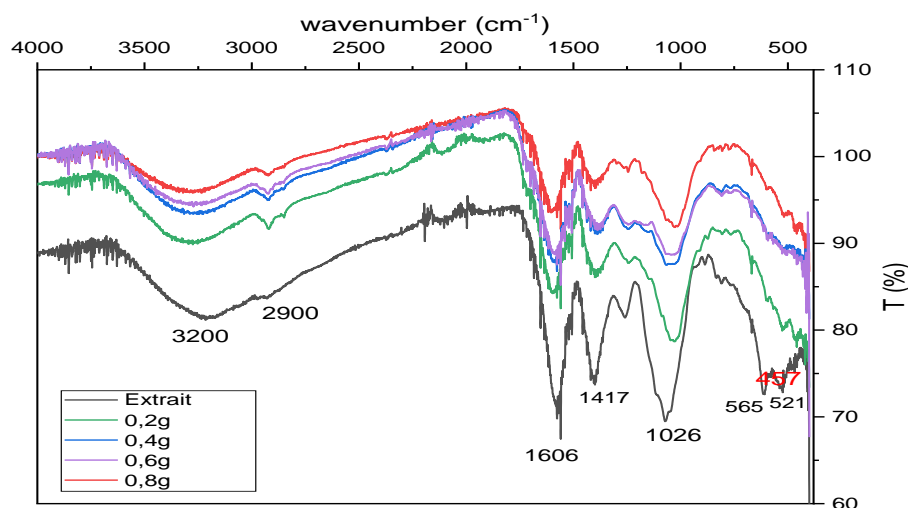
## IV.1.1.1. Discussions des résultats (UV-Vis) :

La remarque concerne une forte absorption pour les longueurs inférieures à 400 nm, cette absorption est due à l'électronique de transition entre les bandes. Notre résultat est similaire à l'absorption des fibres optiques entre 200 et 400 nm [10]. Après la comparaison des résultats, On peut dire que la spectroscopie UV- visible approuvé la possibilité de formation des nanoparticules d'oxyde de cuivre dans nos échantillons (*menthe pulegium*).

### IV.1.2. Caractérisation par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) :

L'analyse FT-IR a été utilisée à la fois pour l'extrait des plantes (*mentha pulegium*) et les poudres de nanoparticules d'oxyde de cuivre synthétisées afin d'identifier les biomolécules possibles responsables de la synthèse de (CuO)Nps.

L'étude FTIR a été effectuée par spectrophotomètre FTIR(Cary670) dans la gamme de fréquence 4000- 400  $\text{cm}^{-1}$  (Figure IV.2).



**Figure IV.2 Spectre FT-IR de l'extrait Menthe pulegium et des nanoparticules de cuivre synthétisées.**

Plusieurs bandes d'absorption ont été observées en analysant la poudre des CuONps synthétisées par l'extrait de la menthe pouliot. Il s'agit de bande à 3200, 2900, 1606, 1417, 1026 et 565, 521, 457  $\text{cm}^{-1}$ .

Selon le tableau des vibrations en infrarouge :

- ✓ La bande 3200 correspond à une vibration d'élongation des liaisons (O-H).
- ✓ La plage des vibrations d'élongation symétrique des liaisons (C-H) se trouve entre 2870 et 2960  $\text{cm}^{-1}$ , donc on peut dire que la bande 2900 correspond au groupement (C-H).
- ✓ La plage des vibrations d'élongation symétrique des liaisons (C=O) se trouve entre 1600 et 1850  $\text{cm}^{-1}$ , montre que la bande 1606 correspond au groupement (C=O).

- ✓ La bande  $1417\text{ cm}^{-1}$  correspond au groupement (C=C), après d'autre étude la bande correspond une vibration des liaisons (C=C) [40].
- ✓ La plage des vibrations d'élongation des liaisons (C-O) se trouve entre  $1000$  et  $1300\text{ cm}^{-1}$ , donc le pic  $1029\text{ cm}^{-1}$  confirmé la présence de groupement (C-O)
- ✓ Les bandes  $457, 521$  et  $565$  attribuée à la formation des sels (dans cette étude confirmer la Formation de CuONps).

La comparaison entre les spectres IR d'extrait de la menthe pouliot avant et après l'addition de Chlorure de cuivre montre que :

- ✓ Une diminution de l'intensité de la bande large de  $3200\text{ cm}^{-1}$  à  $2900\text{ cm}^{-1}$  qui représentent les groupements OH libre dans la molécule, cette groupement réagit de faire la réduction de  $\text{Cu}^{2+}$  en milieu réactionnel ce qui mène à la formation des Nanoparticules d'oxyde de cuivre selon le mécanisme réactionnel (figure III.5).
- ✓ On observe une apparition d'un pic  $1606\text{ cm}^{-1}$  correspond au groupement (C=O).
- ✓ Un apparition trois pics sont observés à  $565, 521$  et  $457\text{ cm}^{-1}$  attribués à la liaison Cu-Nps de Chlorure de Cuivre dihydraté.

#### IV.1.2.1 Discussions des résultats de spectre infrarouge (FT-IR) :

En comparant les spectres des nanoparticules d'oxyde de cuivre et le spectre des l'extraits de plante, nous observons une diminution significative de l'intensité des bandes à  $3200$  et  $2900\text{ cm}^{-1}$ .

Le spectre révèle la présence de dérivés du phénol dans les extraits de plantes en raison de la présence des groupes fonctionnels mentionnés dans la structure des polyphénols une liaison spéciale -OH [41]. Cela confirme notre hypothèse selon laquelle les polyphénols jouent un rôle clé dans la bio réduction des ions cuivre et la stabilisation des NPs d'oxydes de cuivre.

Le spectroscopie IR a permis de confirmer la formation des nanoparticules de cuivre après la réduction des ions  $\text{Cu}^{2+}$  par OH et ces résultats sont similaires à celui observé par d'autre étude [42].

cette résultats nous amène à proclamer que l'extrait de plantes au rôle principal dans la réduction des ions cuivre, puis la synthèse de Nanoparticule d'oxyde de cuivre [43].

IV.1.3. Diffraction des rayons X :

Le but de cette technique est de déterminer la taille de la poudre sous forme de nanoparticules d'oxyde de cuivre. La caractérisation DRX est réalisée à l'aide du diffractomètre BTX-716 d'une durée de 70 minutes et longueur d'ondes  $\lambda = 1.54060 \text{ \AA}$ .

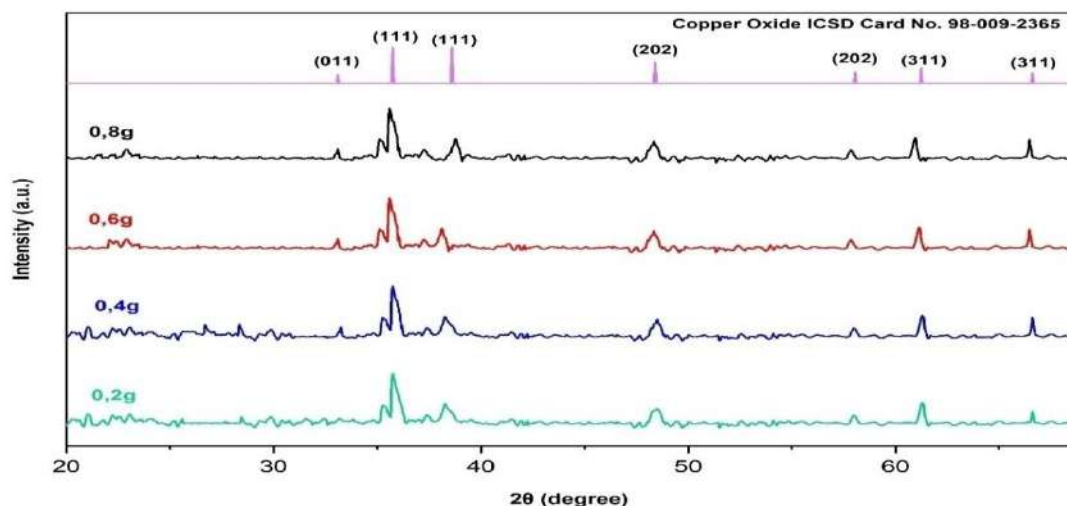


Figure IV.3 Diffractogramme XRD de nanoparticules de cuivre synthétisées par l'extrait de feuille de *Mentha pulegium*.

IV.1.3.1. Discussions des résultats DRX :

Pour calculer la taille des particules, en à utiliser le programme Origin Pro 2021 pour déterminer le diamètre de chaque pic et calcul de diamètre moyen de nos échantillons.

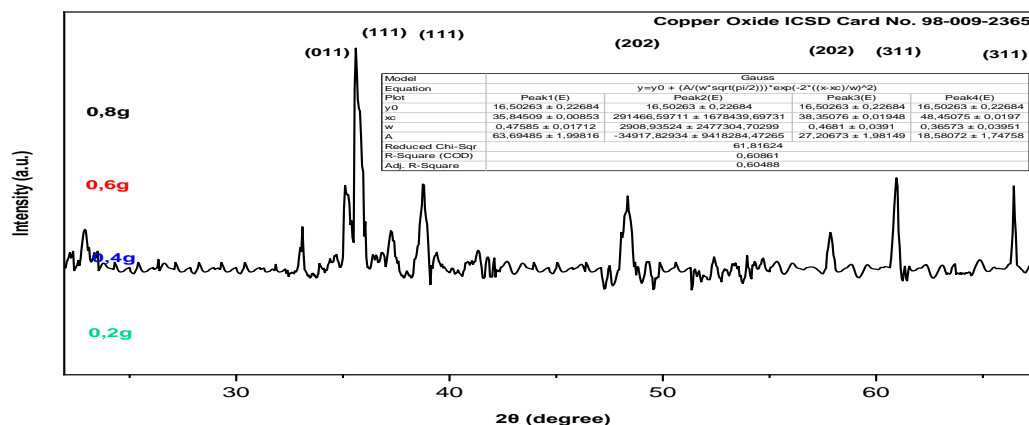


Figure IV.4 Illustration montrant les informations des pics les plus grands de MenthaPulegium(concentration de 0.8g/l).

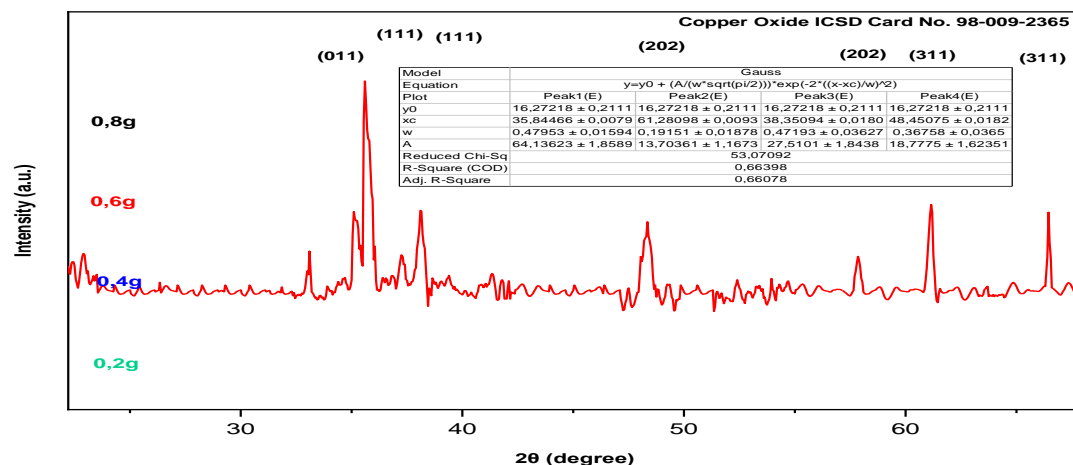


Figure IV.5 Illustration montrant les informations des pics les plus grands de MenthaPulegium (concentration de 0.6g/l).

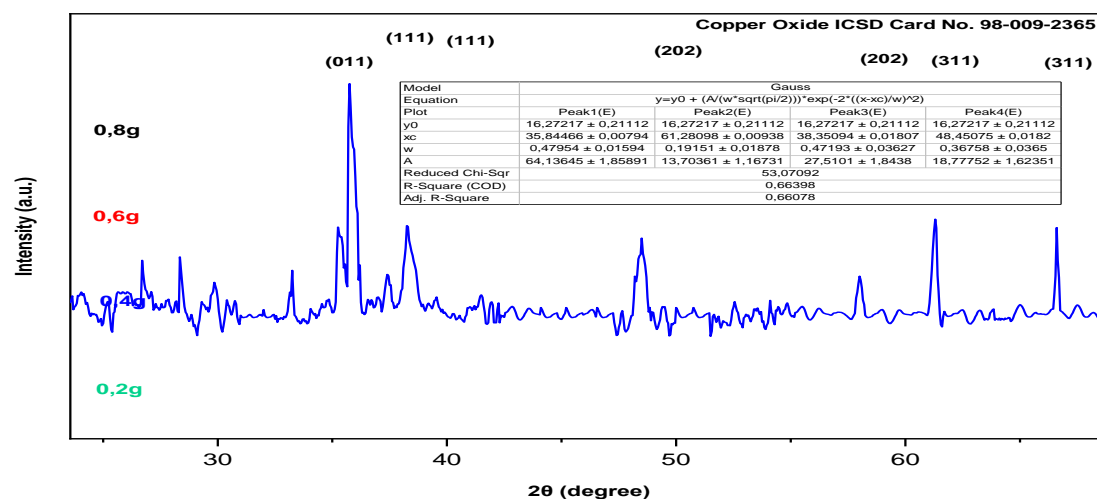


Figure IV.6 Illustration montrant les informations des pics les plus grands de Menthe Pulegium (concentration de 0.4g/l).

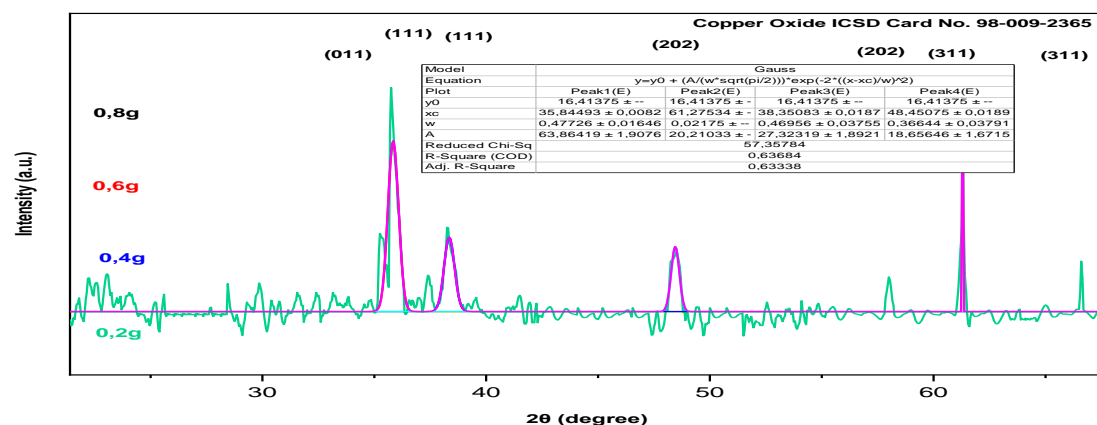


Figure IV.7 Illustration montrant les informations des pics les plus grands de Menthe Pulegium (concentration de 0.2g/l).

A l'aide de ces spectres et la loi de Bragg et l'équation de Scherrer on a calculé le diamètre de nanoparticules d'oxyde de cuivre :

$$D = \frac{\lambda K}{\beta \cos \theta} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

Où :

- **D** : La taille de la particule (nm).
- **K**: Constant sans dimension =0.9
- **λ**: Longueur d'onde des rayons X.
- **β** : FWHM (full width at half maximum) est la largeur à mi-hauteur de la raie de diffraction et on calcule par le programme origine (du pic XRD).
- **θ**: est la position du pic de diffraction considérée. Les distances sont exprimées en [Å] et les angles en radian (l'angle de Bragg).

#### IV.1.3.2. Calculer la taille de particule :

Exemple de calcul : le pic (01) dans la concentration de 0.8 g/l

$$X_c = 2\theta = 35.84509^\circ \Rightarrow \theta = X_c = \frac{X_c}{2} \Rightarrow X_c = \frac{35.84509}{2} = 17.09225^\circ$$

$$(\beta) = \text{FWHM} = 0.54785^\circ$$

$$\text{On a : } 1^\circ = 0.0174533 \text{ rad.}$$

$$\theta (^\circ) = 17.09225^\circ = 0.29831 \text{ rad}$$

$$B (^\circ) = 0.54785^\circ = 0,0095617 \text{ rad}$$

$$\lambda = 1.54060 \text{ \AA} = 0.154060 \text{ (nm)}$$

$$K = 0.9$$

Donc :

$$D = \frac{(0.9 * 0.154060)}{(0,0095617 * \cos(0.29831))} = 15,24041252 \text{ nm}$$

Alors la taille de particule en utilisant l'équation de Scherrer est égale à : 15,24041252(nm)

Le diamètre moyen :(la concentration de 0.8 g/l)

$$\frac{15,24041252+16,84247479+22,12177423+25.36475633+30,92015816+ 39.36547896}{6}$$

$$= 24,781204\text{nm}$$

D'après les figures, nous avons procéder le même calcul précédent pour déterminer la taille de particule synthétisées par l'extrait de feuille de Menthe pulegium dans les autres concentration 0.6,0.4,0.2 g/l .

**Tableau IV-1** Résultats de Calcule de la taille de particule synthétisée par l'extrait de feuille de Menthe pulegium.

C (m)	N° pic	Xc=2θ	Θ (°)	Θ (red)	B (°)	B (red)	Λ (nm)	K	D (nm)	DMOY (nm)
0.8	1	35.845	17.092	0.2983	0.5478	0,00956	0.15406	0.9	15,2401	24,781204
	2	38.702	19.351	0.3377	0.4999	0,00872			16,8424	
	3	48.324	24.162	0.4217	0.3936	0,00686			22,1217	
	4	58.008	28.365	0.5491	0.3276	0,00397			25.3647	
	5	62.930	31.465	0.5936	0.3063	0.00236			30,9201	
	6	66.610 37	33.305	0.5996	0.3652	0.00256			39.3654	
0.6	1	35.844 66	17.922	0.3140 19	0.5646	0,00985	0.15406	0.9	14,7879	28.011666 6
	2	38.350 94	19.175	0.3345 7	0.4795	0,00836			17,5399	
	3	48.450 75	24.225	0.4228 06	0.3811	0,00665			22,8586	
	4	58.008 45	29.004	0.4526 3	0.2536	0.00256			29,9501	
	5	61.280 98	30.640	0.5347	0.2254	0,00393			40,9501	
	6	66.610	33.302	0.5236	0.2365	0.00375			42.3333	
	1	35.844	17.922	0.3127	0.5556	0,00969			15,0264	31,655395



0.4		66		63			0.15406	0.9		42,713095
	2	38.350 94	19.175	0.3345 79	0.4927	0,00860			17,0680	
	3	48.450	24.225	0.4227 18	0.3327	0,00580			26,1769	
	4	58.001 46	29.087	0.4523 6	0.3652	0.00526			38,9501	
	5	61.280	30.640	0.5347	0.2254	0,00393			44.3663	
	6	66.594 33	33.623	0.5263 9	0.2365	0.00253			48.3632	
0.2	1	35.844 93	17.922	0.3127 63	0.5528	0,00964	0.15406	0.9	15,1020	42,713095
	2	38.350 83	19.175	0.3345 79	0.4020	0,00701			20,9212	
	3	48.450 75	24.225	0.4222 2	0.3201	0,00558			27,2147	
	4	58.275 41	30.637	0.5345 9	0.2117	0,00369			40.3325	
	5	61.236	30.652	0.5362	0.2142	0.00336			43.5235	
	6	66.324	33.245	0.5263	0.2133	0.00354			58.1552	

A partir de l'échelle nanométrique, On a remarqué que nos résultats sont dans l'intervalle nanométrique.  $1 \text{ nm} \leq D \leq 100 \text{ nm}$  la taille de ces nanoparticules se change inversement avec la concentration de cuivre (plus la concentration de particules est petite, plus le diamètre nanométrique est grand).

Lorsque la concentration massique des nanoparticules augmente dans une expérience de DRX, on observe une diminution de la taille apparente des nanoparticules CuO, Cela peut s'expliquer par l'apparition de fusion de nanoparticules en raison de l'apparition de collisions causées par la concentration massique élevée de particules, la fusion des particules entraîne une diminution de la taille apparente des particules individuelles lorsqu'elle est observée par diffusion des rayons X. Ce phénomène est appelé le phénomène de coalescence [44].

## IV.2. Test photocatalytique :

Lors de ce travail, une étude de l'absorption du bleu de méthylène à partir de nanoparticules synthétisé, rappelons que notre objectif est de contribuer à la recherche de nouveaux matériaux pour le traitement des eaux polluées.

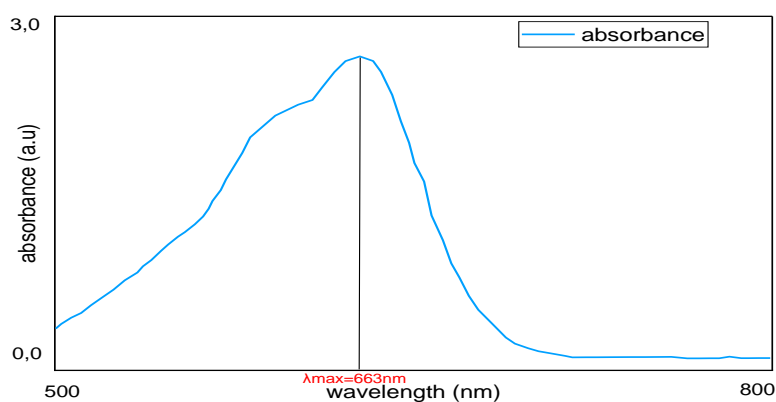
Dans cette partie, nous présentons les résultats d'une étude qui a pour but l'évaluation de la capacité d'adsorption des nanoparticules d'oxyde de cuivre. Nous avons utilisé le bleu de méthylène comme polluant.

Pour mener notre étude nous avons dans un premier temps, préparé les nanoparticules, nous avons ensuite mis en contact des quantités bien précises des nanoparticules avec des solutions de bleu de méthylène dans l'eau déminéralisée. pour connaitre l'impact de la concentration des nanoparticules d'oxyde de cuivre sur l'adsorption du bleu de méthylène et pour déterminer les meilleures conditions, nous avons examiné l'effet de divers paramètres, y compris le temps et la lumière.

### IV.2.1. Test d'absorption BM par le spectroscopie UV-visible :

Le spectre d'absorption en UV-visible (Figure IV-8) du BM a été obtenu par un balayage Spectral, entre 500 et 800 nm, d'une solution de colorant à 10mg/L. Ce spectre montre bien que la longueur d'onde du maximum d'absorption du BM est de 663nm.

Donc, La détermination de la concentration résiduelle du colorant est effectuée grâce Spectrophotomètre UV-Visible à la longueur d'onde de 663 nm.



**Figure IV.8 :** Spectre UV-visible du bleu de méthylène.

### IV.2.2. courbe d'étalonnage du bleu de méthylène :

Les solutions utilisées pour établir la courbe d'étalonnage Absorbance =f (concentrations) de BM sont obtenues par dilution d'une solution mère du bleu de méthylène. (Figure IV-9)

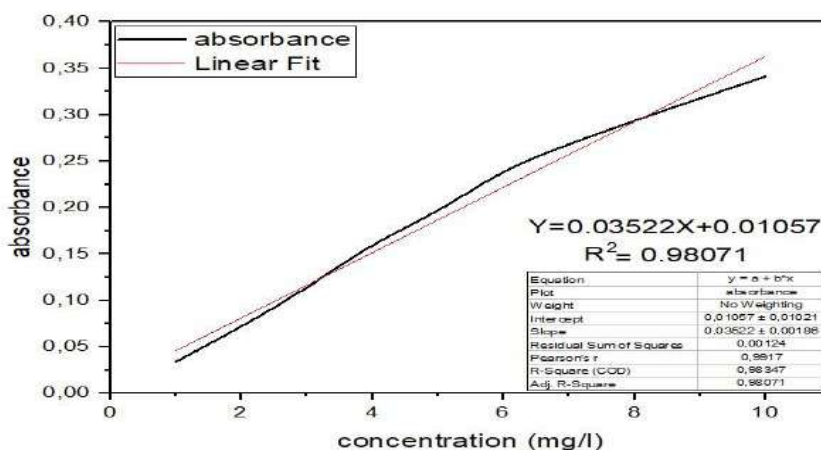


Figure IV.9 : Courbe d'étalonnage de bleu de méthylène.

### IV.2.3. Formule de calcul :

Pour déterminer les concentrations résiduelles de BM dans la phase liquide à l'instant (t), on utilise l'équation linéaire suivante :

$$Y=0.03522 x +0.01057$$

Y : l'absorbance (A) à l'instant (t)

X : le rendement résiduelle de BM à l'instant (t)

#### ► effet de concentration + temp

Tableau IV-2 Résultats de L'absorption du bleu de méthylène en fonction de la concentration des nanoparticules d'oxyde de cuivre.

Temps/Abs	0,2g	0,4g	0,6g	0,8g
30 min (Sans lumière)	3,405	3,402	3,3	3,221
60 min	3,202	3,35	3,25	3,219
90 min	3,011	3,225	3,177	3,111
120 min	2,997	2,901	2,82	2,471
150 min	2,721	2,692	2,617	2,101

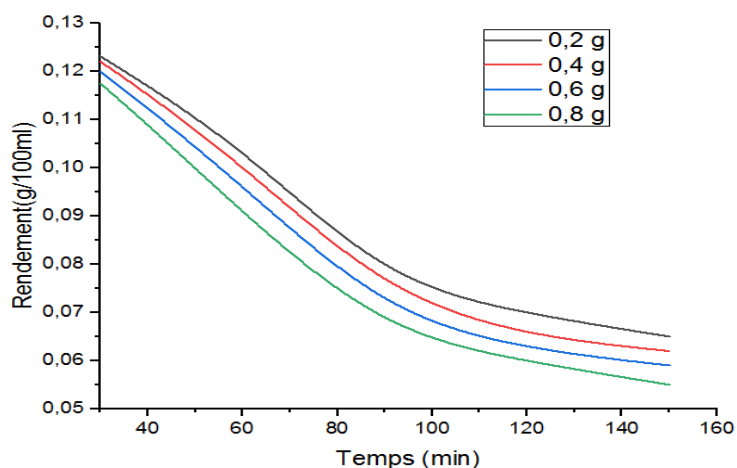
A partir des valeurs ci-dessus, nous avons extrait la concentration de BM en fonction de temps via la méthode de projection dans la courbe d'étalonnage de bleu de méthylène (Figure IV- 9) et nous avons obtenu les résultats suivants :

**Tableau IV-3 Résultats de rendement du bleu de méthylène en fonction de temps**

Temps/ C <sub>massique</sub>	Rendement			
	0,2	0,4	0,6	0,8
<b>30 min (Sans lumière)</b>	0,12314	0,12205	0,1199	0,1175
<b>60 min avec irradiation</b>	0,103	0,1	0,096	0,091
<b>90 min avec irradiation</b>	0,08	0,077	0,073	0,069
<b>120 min avec irradiation</b>	0,07	0,066	0,063	0,06
<b>150 min avec irradiation</b>	0,065	0,062	0,059	0,055

**Remarques :** Ces valeurs ont été trouvées après compensation dans l'équation :

$$Y=0.03522 x +0.01057$$



**Figure IV.10** Variation de rendement d'absorption du BM en fonction du temps.

Dans la courbe de rendement d'absorption du BM en fonction du temps. Nous remarquons que le rendement de colorant diminue progressivement au fil du temps (plus la concentration de CuONPs est grande, plus le rendement de BM est faible).

De l'observation, nous concluons que la concentration massique de nanoparticules contribue à réduire la présence de BM

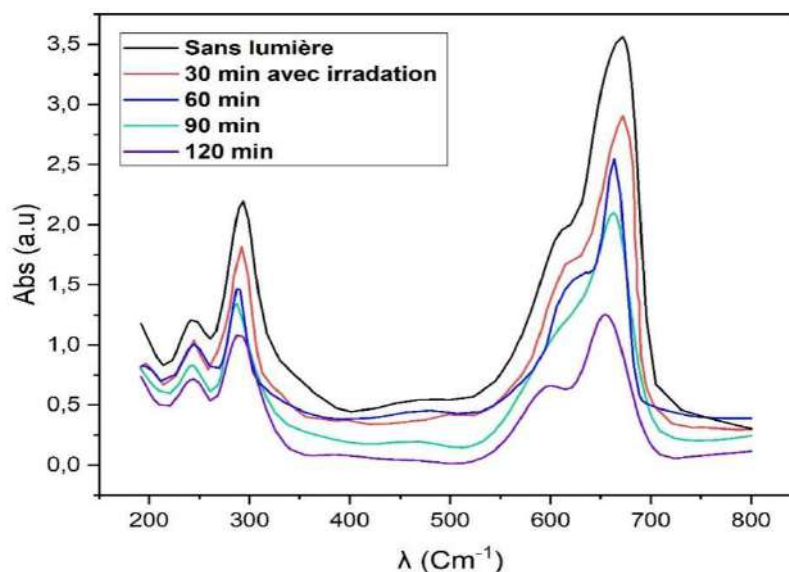
Donc à partir la figure IV-10, nous concluons que la masse optimale de (CuO)Nps pour absorber les colorants est 0.8g.



**Figure IV.11** Changement de couleur des quatre solutions selon la dégradation photocatalytique du BM en présence de(CuO)Nps.

Il y a une diminution de l'intensité de la couleur bleue de la solution en présence de molécules d'oxyde de cuivre, ce qui indique l'efficacité des concentrations de molécules d'oxyde de cuivre dans l'adsorption du bleu de méthylène grâce à sa grande surface spécifique et ses propriétés de surface uniques[45].

► **L'effet de lumière**



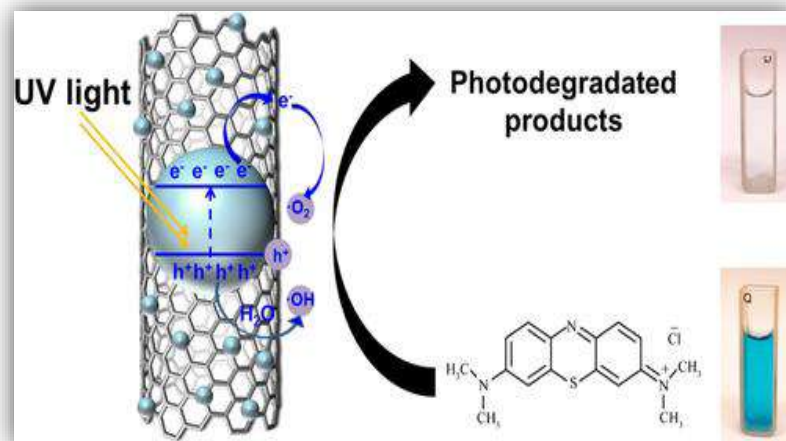
**Figure IV.12** Balayage de la solution de BM en présence de CuONps (0.8g) en fonction de temps d'exposition aux radiations UV.

Dans la figure IV.12. on remarque la diminution des bandes dans l'intervalle 600 à 700 au fil de temps et en présence de radiations UV.

Ce résultat nous permet de conclure que la photocatalyse permet une dégradation complète de ce colorant [46].

Lorsque le bleu de méthylène est exposé au rayonnement ultraviolet, il absorbe l'énergie des photons ultraviolets et entre dans un état excité électroniquement, ce qui conduit à sa décomposition en produits chimiques moins colorés ou incolores.

Le mécanisme exact de la photolyse du bleu de méthylène peut varier en fonction de certaines conditions, telles que la concentration du colorant, la longueur d'onde ultraviolette et la présence d'autres substances dans l'eau [47].



**Figure IV.13** Photodégradation de BM en présence de lumière UV.

Enfin, à partir des résultats obtenus Lorsque vous exposez de l'eau contenant du bleu de méthylène à la lumière ultraviolette (UV) en présence de nanoparticules de CuO (oxyde de cuivre), plusieurs processus peuvent se produire, ce qui peut contribuer à l'élimination du bleu de méthylène de l'eau. Voici quelques-uns des effets possibles :

**a-Photodégradation:** La lumière UV a la capacité de décomposer le bleu de méthylène en raison de son énergie élevée. Lorsque les photons UV frappent les molécules de bleu de méthylène, elles peuvent se décomposer en produits moins toxiques ou plus facilement éliminables [48].

**b-Génération de radicaux libres:** Lorsque les nanoparticules de CuO sont exposées à la lumière UV, elles peuvent générer des radicaux libres tels que les radicaux hydroxyles ( $\text{OH}\cdot$ ). Ces radicaux sont très réactifs et peuvent réagir avec le bleu de méthylène, le dégradant en composés moins nocifs [45, 49].

**c-Adsorption :** Les nanoparticules de CuO ont une grande surface spécifique, ce qui signifie qu'elles peuvent adsorber le bleu de méthylène de l'eau[45].L'adsorption est un processus par lequel les molécules du colorant sont piégées ou retenues à la surface des nanoparticules, ce qui réduit leur concentration dans l'eau.

**d-Catalyse :** Les nanoparticules de CuO peuvent agir comme catalyseurs lors de la dégradation du bleu de méthylène[50]. En présence de lumière UV, ces particules peuvent accélérer les réactions chimiques impliquées dans la dégradation du colorant, ce qui favorise son élimination.

Il convient de noter que l'efficacité de l'élimination du bleu de méthylène dépend de plusieurs facteurs, tels que la concentration initiale du colorant, la concentration des nanoparticules de CuO, l'intensité de la lumière UV, la durée de l'exposition...etc. Des études expérimentales spécifiques devraient être menées pour évaluer et optimiser ces paramètres dans le contexte de l'élimination du bleu de méthylène de l'eau en utilisant des nanoparticules de CuO et la lumière UV.



## *Conclusion générale*

Les travaux présentés dans ce mémoire portent sur le développement de nanoparticules de cuivre en vue de remplacer l'utilisation des réducteurs chimiques. A cet effet, nous avons choisi une plante aromatique qui est *Mentha pulegium* afin de mettre en oeuvre la fabrication de nanoparticules à effet biologiques.

De plus, la caractérisation approfondie des nanoparticules de CuO permet de comprendre leur structure, leur taille, leur morphologie et leurs propriétés catalytiques avec des techniques telles que la diffraction des rayons X (DRX) et la spectroscopie infrarouge (IR) et la spectroscopie ultraviolette visible (UV-Vis)

Les nanoparticules de CuO obtenues par une méthode de synthèse verte présentent plusieurs avantages. Tout d'abord, elles sont produites en utilisant des réactifs respectueux de l'environnement, tels que des extraits de plantes tels que: l' extrait de plante avec différentes concentrations d'Oxyde de cuivre . Cela réduit considérablement l'impact sur l'écosystème et la santé humaine, comparé aux méthodes de synthèse traditionnelles qui utilisent souvent des produits chimiques toxiques.

Les spectres UV-Vis ont montré une absorption maximale dans la plage de 200 à 400nm. La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) a été utilisée pour confirmer l'existence de divers groupes fonctionnels responsables de la réduction et de la stabilisation au cours du processus de biosynthèse. Le résultat des spectres présente un faible pic à 457,521 et 565 cm<sup>-1</sup> attribués à la vibration des (CuO)Nps, confirmant la formation de nanoparticules. L'analyse par diffraction des rayons X (XRD) a confirmé la nature cristalline des (CuO)Nps avec une taille moyenne comprise entre 24 et 41 nm.

Les résultats de la dégradation du bleu de méthylène ont démontré l'efficacité de l'utilisation de lumière UV et des nanoparticules de CuO et nous concluons que la masse optimale de (CuO)Nps pour absorber les colorants est 0.8g.

Nous avons conclu aussi lorsqu'il est exposé radiations UV, le bleu de méthylène peut subir une photodégradation. Les photons UV ont une énergie élevée, ce qui leur permet de rompre les liaisons chimiques dans la molécule de bleu de méthylène.

En conclusion, la synthèse verte de nanoparticules de CuO et leur caractérisation offrent une approche respectueuse de l'environnement et efficace pour la dégradation du bleu de méthylène. Cette méthode présente un grand potentiel pour le traitement des eaux usées industrielles contenant ce colorant toxique. Cependant, des études supplémentaires sont

## **Conclusion générale**

nécessaires pour explorer davantage les mécanismes impliqués dans la dégradation et optimiser les conditions de réaction afin d'améliorer encore l'efficacité et la durabilité de ce processus.

# *Références bibliographique*

### Références bibliographiques :

1. Leon, L., E.J. Chung, and C. Rinaldi, *A brief history of nanotechnology and introduction to nanoparticles for biomedical applications*, in *Nanoparticles for Biomedical Applications*. 2020, Elsevier. p. 1-4.
2. Abdel-Haleem, F.M., et al., *t-Butyl calixarene/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>@ MWCNTs composite-based potentiometric sensor for determination of ivabradine hydrochloride in pharmaceutical formulations*. *Materials Science and Engineering: C*, 2020. **116**: p. 111110.
3. Rastogi, A., et al., *Biological synthesis of nanoparticles: An environmentally benign approach*, in *Fundamentals of Nanoparticles*. 2018, Elsevier. p. 571-604.
4. Said, M.M., et al., *Multifunctional hydroxyapatite/silver nanoparticles/cotton gauze for antimicrobial and biomedical applications*. *Nanomaterials*, 2021. **11**(2): p. 429.
5. Singh, J., et al., *'Green' synthesis of metals and their oxide nanoparticles: applications for environmental remediation*. *Journal of nanobiotechnology*, 2018. **16**(1): p. 1-24.
6. Alara, O.R., et al., *Metabolic profiling of flavonoids, saponins, alkaloids, and terpenoids in the extract from Vernonia cinerea leaf using LC-Q-TOF-MS*. *Journal of Liquid chromatography & related technologies*, 2018. **41**(11): p. 722-731.
7. Szakiel, A., C. Pączkowski, and M. Henry, *Influence of environmental abiotic factors on the content of saponins in plants*. *Phytochemistry Reviews*, 2011. **10**: p. 471-491.
8. Sadi, L., A. Zenguila, and H. LAKSACI, *Biosynthèse et caractérisations de l'oxyde de Cuivre. Application dans la dégradation d'un composé organique*. 2022, UNIVERSITE AHMED DRAIA-ADRAR.
9. Bouhalata, R., H. Ghouar, and L. Aouar, *Activités biologiques des nanoparticules*. 2021.
10. KHEMISSAT, G. and M. ALLOUNE, *Synthèse verte et caractérisation des nanoparticules à l'aide de d'extrait de menthe*. Université KASDI-MERBAH Ouargla.

## Références bibliographiques

11. Ayachi, A.A. and S. Boudjadar, *Synthèse des nanoparticules d'oxydes métalliques pour des applications photocatalytiques solaires*. 2017.
12. BARANI, D., *Optimisation des conditions opératoires de synthèse verte de nanoparticules de ZnO à l'aide d'extrait des feuilles de Phoenix Dactylifera. L.* 2020, Université Mohamed Khider-Biskra.
13. Bekhti, W., *Synthèse par voie hydrothermale et caractérisation des micro/nanostructures d'Oxyde de Zinc*. 2015, Lyon 1.
14. سمير, et al., *Synthèse verte de nanoparticules d'argent*. 2020.
15. Galey, L., *Comprendre les situations d'exposition aux nanoparticules par l'intégration de l'activité de travail à la mesure: Vers une construction de la prévention*. 2019, Bordeaux.
16. Li, X., et al., *Biosynthesis of nanoparticles by microorganisms and their applications*. Journal of nanomaterials, 2011. **2011**: p. 1-16.
17. Hubbs, A., et al., *Nanoparticulates*, in *Haschek and Rousseaux's Handbook of Toxicologic Pathology*. 2013, Elsevier. p. 1373-1419.
18. Prosie, F., F.-X. Lesage, and F. Deschamps, *Nanoparticules: structures, utilisations et effets sur la santé*. La Presse Medicale, 2008. **37**(10): p. 1431-1437.
19. Ricaud, M. and O. Witschger, *Les nanomatériaux: Définitions, risques toxicologiques, caractérisation de l'exposition professionnelle et mesures de prevention Institut National de Recherche et de Sécurité*. 2012, INRS.
20. Lacombe, G., *Définition et réalisation d'une nouvelle génération de logiciel pour la conception des moteurs du futur*. 2007, Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG.
21. MAKHLOUFI, N., *Étude électrochimique des dépôts de Cobalt préparés par électrodéposition*. 2020.
22. Kerour, A. and S. Boudjadar, *Synthèse écologique des nanoparticules des oxydes de cuivre et application photocatalytique*. 2018, Université Frères Mentouri-Constantine 1.
23. Lerat, S., *Le cuivre dans le monde (premier article)*. Les Cahiers d'Outre-Mer, 1960. **13**(50): p. 200-226.

## Références bibliographiques

24. Cherief, F., A. Chebbi, and F.E. Brahmi, *Biosynthèse de nanoparticules à base d'extrait de plantes et la caractérisation de leurs activités biologiques*. 2018.
25. Blumenthal, M., A. Goldberg, and J. Brinckmann, *Herbal medicine. Expanded commission E monographs*. 2000: Integrative Medicine Communications.
26. Najem, M., L. Nassiri, and J. Ibjibijen, *Vernacular names of plants between diversity and potential risks of confusion: Case of toxic plants used in medication in the central Middle Atlas, Morocco*. J Pharm Pharmacogn Res, 2021. **9**(2): p. 222-250.
27. Elias, T.S. and P.A. Dykeman, *Edible wild plants: a North American field guide to over 200 natural foods*. 2009: Sterling Publishing Company, Inc.
28. Debbab, A., et al., *Bioactive metabolites from the endophytic fungus *Stemphylium globuliferum* isolated from *Mentha pulegium**. Journal of natural products, 2009. **72**(4): p. 626-631.
29. Politeo, O., et al., *Phytochemical composition, antioxidant potential and cholinesterase inhibition potential of extracts from *Mentha pulegium* L.* Chemistry & biodiversity, 2018. **15**(12): p. e1800374.
30. Hemaïdi, M. and I.E. Benterrouche, *Contribution à l'étude phytochimique et évaluation de l'activité biologique de *Myrtus communis* L. et *Mentha pulegium* L.* 2020, Université de Jijel.
31. Stinson-Bagby, K.L., et al., *Silver nanoparticle pulsed synthesis and attachment to cellulose nanocrystals*. ACS Applied Nano Materials, 2019. **2**(4): p. 2317-2324.
32. Lin, P.-C., et al., *Techniques for physicochemical characterization of nanomaterials*. Biotechnology advances, 2014. **32**(4): p. 711-726.
33. Mighri, H., et al., *Antimicrobial and antioxidant activities of *Artemisia herba-alba* essential oil cultivated in Tunisian arid zone*. Comptes Rendus Chimie, 2010. **13**(3): p. 380-386.
34. التجاني, et al., *Synthèse de nanoparticules de ZnO par l'extrait des feuilles de *Phoenix Dactylifera* L.* 2018.
35. Shankar, S.S., et al., *Rapid synthesis of Au, Ag, and bimetallic Au core-Ag shell nanoparticles using *Neem (Azadirachta indica)* leaf broth*. J Colloid Interface Sci, 2004. **275**(2): p. 496-502.

## Références bibliographiques

36. Sangaru, S.S., et al., *Bioreduction of chloroaurate ions by Geranium leaves and its endophytic fungus yields gold nanoparticles of different shapes*. Journal of Materials Chemistry, 2003. **13**: p. 1822-1826.
37. Kumar, V. and S.K. Yadav, *Plant-mediated synthesis of silver and gold nanoparticles and their applications*. Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology, 2009. **84**(2): p. 151-157.
38. Shah, M., et al., *Green synthesis of metallic nanoparticles via biological entities*. Materials, 2015. **8**(11): p. 7278-7308.
39. SADOUKI, O. and Z. MEHIRIS, *Caractérisation et activité antioxydante des nanoparticules synthétisées à partir d'extrait aqueux de deux plantes aromatiques*. Université KASDI-MERBAH Ouargla.
40. Obeizi, Z., H. Benbouzid, and D. Abdelghani, *Évaluation de l'activité antibactérienne et anti-biofilm des nanoparticules de dioxyde d'étain (SnO<sub>2</sub>)*. 2021.
41. Nasrollahzadeh, M., M. Maham, and S.M. Sajadi, *Green synthesis of CuO nanoparticles by aqueous extract of Gundelia tournefortii and evaluation of their catalytic activity for the synthesis of N-monosubstituted ureas and reduction of 4-nitrophenol*. Journal of colloid and interface science, 2015. **455**: p. 245-253.
42. Elkaiem, A. and A. Chari, *Contribution au Développement des Matériaux Nano-Composites à Base de ZnO et Polymère Etude Structural et Optique*. 2017.
43. BOUAFIA, A., *Optimisation de biosynthèse des nanoparticules d'oxyde de fer par l'utilisation de différents extraits des plantes et évaluation de leur activité biologique*. 2022, Universty of Eloued جامعة الشهيد حمه لخضر.
44. Li, T., A.J. Senesi, and B. Lee, *Small Angle X-ray Scattering for Nanoparticle Research*. Chem Rev, 2016. **116**(18): p. 11128-80.
45. Mahanta, U., M. Khandelwal, and A.S. Deshpande, *TiO<sub>2</sub>@ SiO<sub>2</sub> nanoparticles for methylene blue removal and photocatalytic degradation under natural sunlight and low-power UV light*. Applied Surface Science, 2022. **576**: p. 151745.
46. Lazoul, L., *Synthèse et caractérisation des nanoparticules hybrides à base de ZnO (Application en photocatalyse)*. 2017, UMMTO.



## Références bibliographiques

47. Barka, N., et al., *Photocatalytic degradation of indigo carmine in aqueous solution by TiO<sub>2</sub>-coated non-woven fibres*. Journal of hazardous materials, 2008. **152**(3): p. 1054-1059.
48. Laoubi, C. and H. Nacer, *La dégradation du bleu de méthylène par la photocatalyse hétérogène (tiO<sub>2</sub>/ultraviolet)*. 2017.
49. Albiss, B. and M. Abu-Dalo, *Photocatalytic Degradation of Methylene Blue Using Zinc Oxide Nanorods Grown on Activated Carbon Fibers*. Sustainability, 2021. **13**(9): p. 4729.
50. Sankar, R., et al., *Green synthesis of colloidal copper oxide nanoparticles using Carica papaya and its application in photocatalytic dye degradation*. Spectrochimica acta. Part A, Molecular and biomolecular spectroscopy, 2014. **121**: p. 746-50.

# ***ANNEXE***

## Annexe 1 : Tables des vibrations en INFRAROUGE

Groupement	Liaison	Nombre d'Onde	Vibration	Bande
Alcools primaires	O-H	3640	Elongation	intense et large
Alcools secondaires	O-H	3630	Elongation	intense et large
Alcools tertiaires	O-H	3620	Elongation	intense et large
Acides	O-H	3550-3500	Elongation	Intense et très large
Amines primaires	N-H	3500	élongation asymétrique	Faible
		3410	élongation symétrique	Faible
Amides primaires	N-H	3500	élongation asymétrique	faible faible
		3400	élongation symétrique	
Amines secondaires	N-H	3350-3310	Elongation	Faible
Amides secondaires	N-H	3400-3300	Elongation	Faible
□ C-H (alcynes)	C-H	3340-3300	Elongation	moyenne et fine
Aromatiques	C-H	3080-3030	Elongation	Moyenne
=CH <sub>2</sub> (alcènes)	C-H	3080	élongation asymétrique	moyenne moyenne
		2975	élongation symétrique	

**Annexe**

-CH <sub>3</sub> (alcanes)	C-H	2960	élongation asymétrique	Forte
		2870	élongation symétrique	Moyenne
-CH <sub>2</sub> -	C-H	2925 2850	élongation asymétrique  élongation symétrique	forte forte
-C-H	C-H	2890	Elongation	Faible
Aldéhydes	C-H	2830-2720	élongation asymétrique	Faible
		2650	élongation symétrique	Moyenne
Nitrile	-C≡N	2260-2210	Elongation	moyenne à forte
C≡C	C≡C	2150-2100	Elongation	Faible
Aromatiques	C-H	2000-1660 plusieurs bandes	harmonique des déformations C-H	Faible
Aldéhydes aliphatiques	C=O	1740-1720	Elongation	Forte
Aldéhydes aromatiques	C=O	1715-1695	Elongation	Forte
Cétones aliphatiques	C=O	1725-1705	Elongation	Forte
Acides	C=O	1800-1740	Elongation	Forte
Esters aliphatiques	C=O	1750-1730	Elongation	Forte
Cétones aromatiques	C=O	1700-1670	Elongation	Forte

**Annexe**

Amides secondaires	C=O	1700-1630	Elongation	Forte
Amides primaires	C=O	1690-1620	Elongation	Forte
C=C	C=C	1645	Elongation	Moyenne
Aromatiques	C=C	1600 et 1500	Élongation	Variable
Amines primaires	N-H	1640-1560	déformation cisaillement	forte à moyenne

Amines secondaires	N-H	1580-1490	déformation	très faible
Amides primaires	N-H	1650-1590	déformation	Moyenne
Amides secondaires	N-H	1570-1510	déformation	
-CH <sub>2</sub> -	C-H	1470	déformation cisaillement	Moyenne
-CH <sub>3</sub> (alcanes)	C-H	1460 1380	déformation asymétrique  déformation symétrique	Moyenne
-CH	C-H	1340	déformation	Faible
Alcools	O-H	1410-1330	déformation dans le plan	
Acides	O-H	1380-1280	déformation dans le plan	Moyenne
Amines	C-N	1230-1030	élongation	Moyenne
Amines aromatiques	C-N	1360-1180	élongation	moyenne à forte

**Annexe**

Esters	C-O	1300-1050	élongation 2 bandes	
Acides	C-O	1190-1075	élongation	Forte
Alcools tertiaires	C-O	1150	élongation	Variable
Ether	C-O	1150-1070	élongation	
Alcools secondaires	C-O	1100	élongation	Variable
Alcools primaires	C-O	1050	élongation	Variable
Aromatiques	C-H	900-700	déformation dans le plan bandes caractéristiques du type de substitution	Variable
Amine	N-H	900-650	déformation	moyenne et
primaire			torsion	Large
(CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>	C-H	725-720	déformation balancement n>4	Faible