



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة غرداية



حاضرة الأعمال جامعة غرداية

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم هندسة الطرائق

مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر في الهندسة الكيميائية في اطار القرار الوزاري 1275

شهادة تخرج- مؤسسة ناشئة / براءة اختراع

بعنوان :

توصيف جسيمات أكسيد النحاس النانوية انطلاقا من مستخلص نبات العطرشة.

تحت اشراف الاستاذ :

د. بوخاري حامد

من اعداد الطالبة :

حويشيتي نجاه

الموسم الجامعي : 2024/2023

**République Algérienne Démocratique**  
**Ministère de l'Enseignement supérieure de recherche scientifique**  
**Université de Ghardaia**



**Incubateur Université de Ghardaia**

**Faculté des science et technique**

**Département de génie des procédés**

**Mémoire présenté en vue de l'obtention de diplôme de MASTER en**

**Génie chimique dans le cadre de la résolution ministérielle 1275**

**Mémoire de fin d'étude – sturtup/ brevet**

**Thème :**

**Synthèse et caractérisation des nanoparticules d'oxyde de cuivre à partir d'un extrait de plante (Pelargonium graveolens).**

**Présenté par :**  
**Houichiti Nadjjet**

**l'encadrant :**  
**Dr. Boukhari Hamed**

**Année universitaire: 2023/2024**

## *Remerciement*

*Avec toute notre sincérité et notre gratitude, nous élevons nos remerciements les plus chaleureux à Dieu Tout-Puissant, qui nous a accordé la santé, la détermination et la volonté nécessaires pour réaliser ce modeste travail.*

*Nous exprimons notre encadrer au **Dr. Boukhari Hamed**, qui a accepté de nous superviser avec tant de générosité, d'attention et de soutien indéfectible. À la **Dr. Yasmine Khan**, qui nous a offert ses conseils précieux et ses recommandations avisées, rendant ce projet possible.*

*Nous adressons nos sincères remerciements aux membres de la commission de jury, **Dr. Mansouri Khaled** et **Dr. Feniche Fares**, qui ont honoré notre travail en l'évaluant, ainsi qu'à tous nos chers enseignants qui ont déployé tous leurs efforts pour transmettre leurs connaissances précieuses tout au long de notre parcours académique.*

*Nous apprécions également le soutien des membres du laboratoire, Mme **Imane Derbali** et Mme **Ben Nadir Salihah**.*

*Nous souhaitons exprimer notre gratitude aux membres et au directeur du Centre **CRAPS** de Laghouat pour leur accueil et leur bienveillance, ainsi que les employés de **Sonelgaz**.*

*Un grand merci à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail, et merci infiniment à vous tous.*

*Merci à tous à toutes.*

# إهداء

## الحمد لله حبا و شكرا و امتنانا على البدء و الختام

ها أنا أقف على عتبة تخرجني أفطف ثمار تعبي, فاللهم لك الحمد حتى ترضى و لك الحمد إذا رضيت بعد الرضا و لك الحمد بعد الرضا.

### بكل حب أهدي ثمرة نجاحي و تخرجي :

إلى الذي أحمل اسمه بكل فخر, من ساندني بلا حدود و أعطاني بلا مقابل, داعمي الأول, سندي و ملاذي و قوتي بعد الله تعالى : **والدي العزيز.**

إلى التي جعل الله الجنة تحت قدميها, من هونت علي الشدائد بأدعيتها و علمتني الصبر و العزيمة و أنارت دربي, ملجائي الدائم : **أمي الغالية.**

إلى من بهم أعتز و عليهم اعتمد, من كانوا لي سندا و داعما و منحوني القوة و ألهموني الصبر و شاركوني الحياة, إخوتي : **هاجر, عبد العزيز, عبد المؤمن.**

إلى صغير عائلتي و سبب فرحتها, ابن أختي **يحي** الذي أسأل الله أن يجعله من الصالحين البارين و حفظة كتابه الكريم. إلى روح فارقتنا و تركت لنا في القلب حنيننا لا يفارقنا, ابن أختي **أحمد** الذي أسأل الله أن يجمعنا به في جنات النعيم و أن يجعله ذخرا لوالديه يوم القيامة.

إلى رفيقات الدرب و صديقات العمر, من مدت أيديهم لي أوقات الضعف و من كن لي خير داعم و سند و دافع للنجاح صديقاتي : **هاجر, كوثر, مروة, لامية, ماجدة, سباح, كريمة و جماد.**

إلى أرواح الشهداء الخالدين الذين رووا بدمائهم ثرى فلسطين.

إلى زملائي الاعزاء, تخصص هندسة كيميائية دفعة 2024/2023

## Résumé :

Dans cette étude, des nanoparticules d'oxyde de cuivre ont été synthétisées de manière biologique et respectueuse de l'environnement, en utilisant l'extrait aqueux de la plante (*Pelargonium graveolens*) provenant du sud de l'Algérie (Ghardaïa), qui est utilisé comme agent réducteur et stabilisant en raison de la présence de composés phytochimiques dans l'extrait des feuilles. La formation des nanoparticules d'oxyde de cuivre a été confirmée par les résultats du microscope électronique à balayage (MEB), qui indiquent que les nanoparticules d'oxyde de cuivre (CuO-NPs) étaient de forme sphérique. De plus, les spectres EDX soutiennent également la formation des nanoparticules d'oxyde de cuivre (CuO-NPs). La nature et la taille cristalline des CuO-NPs ont été étudiées par la technique de diffraction des rayons X (DRX), et les résultats ont indiqué une structure monoclinique avec des tailles moyennes de 9.566 nanomètres.

**Mots clés :** Nanoparticules d'oxyde de cuivre, Synthèse biologique, *Pelargonium graveolens*, Nanoparticules.

---

## ***Abstract:***

In this study, copper oxide nanoparticles were synthesized in an environmentally friendly and biological manner, using the aqueous extract of the plant (*Pelargonium graveolens*) from southern Algeria (Ghardaïa), which is used as a reducing and stabilizing agent due to the presence of phytochemicals in the leaf extract. The formation of copper oxide nanoparticles was confirmed by scanning electron microscopy (SEM) results, which indicated that the copper oxide nanoparticles (CuO-NPs) were spherical in shape. Additionally, EDX spectra also supported the formation of copper oxide nanoparticles (CuO-NPs). The crystalline nature and size of the CuO-NPs were studied using X-ray diffraction (XRD) technique, and the results indicated a structure monoclinique with average sizes of 9.566 nanometers.

**Keywords :** Cuivre oxide nanoparticles, biological synthesis, *Pelargonium graveolens*, Nanoparticules.

## الملخص :

في هذه الدراسة تم تصنيع الجسيمات النانوية لأكسيد النحاس بطريقة بيولوجية صديقة للبيئة, و ذلك من خلال المستخلص المائي لنبات العطرشة ( *Pelargonium Gravolens* ) من جنوب الجزائر (غرداية) و الذي يستعمل كعامل اختزال و استقرار نظرا لوجود مواد كيميائية نباتية في مستخلص الاوراق. تم تأكيد تكوين الجسيمات النانوية لأكسيد النحاس عن طريق نتائج المجهر الالكتروني الماسح (MEB) و و التي تشير الى ان الجسيمات النانوية لأكسيد النحاس CuO-NPs كانت كروية الشكل, اضافة الى ان اطياف EDX تدعم ايضا تكوين الجسيمات النانوية لأكسيد النحاس CuO-NPs. تمت دراسة طبيعة و احجام CuO-NPs البلورية بواسطة نمط حيود الاشعة السينية (DRX) و اشارت النتائج الى هيكل احادي الميل بمتوسط احجام تبلغ **9.566** نانومتر.

**الكلمات المفتاحية :** الجسيمات النانوية لأكسيد النحاس,التصنيع البيولوجي, العطرشة, الجسيمات النانوية.

## LISTE DES ABREVIATIONS:

<b>A°:</b>	Angström.
<b>DRX:</b>	Diffraction des rayons X.
<b>EDX:</b>	Spectroscopie dispersive de Rayons X.
<b>MEB:</b>	Microscope électronique à balayage.
<b>CuO NPs:</b>	Nanoparticules d'oxyde de cuivre.
<b>pH:</b>	Potentiel d'Hydrogène.
<b>CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O:</b>	Anhydre Sulfate de cuivre.
<b>NaOH:</b>	Hydroxyde de sodium.
<b>NPs:</b>	Nanoparticules.
<b>Nm:</b>	Nanomètre.
<b>SA:</b>	Surface spécifique.
<b>UV – vis:</b>	Ultraviolet visible spectromètre.
<b>UV:</b>	Ultraviolet visible.
<b>(°) :</b>	Degré.

## LISTE DES FIGURES:

### Chapitre I: Etude bibliographique

<b>Figure I.1</b> : échelle des dimensions du visible à l'invisible.	9
<b>Figure I.2</b> : Nanomatériaux avec différentes morphologies.	10
<b>Figure I.3</b> : Exemples des nanomatériaux.	10
<b>Figure I.4</b> : Différentes classes de nanomatériaux en fonction de leur dimensionnalité.	11
<b>Figure I.5</b> : Image MEB du nano composite Cu-TiO <sub>2</sub> synthétisé.	12
<b>Figure I.6</b> : Formations d'agrégats et d'agglomérats réversibles ou non à partir de nanoparticules.	13
<b>Figure I.7</b> : Schéma récapitulatif des différents types de nanomatériaux.	14
<b>Figure I.8</b> : Gamme de tailles des nanoparticules comparées à celles des principales structures chimiques et biologiques.	15
<b>Figure I.9</b> : Nanoparticule Organique, a – Dendrites, b – Liposomes and c – micelles.	16
<b>Figure I.10</b> : Structure de base des nanoparticules inorganiques.	16
<b>Figure I.11</b> : Nanoparticules à base de carbone : a - Fullerènes, b - Graphène, c - Nanotubes de carbone, d- Carbone de nano fibres et e - noir de carbone.	17
<b>Figure I.12</b> : Méthodes de synthèse typiques des NP pour les approches (a) descendante et (b) ascendante.	21
<b>Figure I.13</b> : (A) Approche ascendante. (B) Approche descendante.	22
<b>Figure 1. 14</b> : Poudre noire de CuO.	26
<b>Figure I.15</b> : Structure cristalline d'oxyde de cuivre CuO.	31

### Chapitre II: Partie expérimentale

<b>Figure II.1</b> : Organigramme descriptif de la méthodologie de travail.	44
<b>Figure II.2</b> : Plante de <i>Pelargonium graveolens</i>	49
<b>Figure II.3</b> : Trichomes glandulaires et non glandulaires de <i>Pelargonium graveolens</i> .	52
<b>Figure II.4</b> : Préparation de l'extrait de plante <i>Pelargonium graveolens</i>	54
<b>Figure II.5</b> : Préparation de solution de sulfate de cuivre.	55
<b>Figure II.6</b> : Préparation de solution d'hydroxyde de sodium NaOH.	56
<b>Figure II.7</b> : Formation des CuO-NPs.	57
<b>Figure II.8</b> : Etape de centrifugation et calcination.	57
<b>Figure II.9</b> : nanoparticules d'oxyde de cuivre (CuNPs).	58
<b>Figure II.10</b> : Uviline UV-visible modèle 9400C.	59

<b>Figure II.11</b> : diffractomètre de modèle Malvern Panalytical.	60
<b>Figure II. 12</b> : Illustration de la loi de Bragg.	61
<b>Figure II.13:</b> Appareille de MEB couplé à l'EDX «SU3500 ».	63
<b>Figure II.14</b> : principe de fonctionnement de microscope à balayage (MEB).	64
<b>Figure II.15:</b> Schéma de principe d'une spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie.	65

### **Chapitre III: Résultats et discussions**

<b>Figure.III.1</b> : Spectre ultraviolet visible (UV-Vis) des CuO-NPs synthétisées.	72
<b>Figure III.2:</b> Analyse des nanoparticules CuO synthétisées avec de l'extrait de <i>p. graveolens</i> par DRX	73
<b>Figure III.3</b> : Images Meb des nanoparticules CuO synthétisées avec de l'extrait aqueux de <i>P. graveolens</i>	74
<b>Figure III. 4</b> : Spectre d'analyse EDX des nanoparticules CuO synthétisées avec de l'extrait aqueux de <i>p. graveolens</i> .	75
<b>Figure III.5</b> : Diffraction des rayons X des nanoparticules de CuO (chimique).	78
<b>Figure III.6</b> : Image au microscope électronique à balayage (MEB) des nanoparticules de CuO (chimique).	79
<b>Figure III.7</b> : Une représentation schématique du mécanisme de synthèse des nanoparticules métalliques dans un extrait végétal.	81

## LISTE DES TABLEAUX :

<b>Tableau I.1 :</b> Exemples des nanoparticules et ses applications, propriétés et fonctionnalités.	20
<b>Tableau I.2 :</b> Applications des nanotechnologies et des nanomatériaux en fonction des secteurs d'activité.	24
<b>Tableau I.3 :</b> Propriétés physiques de CuO.	29
<b>Tableau I.4 :</b> Propriétés chimiques de CuO.	30

### Chapitre II: Partie expérimentale

<b>Tableau II.1 :</b> classification de <i>Pelargonium graveolens</i> .	48
<b>Tableau II.2 :</b> Composition chimique de l'huile essentielle de <i>Pelargonium graveolens</i> .	53

### Chapitre III: Résultats et discussions

<b>Tableau III.1 :</b> Angle de diffraction, FWHM et diamètre des nanoparticules biologique.	73
<b>Tableau III.2:</b> Les compositions chimique d'échantillon synthétisées.	76
<b>Tableau III.3 :</b> Angle de diffraction, FWHM, Plan de diffraction de CuO-NPs chimique (méthode de précipitation).	78

## Sommaire:

Remercîment.

Dédicaces.

Résumé.

Liste des abréviations.

Listes des figures.

Liste des tableaux.

Introduction général

### **Chapitre I : Etude bibliographique**

I.1 Introduction	8
I.2 Définitions	8
I.2.1 Nanomonde	8
1.2.2 Nanoscience	8
1.2.3 Nanotechnologie	9
I.2.4 nanomatériaux	9
I.2.4.1 Les nano-objets	10
I.2.4.2 Les nanostructures des matériaux	12
I.3 Nanoparticules	14
I.3.1 La classification de nanoparticule	15
I.4 les Propriétés des nanoparticules	17
I.4.1 Propriétés thermiques	18
I.4.2 Propriétés optique	18
I.4.3 Propriétés de la structure	18
I.4.4 Propriétés mécanique	19
I.4.5 Propriétés magnétique	19
I.4.6 Propriétés électroniques	19
I.5 Méthodes de synthèse des nanoparticules	20
I.6 Applications des nanoparticules	22
I.6.1. Aéronautique et espace	22
I.6.2 Electronique et communications	23
I.6.3 Chimie et matériaux	23

I.6.4. Pharmacie, biomédical et biotechnologie	23
I.6.5. Cosmétique	23
I.6.6 Santé	24
I.6.7 Energie	24
I.6.8 Environnement et écologie	24
I.6.9 Défense	24
I.7 L'oxyde de cuivre	26
I.8 Méthodes de synthèse de nanoparticules de CuO	27
I.8.1 Procédés par voix physique	27
I.8.2 Procédés par voie chimique	27
I.8.3 La synthèse verte (biosynthèse)	28
I.9 Propriétés des nanoparticules d'oxydes de cuivre CuO	28
I.9.1 Propriétés physiques	28
I.9.2 Propriétés chimiques	29
I.9.3 Propriétés structurales	30
I.9.4 Propriétés électriques et magnétiques	31
I.9.5 Propriétés optiques	31
I.10 Application de nanoparticules de CuO	32
I.10.1 Application médicale	32
I.10.2 Cellules solaires	32
I.10.3 Application en catalyse	32
I.11 Conclusion	33
I.12 Références	34

## **Chapitre II: Partie expérimentale**

II.1 Introduction	43
II.2 objective du travail	43
II.3 Matériels utilisés	45
II.3.1 Matériels et produits chimiques	45
II.3.2 Matériel végétal	47
II.3.2.1 Histoire	47
II.3.2.2 Présentation de plante	48
II.4 Morphologie de la plante	49
II.4.1 L'appareil végétatif	50

II.4.1.1 Le système racinaire	50
II.4.1.2 La tige	50
II.4.1.3 Le système foliaire	50
II.4.1.4 Structure du poil sécréteur	50
II.5 Répartition géographique du géranium roast	51
II.6 Composition chimique de <i>Pelargonium graveolens</i>	52
II.7 Utilisation de <i>Pelargonium graveolens</i>	53
II.8 Mode opératoire	54
II.9 Méthodes de caractérisations des nanoparticules	58
II.9.1 Spectroscopie UV-visible	58
II.9. 2 Diffraction des rayons X (DRX)	59
II.9.3 Microscopie électronique à balayage (MEB)	62
II.9.4 Spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX)	64
II.10 Référence	66

### **Chapitre III : Résultats et discussions**

III.1 Introduction	71
III. 2 Caractérisation des nanoparticules d'oxyde de cuivre (CuONPs)	71
III.2.1 Les nanoparticules de synthèse biologiques	71
III.2.1.1 Spectroscopie UV-Vis	71
III.2.1.2 Diffraction des rayons X (DRX) :	72
III.2.1.3 Microscope électronique à balayage (MEB, SEM)	74
III.2.1.4 Spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX)	75
III.2.2 Les nanoparticules de synthèse chimique (méthode de précipitation)	76
III.2.2.1 Diffraction des Rayons X(DRX) des Nanoparticule CuO	77
III.2.2.2 Microscope électronique à balayage (MEB, SEM)	78
III.3 Comparaison se résultat de synthèse biologiques et chimiques de CuO-NPs	79
III.4 Mécanisme réactionnelle	80
III.5 Référence	82
Conclusion général	84

# *Introduction générale*

## *Introduction générale*

En raison de leur potentiel d'impact dans divers domaines scientifiques tels que l'énergie, la médecine, les industries pharmaceutiques, l'électronique et les industries spatiales, les nanosciences et les nanotechnologies ont attiré beaucoup d'attention ces dernières années. Cette technologie concerne l'utilisation de matériaux et de structures dont la taille est inférieure à 100 nanomètres. [1] Les nanoparticules (NP) présentent des propriétés uniques dans des domaines tels que la chimie, la physique, la biologie, la diélectrique, l'électricité, la thermique, l'optique, [2] l'électronique, le magnétisme, [3] la mécanique et la photocatalyse. [4] Leur petite taille, leurs grandes surfaces, leur forme et leur taille (de 1 à 100 nm) sont responsables de ces propriétés distinctives. [5]

Au cours des dernières années, les nanoparticules ont trouvé une multitude d'applications, notamment dans les domaines des technologies de l'information et de la communication, de l'ingénierie électrique, de l'ingénierie industrielle, de la médecine [6] et de la photocatalyse. [7] La synthèse des nanoparticules constitue la principale division dans le domaine des nanosciences et des nanotechnologies. [8] Étant donné l'importance de leurs applications dans les avancées de la nanotechnologie, les scientifiques ont exploré plusieurs méthodes pour les synthétiser. [9] La popularité de la synthèse des nanoparticules a augmenté ces dernières années en raison des comportements différents des particules de quelques nanomètres par rapport à celles de taille plus importante. [10]

Il existe un certain nombre de méthodes différentes qui peuvent être utilisées pour produire des nanoparticules, notamment des méthodes physiques, chimiques et biologiques. Les méthodes physiques et chimiques sont généralement considérées comme les plus efficaces pour obtenir des nanoparticules de taille uniforme avec une stabilité à long terme. Cependant, ces méthodes sont coûteuses et émettent des substances dangereuses et toxiques dans l'environnement. Les applications médicales, cosmétiques ou alimentaires ne sont pas compatibles avec les produits chimiques dangereux utilisés dans les méthodes chimiques de synthèse des nanoparticules. Étant donné que de nombreuses nanoparticules sont largement utilisées dans les produits médicaux, le diagnostic des maladies et la cosmétique, il est crucial d'améliorer leur biocompatibilité. [11] Par conséquent, il est souhaitable de réaliser une synthèse verte ou biologique des nanoparticules en

utilisant des micro-organismes et des extraits de plantes [12] afin d'offrir une méthode de synthèse économique, écologique [13], facilement accessible et plus propre [14]. Non seulement la synthèse biogénique réduit l'impact sur l'environnement, mais elle peut également produire de grandes quantités de nanoparticules exemptes de contamination, de taille et de morphologie bien définies. En fait, les voies de biosynthèse peuvent produire des nanoparticules avec une morphologie et une taille encore plus précise que certaines méthodes physico-chimiques.

Parmi divers nanoparticules, Les nanoparticules d'oxydes de cuivre (CuONPs) ont captivé l'attention de la communauté scientifique en raison de leurs multiples applications dans différents domaines, en raison de leur inertie chimique, de leur non-toxicité et de leur faible coût par rapport à d'autres métaux.

*Le présent travail porte sur l'élaboration et la caractérisation des nanoparticules d'oxyde de cuivre CuO, préparées par voie biologique,*

Ce mémoire est composé de trois chapitres :

- Le premier chapitre pour but de présenter d'une étude bibliographique sur l'histoire des nanomatériaux, des généralités sur les nanomatériaux et les nanoparticules, les principales méthodes de synthèse de nanoparticules en particulier la synthèse biologique (par chimie verte) de NPs-CuO à l'aide d'extrait de plante *Pélargonium graveolens*, ainsi leurs applications médicales et environnementales, industriel, les propriétés et les caractérisations.
- Le deuxième chapitre décrit le matériel végétal et les produit utilisé, étude la caractérisation physico-chimique de plante de plante de *Pélargonium graveolens*. D'autre part, nous avons extrait les composantes photochimiques des plantes pour obtenir des nanoparticules de CuO de tailles et de cristallinité contrôlées. et en étudiant ses caractérisation(MEB-EDX, DRX et UV-visible).
- Le troisième chapitre présente les résultats d'analyse physico-chimique des nanoparticules obtenus et les caractérisations de notre biosynthèse ainsi que leurs discussions.

Pour conclure, nous résumons les principaux résultats marquants obtenus au cours de cette étude et proposons des perspectives futures afin de mettre en évidence l'originalité et l'intérêt du travail réalisé.

## ***Références:***

- [1] Iravani, S., 2014. Bacteria in Nanoparticle Synthesis: Current Status and Future Prospects. *International Scholarly Research Notices*, 2014, pp.1-18.
- [2] Chaudhary, P., Fatima, F. and Kumar, A., 2020. Relevance of nanomaterials in food packaging and its advanced future prospects. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 30(12), pp.5180-5192.
- [3] Akbari, B., Tavandashti, M.P. and Zandrahimi, M., 2011. Particle size characterization of nanoparticles—a practical approach. *Iranian Journal of Materials Science and Engineering*, 8(2), pp.48-56.
- [4] Huynh, K.H., Pham, X.H., Kim, J., Lee, S.H., Chang, H., Rho, W.Y. and Jun, B.H., 2020. Synthesis, Properties, and Biological Applications of Metallic Alloy Nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(14), p.5174.
- [5] Rostami Charati, F., Asadi, S., Akbari, R., Razavi, S A., 2018. Green synthesis of silver nanoparticles using *Taxus baccata* Leaves extract and identify its specifications. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 9(10), pp.2798-2803.
- [6] Kareem, M.A., Bello, I.T., Shittu, H.A., Awodele, M.K., Adedokun, O. and Sanusi, Y.K., 2020, March. Green synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) for optical and photocatalytic applications: a review. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 805 (1), p. 012020. IOP Publishing.
- [7] S. Shanmugam., P. Heera., 2015. Nanoparticle Characterization and Application: An Overview. *International Journal Current Microbiology And Applied sciences*, 4(8), 379-386.
- [8] Beydoun, D., Amal, R., Low, G., & McEvoy, S., 1999. Role of nanoparticles in photocatalysis. *Journal of Nanoparticle Research*, 1(4), pp.439-458.
- [9] Ayesha Arshad., 2017. Bacterial Synthesis and Applications of Nanoparticles. *Nano Science & Nano Technology: an Indian Journal*, 11(2), p.119.
- [10] Partila, A.M. and El-Hadedy, D.E., 2020. Effect of green silver nanoparticles embedded in irradiated sodium alginate/poly acrylamide on removal of dye wastes. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 13(1), pp.586-593.
- [11] Augustine, R., & Hasan, A., 2020. Multimodal applications of phytonanoparticles. *Phytonanotechnology*, pp.195-219.

[12] Bonnia, N.N., Kamaruddin, M.S., Nawawi, M.H., Ratim, S., Azlina, H.N. and Ali, E.S., 2016. Green biosynthesis of silver nanoparticles using *Polygonum Hydropiper* and study its catalytic degradation of methylene blue. *Procedia Chemistry*, 19, pp.594-602.

[13] Ali, Z.A., Yahya, R., Sekaran, S.D. and Puteh, R., 2016. Green synthesis of silver nanoparticles using apple extract and its antibacterial properties. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016, pp.1-6.

[14] Jose, Sr & Thomas, Femy., 2020. Photocatalytic degradation of methylene blue using iron oxide nanoparticles synthesized using *Annona muricata* leaf extract. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 12, pp.46-51.

*Chapitre I*

**Étude bibliographique**

## **I.1 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.

Les nanoparticules ont une taille inférieure à quelques centaines de nanomètres. Cette diminution de taille entraîne des modifications importantes de leurs propriétés physiques par rapport à celles observées dans les matériaux à grande échelle. Elles peuvent être métalliques, minérales, polymériques ou une combinaison de ces matériaux. [1]

Dans ce chapitre se trouve la présentation des généralités sur les nanoparticules, leurs sources d'origine, les différentes méthodes de synthèse utilisées pour leurs obtentions et leurs propriétés, suivie par des informations sur les nanoparticules d'oxyde de cuivre, leurs propriétés physique et chimiques et leurs applications dans des différents domaines.

## **I.2 Définitions:**

### **I.2.1 Nanomonde:**

Le « nanomonde » des nanosciences et des nanotechnologies englobe les objets de taille nanométrique dont certains phénomènes et effets sont inattendus. Ces spécificités leur ouvrent un large éventail d'applications et même si certaines sont déjà autour de nous, leur potentiel de développement est considérable [1].

### **1.2.2 Nanoscience:**

Les nanotechnologies représentent un domaine de recherche et de développement multidisciplinaire qui repose sur la compréhension et la maîtrise de l'échelle infiniment petite. Elles englobent spécifiquement toutes les techniques permettant la fabrication, la manipulation et la caractérisation de la matière à l'échelle nanométrique. Les nanotechnologies formalisent les 5 concepts et les processus issus des nanosciences, qui s'intéressent à l'étude et à la compréhension des propriétés de la matière au niveau atomique et moléculaire. ]2[

### 1.2.3 Nanotechnologie:

Il s'agit de la capacité à convertir la théorie des nanosciences en applications utiles en observant, mesurant, manipulant, assemblant, contrôlant et fabriquant de la matière à l'échelle du nanomètre. La National Nanotechnology Initiative (NNI) des États-Unis définit les nanotechnologies comme « une science, une ingénierie et une technologie menées à l'échelle nanométrique (1 à 100 nm), où des phénomènes uniques permettent de nouvelles applications dans un large éventail de domaines, de la chimie, de la physique et de la biologie à la médecine, à l'ingénierie et à l'électronique ».] [3].

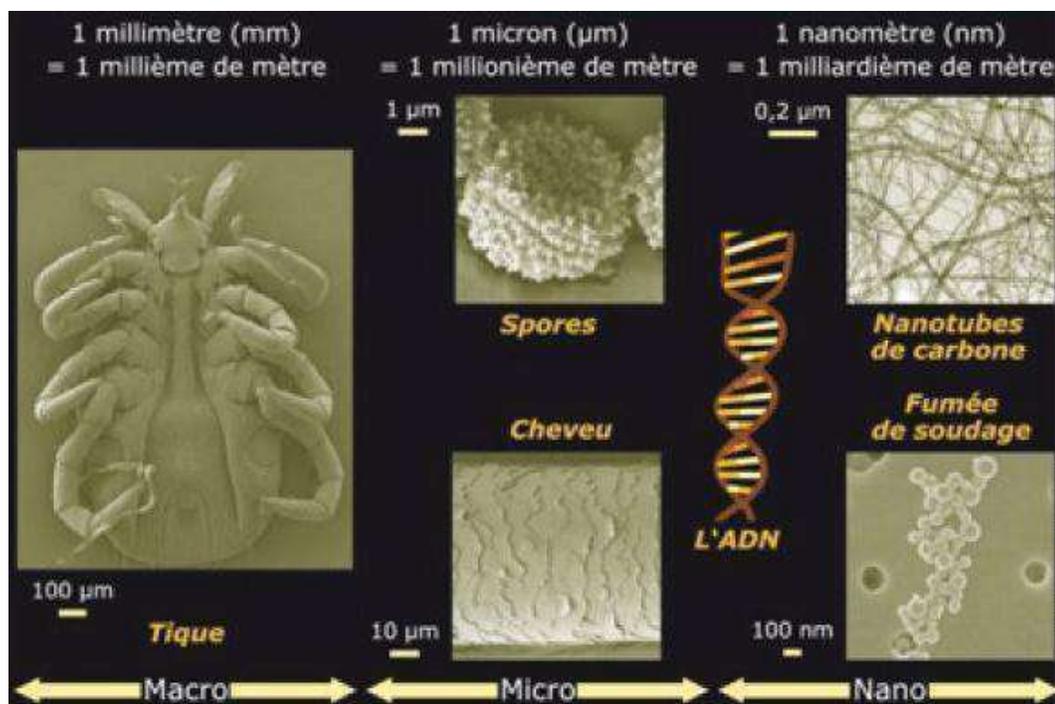
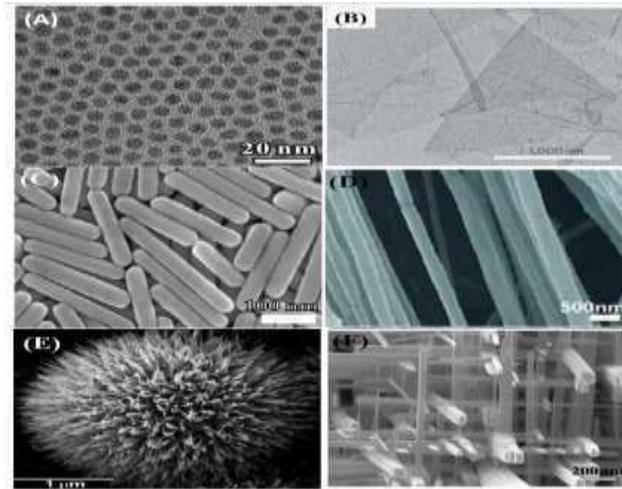


Figure I.1 : L'échelle des dimensions du visible à l'invisible [4].

### 1.2.4 Nanomatériaux :

Le terme « nanomatériau » désigne un matériau, naturel ou manufacturé, qui contient des particules sous forme non liée, granulée ou agglomérée. Dans la répartition de la taille des particules, 50 % ou plus d'entre elles possèdent une ou plusieurs dimensions externes comprises entre 1 nm et 100 nm. Si des impératifs environnementaux, sanitaires, sécuritaires ou

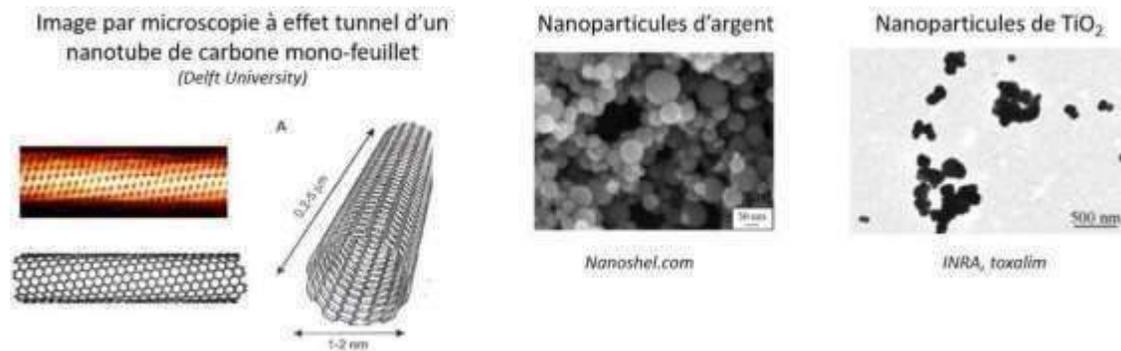
concurrentiels le justifient, le seuil de distribution de taille de 50 % peut être ajusté à une valeur comprise entre 1 % et 50 %. [5].



**Figure I.2 :** Nanomatériaux avec différentes morphologies [6].

Il existe deux grandes familles de nanomatériaux :

- **Les nano-objets**
- **Les matériaux nano-structurés**



**Figure I.3 :** Exemples des nanomatériaux. [E1]

#### I.2.4.1 Les nano-objets :

Cependant, le mot n'a pas de définition unique. Certains considèrent qu'un nano-objet est un objet dont toutes les dimensions dans l'espace sont d'environ un nanomètre (on parle ici de dimensions compris entre 1 et 100 nanomètres). Certaines personnes considèrent les nano-objets comme des objets dont au moins une des dimensions (longueur, diamètre, épaisseur) se situe entre

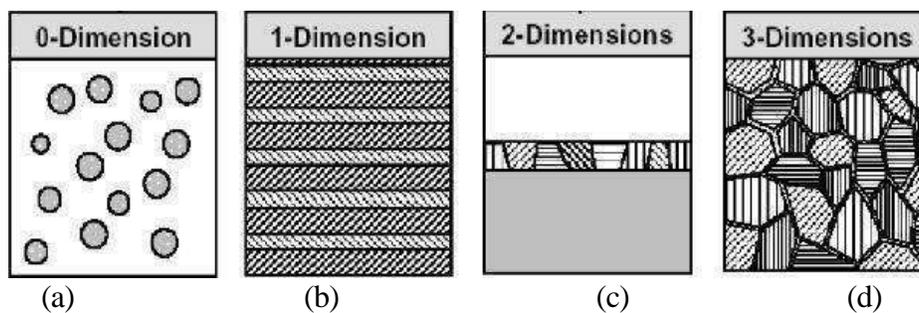
environ 1 et 100 nm. Les particules fibres ou tubes, les couches minces ou les constituants structurels peuvent être présents. Les nano-objets sont employés soit de manière autonome, soit dans le but de créer un nouveau matériau [7] [8]. On fera une distinction :

- ❖ Si les 3 dimensions externes sont inférieures à 100 nm : ce sont des nanoparticules
- ❖ Si 2 dimensions externes sont inférieures à 100 nm : ce sont des nano-fibres
  - Nano-fibres creuses : ce sont les nanotubes
  - Nano-fibres pleines : ce sont les nano-tiges
  - Nano-fibres électriquement conductrices ou semi-conductrices : ce sont les nano-fils

❖ Si 1-dimension externe est inférieure à 100 nm : ce sont les nano-plaques

(Sachant que les dimensions externes les plus grandes ne sont pas nécessairement à l'échelle nanométrique) : Nano-feuil ; Nano-couches ; Nano-revêtement.

(Sachant que les dimensions externes les plus grandes ne sont pas nécessairement à l'échelle nanométrique) : Nano-feuil ; Nano-couches ; Nano-revêtement.

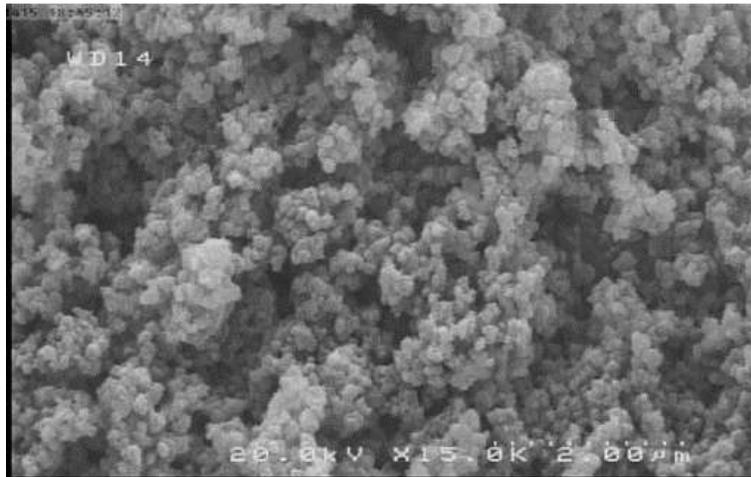


- (a) nanoparticules ou amas d'atomes.
- (b) multicouches constituées de couche d'épaisseur nanométrique.
- (c) couches simples nanostructurées.
- (d) matériaux nanocristallins ou nanostructurés à 3D.

**Figure I.4 :** Les différentes classes de nanomatériaux en fonction de leur dimensionnalité selon Siegel (1991) [9].

- **Les nanoparticules :**

Les nanoparticules sont des objets nanométriques dont les dimensions varient d'un à cent nanomètres. Dans cette définition, la forme n'a aucune signification. Il convient de respecter uniquement le paramètre de taille. [10]



**Figure 1.5 :** Image MEB du nanocomposite Cu-TiO<sub>2</sub> synthétisé [11].

- **Les Nano-fibres :**

Les nano-fibres sont des nano-objets dont seulement deux des trois dimensions sont comprises entre un et cent nanomètres. On peut rencontrer plusieurs formes de nano-fibres.

- **Les feuillets nanométriques :**

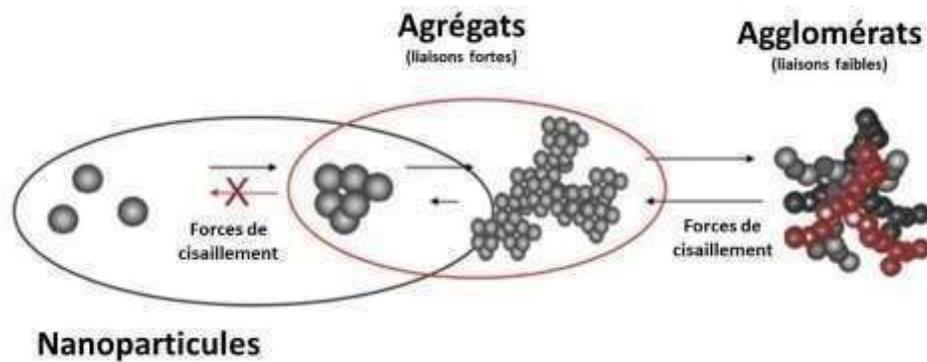
Les nano-feuillets désignent des éléments dont la taille se situe entre un et cent nanomètres. Il existe de nombreuses possibilités. Cependant, la définition suggère que la majorité des nano-feuillets sont des petites plaques qui peuvent se regrouper ou se recouvrir les unes les autres. [10]

#### **I.2.4.2 Les nanostructures des matériaux :**

Les nanoparticules sont présentes dans un matériau nanostructure, que ce soit dans sa structure superficielle (traitement de surface) ou dans tout son volume, c'est-à-dire qu'il possède une structure interne ou de surface à l'échelle nanométrique. En 2010, environ un tiers du secteur des nanotechnologies était composé de matériaux nanostructures. Parmi laquelle :

- **Les agrégats et agglomérats de nano-objet :**

Les nano-objets peuvent se présenter soit sous forme individuelle (c.-à-d. sous forme de particules primaires), soit sous forme d'agrégats ou agglomérats dont la taille est sensiblement supérieure à 100 nm. [12]



**Figure I.6 :** Formations d'agrégats et d'agglomérats réversibles ou non à partir de nanoparticules [13]

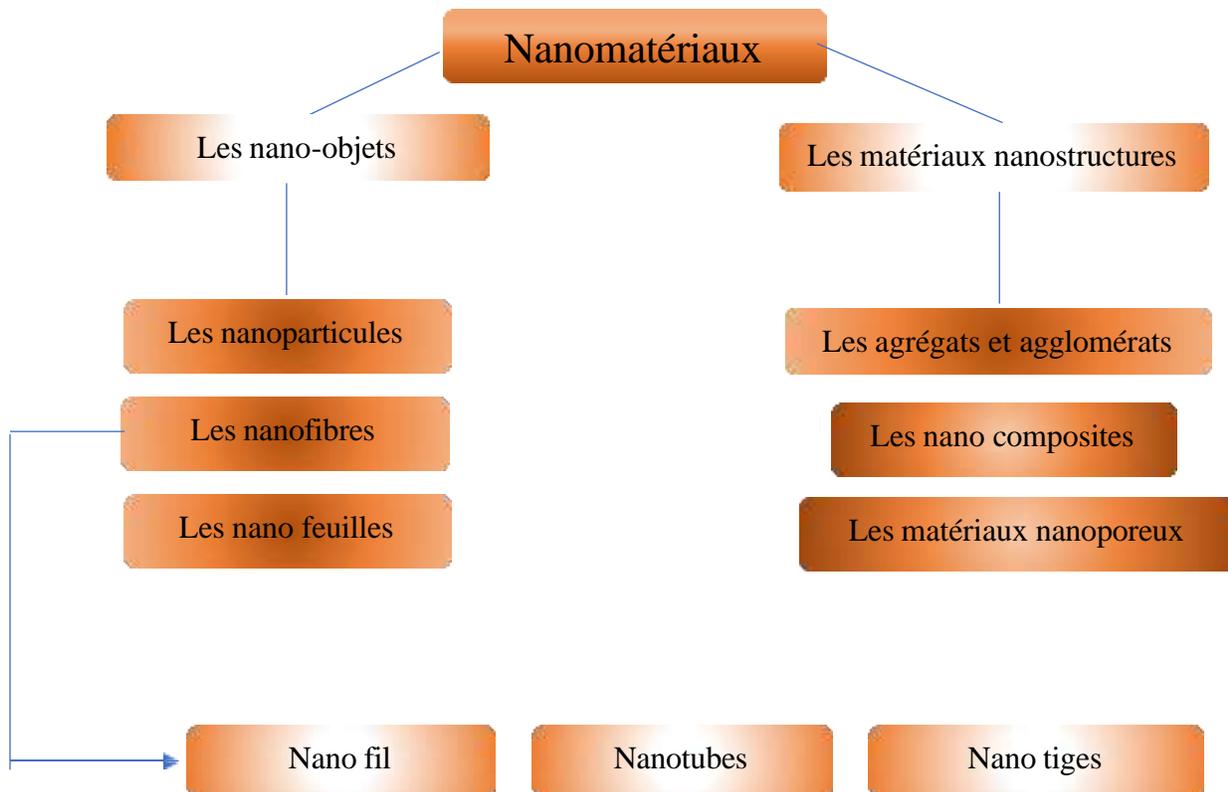
- **Les nano composites:**

Le terme nano-composite désigne un matériau composé d'une matrice solide (métal, céramique, polymère, etc.) dans laquelle des nano-objets sont insérés. Cette définition ne spécifie pas nécessairement la nécessité d'une dispersion homogène. Cependant, il est crucial de souligner que les caractéristiques macroscopiques d'un nano-composite sont étroitement liées à l'uniformité de la dispersion. Les objectifs de l'incorporation de nano-objets sont multiples et diversifiés. Ils peuvent inclure le renforcement du matériau contre diverses formes de dégradation, telles que la corrosion ou l'abrasion, l'amélioration des propriétés mécaniques comme la résistance à la traction ou la dureté, ainsi que l'optimisation de propriétés telles que la conductivité électrique ou thermique. Ces améliorations confèrent aux nano-composites un intérêt et un potentiel prometteur pour les applications actuelles et futures. [14]

- **Les nano-poreux :**

Un matériau nano-poreux se compose d'une structure solide contenant des nano-pores. Un nano-pore est une cavité dont au moins une dimension est à l'échelle

nanométrique et capable de retenir un gaz ou un liquide. Lorsque ces nano-pores sont interconnectés, ils permettent le transport à travers le matériau, ce qu'on appelle la perméabilité. Ces composés poreux présentent un intérêt majeur dans divers domaines tels que la séparation des gaz, la catalyse, le tamisage moléculaire, tout en offrant des possibilités remarquables en tant que structure hôte pour des molécules aux propriétés optiques non linéaires ou magnétiques.

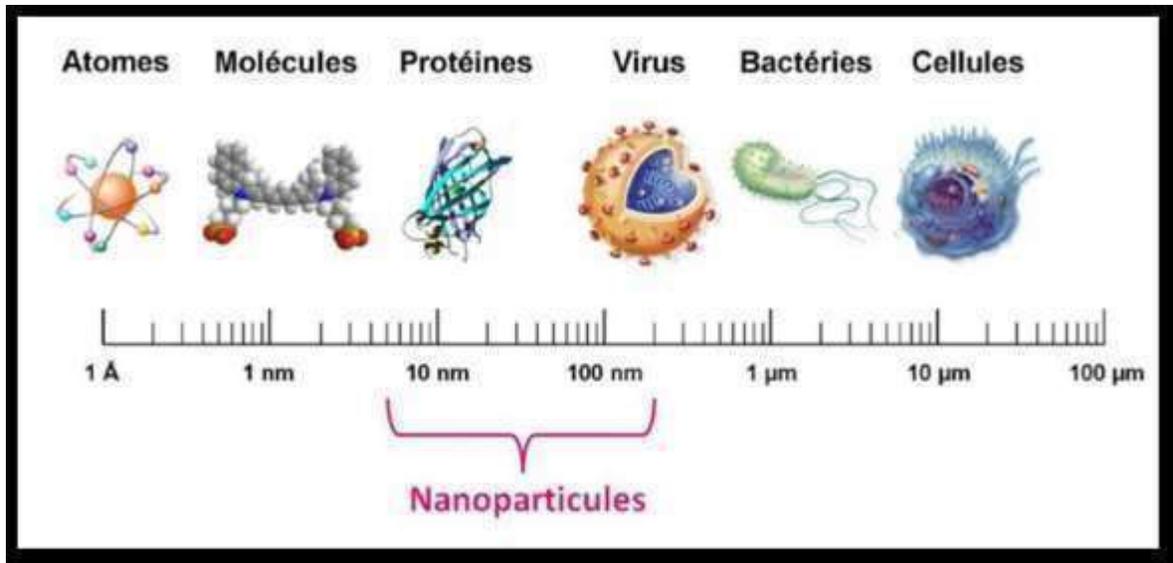


**Figure I.7 :** Schéma récapitulatif des différents types de nanomatériaux. [15]

### I.3 Les nanoparticules :

En général, les nanoparticules (NPs) sont définies comme des particules ayant un diamètre compris entre 1 et 100 nm ( $\leq 0,1 \mu\text{m}$ ), avec des caractéristiques spécifiques principalement influencées par leur surface. [16] Les nanoparticules se distinguent par leurs propriétés uniques par rapport au même matériau, car le rapport surface/volume des nanoparticules augmente de manière significative avec la réduction de leur taille. À l'échelle nanométrique, la fraction de

molécules en surface est considérablement augmentée, ce qui améliore certaines caractéristiques telles que l'échange thermique, le transfert de masse, la vitesse de dissolution et l'activité catalytique. [17] Ces technologies peuvent être mises en œuvre dans plusieurs secteurs, notamment la biomédecine, la pharmacie, la catalyse, la délivrance de médicaments, les antimicrobiens, entre autres. [18].



**Figure I.8:** Gamme de tailles des nanoparticules comparées à celles des principales structures chimiques et biologiques. [19]

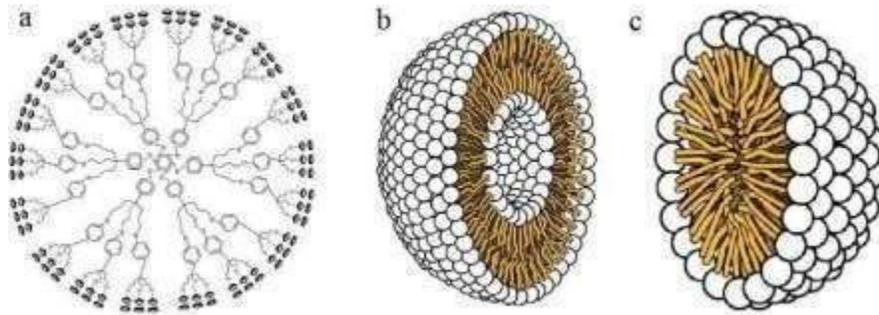
### I.3.1 La classification de nanoparticule :

Les nanoparticules sont généralement classées en particules organiques, inorganiques et à base du carbone.

#### ✚ Nanoparticules Organique :

Les nanoparticules organiques, telles que la ferritine, les micelles, les dendrimers et les liposomes, sont illustrées dans la Figure I.9. Ces nanoparticules présentent des propriétés non toxiques et biodégradables, certaines, comme les micelles et les liposomes, ayant une structure en forme de sphère creuse. Les nanocapsules sont reconnues pour leur sensibilité à la chaleur et à la lumière [20]. Par conséquent, les nanoparticules organiques sont idéales pour la délivrance de médicaments et sont largement utilisées dans la délivrance ciblée de

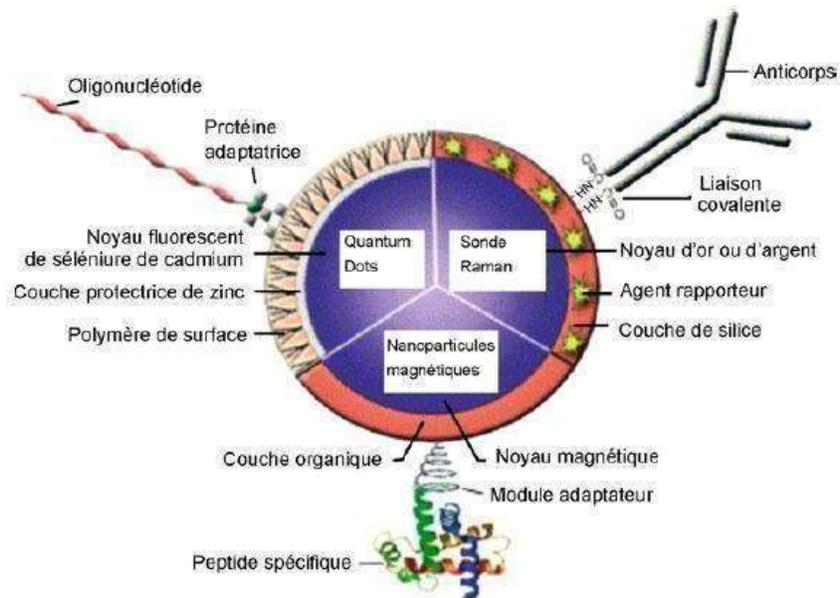
médicaments. Elles sont également appelées nanoparticules polymériques, et leurs formes les plus courantes sont les nanosphères ou les nanocapsules [21]. Les particules matricielles sont composées d'une masse solide, avec une surface sphérique qui adsorbe d'autres molécules. Dans certains cas, ces particules encapsulent la masse solide.



**Figure I.9 :** Nanoparticule Organique, a – Dendrites, b – Liposomes and c – micelles [22]

#### ✚ Les nanoparticules inorganiques :

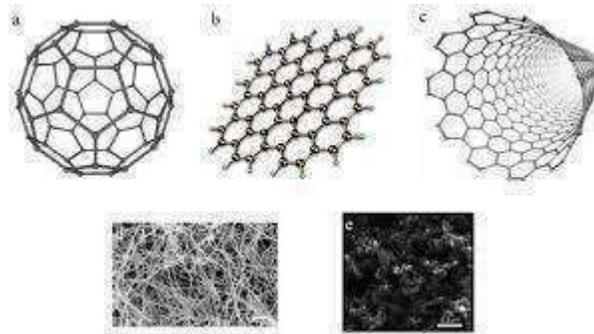
Les nanoparticules inorganiques désignent des particules non composées de carbone. Les nanoparticules fabriquées à partir de métaux et d'oxydes métalliques sont habituellement classées dans la catégorie des nanoparticules inorganiques. [20]



**Figure I.10 :** Structure de base des nanoparticules inorganiques [23].

### ✚ À base de carbone :

On appelle à base de carbone les nanoparticules qui sont entièrement composées de carbone [24]. Les fullerènes, le graphène, les nanotubes de carbone (CNT), les nanofibres de carbone et le noir de carbone, ainsi que parfois du charbon actif de taille nanométrique, sont classés comme indiqué dans la figure suivante :



**Figure I.11** : Nanoparticules à base de carbone : a - Fullerènes, b - Graphène, c - Nanotubes de carbone, d- Carbone de nano fibres et e - noir de carbone [24].

### I.4 les propriétés des nanoparticules:

Après une réduction de la taille des particules en dessous de 100 nm, les particules solides commencent à présenter des caractéristiques spécifiques à partir du matériau en vrac qui repose sur la mécanique quantique. L'importance des caractéristiques liées à la surface et des caractéristiques quantiques est cruciale pour distinguer les propriétés du matériau en vrac de celles des nanoparticules, selon [25]. Il existe deux formes d'effets :

- ✚ **Effet de taille** : Les propriétés telles que la solubilité, la transparence, la couleur, l'absorption ou la longueur d'onde d'émission, la conductivité, le point de fusion et le comportement catalytique ne sont altérées que lorsque la taille des particules est modifiée.
- ✚ **Effet de surface** : Les caractéristiques comme la dispersibilité, la conductivité, le comportement catalytique et les caractéristiques optiques diffèrent en fonction des diverses caractéristiques de surface de la particule. Lorsque les caractéristiques de surface ne sont pas régulées, les nanoparticules s'agglomèrent rapidement et se transforment en particules plus grandes. Il y a donc une perte de la plupart des effets liés à la taille. Ainsi, il est essentiel

de réguler leur comportement d'agglomération lors de l'utilisation des nanoparticules. Les nanoparticules dispersées sont indispensables pour préserver leurs caractéristiques particulières dans le domaine des applications technologiques [26]. Les nanoparticules se distinguent par différentes caractéristiques spécifiques, comme les propriétés optiques, structurelles, thermiques, mécaniques et électromagnétiques mentionnées ci-dessus :

#### **I.4.1 Propriétés thermiques :**

Dans la plupart des matériaux, une réduction de la taille d'une particule entraîne une baisse de la température de transition entre l'état solide et l'état liquide (température de fusion). Les atomes de surface, dans un état métastable, présentent un nombre de coordination plus faible. En diminuant la taille du nanocrystal, la contribution de l'énergie de surface à l'énergie totale du système augmente, ce qui entraîne une diminution de la température de fusion.

Le processus de fusion a été expérimentalement observé comme étant initié sur les atomes de surface et se propage de proche en proche aux autres atomes. [27].

#### **I.4.2 Propriétés optique :**

Lorsque les particules sont réduites à l'échelle nanométrique, en fonction du type de nanoparticules métalliques et de leur taille, elles absorbent la lumière à une longueur d'onde spécifique. Cela est rendu possible grâce à la résonance plasmonique de surface, où il y a interaction entre le rayonnement électromagnétique et les électrons dans la bande de conduction autour des nanoparticules. [28] Par conséquent, elles transmettent des couleurs différentes. On peut alors réaliser des analyses quantitatives et qualitatives sur la taille, la distribution et la concentration des particules, ainsi que sur l'effet de leur forme, en observant les changements dans le spectre optique.

#### **I.4.3 Propriétés de la structure:**

La surface spécifique élevée des nanoparticules joue un rôle crucial dans la réactivité, la solubilité, les performances de frittage, etc., et est également associée au transfert de masse et de chaleur entre les particules et leur environnement. De plus, il est fréquent que la structure cristalline des particules varie en fonction de la taille des particules dans la plage nanométrique. Cela est dû à la force de compression exercée sur les particules par la tension superficielle de la particule. La

dimension minimale des particules de la structure cristalline et l'impact de la taille varient en fonction des matériaux [29]

#### **I.4.4 Propriétés mécanique:**

La solidité des matériaux cristallins croît à mesure que la taille des cristaux diminue, et la résistance mécanique des matériaux augmente significativement lorsque la structure du métal et du matériau céramique est micronisée ou lorsqu'ils sont composés à l'échelle nanométrique. La solidité des matériaux cristallins croît à mesure que la taille des cristaux diminue, et la résistance mécanique des matériaux augmente significativement lorsque la structure du métal et du matériau céramique est micronisée ou lorsqu'ils sont composés à l'échelle nanométrique [30].

#### **I.4.5 Propriétés magnétique :**

Les propriétés magnétiques d'un matériau nanométrique diffèrent considérablement de celles de son équivalent massif. Les éléments ferromagnétiques comme le fer, le cobalt et le nickel voient leurs propriétés magnétiques s'intensifier à mesure que la taille des particules diminue. Dans les systèmes nanométriques confinés, tels que les nanoparticules et les nanofils, la réduction du degré de coordination et du nombre de liaisons favorise des états électroniques plus localisés et des bandes plus fines, ce qui entraîne des comportements magnétiques significatifs. Plusieurs métaux nobles comme le platine, le palladium et l'or, montrent des comportements ferromagnétiques à l'échelle nanométrique, contrairement à leurs formes macroscopiques qui sont diamagnétiques ou paramagnétiques. Les recherches indiquent que les nanoparticules présentent des moments magnétiques importants en dessous d'une certaine taille, en raison de la présence de spins d'électrons non appariés [31].

#### **I.4.6 Propriétés électroniques :**

Les particules métalliques à l'échelle nanométrique, telles que l'or et l'argent, joueront un rôle crucial dans le développement futur des dispositifs électroniques et optiques nanométriques. De nouvelles approches d'assemblage de ces nanoparticules en structures de niveau supérieur dotées de fonctions électroniques plus complexes sont indispensables. Des recherches récentes, menées par McConnell et d'autres, ont démontré la possibilité de manipuler de manière prévisible les énergies de tunneling d'un électron unique en modifiant les charges induites par le pH des ligands thiolés en surface. Ces "molécules" de nanoparticules interagissent de manière cohérente avec les modèles de couplage dipolaire dans le domaine électromagnétique. [31]

**Tableau I.1** : Exemples des nanoparticules et ses applications, propriétés et fonctionnalités  
[32]

Nanoparticules	Applications	Propriétés, fonctionnalités
Argent	Déodorants, dentifrices Agents de dépollution des eaux et des sols Encre Habillement	Antibactérien Dégradation/adsorption de contaminants Conductivité microélectronique Antibactérien, pigment, teignabilité
Dioxyde de titane	Béton, ciment Crème de soin, crème solaire Agents de dépollution des eaux et des sols Peintures Habillement	Autonettoyant, dépollution Absorbeur UV Dégradation/adsorption de contaminants Autonettoyant, dépollution, résistance aux UV et aux rayures Résistance aux UV, autonettoyant, retardateur de flamme
Noir de carbone	Maquillage Batterie Peinture Habillement	Pigment Conductivité Pigment, pouvoir couvrant Conductivité thermique et électrique

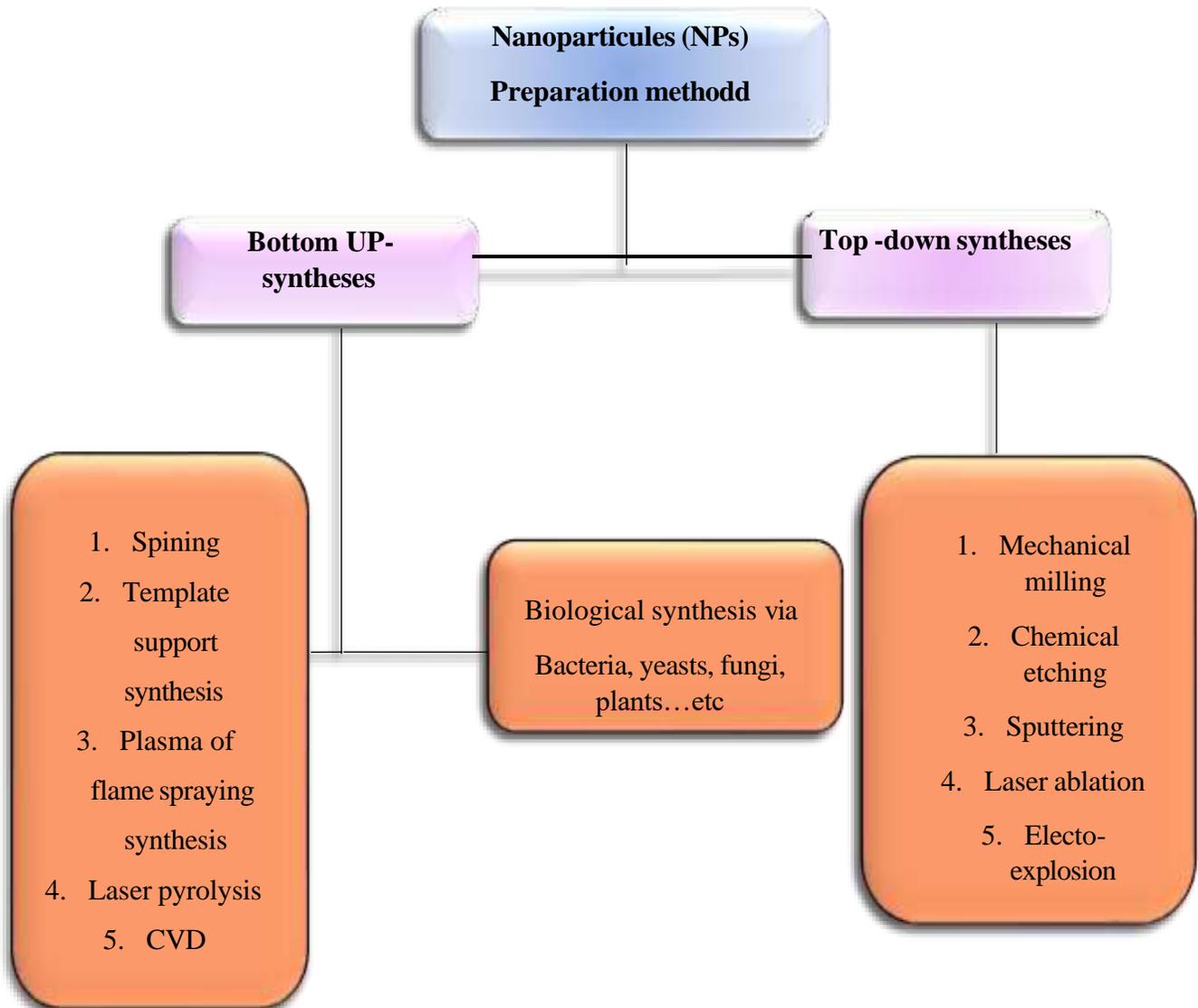
### I.5 Méthodes de synthèse des nanoparticules :

Il existe deux approches distinctes pour la synthèse des nanoparticules (NPs) : l'approche descendante, dite « top-down », qui repose sur des méthodes physiques, et l'approche ascendante, dite « bottom-up », qui utilise des méthodes chimiques. [33-34-35]

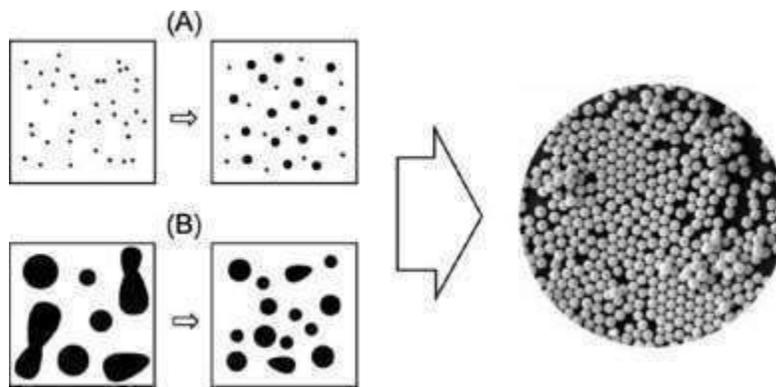
L'approche descendante commence avec un matériau en vrac qui intègre des détails nanométriques critiques. Dans cette méthode, un biomatériau est conçu en réduisant une entité complexe en ses composants, par exemple, en créant de petits cristaux à partir d'un tissu dur

minéralisé en vrac par gravure à l'acide. En revanche, l'approche ascendante consiste à assembler des matériaux à l'échelle nanoscopique, tels que des molécules et des atomes, pour former des structures plus grandes [36].

La synthèse des nanoparticules utilise des méthodes chimiques, physiques et biologiques. Les procédures biologiques, cependant, sont encore en phase de développement [37].



**Figure I.12** : Méthodes de synthèse typiques des NP pour les approches (a) descendante et (b) ascendante. [38]



**Figure I.13 :** (A) Approche ascendante : un précurseur moléculaire est désintégré en atomes métalliques plus simples qui se transforment en colloïdes. (B) Approche descendante : Grosses gouttes d'un métal brisées en gouttes plus petites [39].

## I.6 Applications des nanoparticules:

Les bénéfices et les applications des nanoparticules dans les domaines médical, environnemental et commercial suscitent un vif intérêt parmi les professionnels de la santé, les industriels et les consommateurs. Les nanoparticules et les nanomatériaux offrent la possibilité d'améliorer les performances de nombreux produits. Selon le rapport publié en 2008 par le

Conseil des académies canadiennes, [40] les caractéristiques particulièrement recherchées comprennent l'absorption des rayons ultraviolets, l'amélioration des propriétés textiles, l'effet antimicrobien, l'introduction d'une fonction autonettoyante ou antiadhésive de surface, l'augmentation de la dureté, ainsi que l'apport d'une fonction anti-agglomérante ou fluidifiante.

Dans de nombreux secteurs d'activité, les nanoparticules sont déjà largement utilisées pour améliorer leurs applications. Ces secteurs incluent notamment l'industrie automobile, l'industrie chimique, l'industrie électronique, la cosmétologie, la santé, la recherche, le domaine de l'habitation, et bien d'autres encore [41].

### I.6.1 Aéronautique et espace :

Dans le domaine de l'aéronautique et de l'espace, il y a des avancées dans plusieurs domaines :

- Développement de matériaux renforcés et plus légers
  - Création de peintures extérieures offrant des effets de couleur plus vifs, une brillance accrue, une résistance aux rayures, à la corrosion et aux salissures
- Intégration de capteurs pour optimiser les performances des moteurs
- Utilisation de détecteurs de glace sur les ailes d'avion pour améliorer la sécurité
- Introduction d'additifs pour diesel permettant une combustion plus efficace
- Conception de pneumatiques plus durables et recyclables. [42]

### **I.6.2 Electronique et communications:**

Mémoires à haute densité et processeurs miniaturisés, cellules solaires, liseuses électroniques portables, ordinateurs et consoles de jeu ultrarapides, technologies de communication sans fil, écrans plats... [43]

### **I.6.3 Chimie et matériaux :**

Colorants, céramiques en poudre, agents anti-corrosion, catalyseurs polyvalents, vitres autonettoyantes et résistantes aux salissures, textiles et revêtements à la fois antibactériens et extrêmement durables, membranes pour la filtration des matériaux (notamment pour le traitement de l'eau), couches ou superpositions fonctionnelles pour une isolation thermique optimale... [43]

### **I.6.4 Pharmacie, biomédical et biotechnologie :**

Médicaments et principes actifs, pansements médicaux adhésifs hypoallergéniques, médicaments personnalisés ciblant spécifiquement des organes précis, revêtements biocompatibles pour implants, vaccins administrés par voie orale, techniques de régénération osseuse et tissulaire, kits d'autodiagnostic médical. [43]

### **I.6.5 Cosmétique :**

Crèmes solaires transparentes, dentifrices plus efficaces pour le nettoyage, maquillage incluant des rouges à lèvres à la tenue améliorée. [43]

**I.6.6 Santé :**

Instruments de diagnostic miniaturisés et détection à l'échelle nano, tissus et implants dotés de revêtements améliorant leur biocompatibilité et leur activité biologique, capteurs polyvalents, analyses d'ADN avancées, membranes pour la dialyse, méthodes de destruction des tumeurs par hyperthermie, thérapie génique utilisant des nano-vecteurs pour le transfert de gènes, microchirurgie et médecine régénérative avec l'utilisation de nano-implants et de prothèses. [43]

**I.6.7 Energie :**

Panneaux solaires de nouvelle génération, batteries innovantes, vitres intelligentes, matériaux d'isolation plus performants, développement de la photosynthèse artificielle pour une énergie durable, stockage d'hydrogène pour une utilisation comme combustible propre. [43]

**I.6.8 Environnement et écologie :**

Réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, conversion d'eau de mer en eau ultrapure, développement de pesticides et d'engrais plus efficaces et moins nocifs, intégration de couches de capteurs non toxiques pour la dépollution environnementale, mise en place de systèmes de récupération et de recyclage des ressources existantes, utilisation d'analyseurs chimiques spécifiques. [43]

**I.6.9 Défense:**

Dispositifs de détection et de neutralisation d'agents chimiques et biologiques, miniaturisation des systèmes de surveillance, amélioration des systèmes de navigation pour une précision accrue, développement de textiles légers et autoréparants. [43]

**Tableau I.2 :** Applications des nanotechnologies et des nanomatériaux en fonction des secteurs d'activité [44].

<i>SECTEURS D'ACTIVITÉ</i>	<i>E/EMPLES D'APPLICATIONS ACTUELLES ET POTENTIELLES</i>
	Matériaux renforcés et plus légers ; peintures extérieures avec effets de couleur, plus brillantes, anti-rayures, anti-corrosion et anti-salissures ; capteurs optimisant les

Automobile, aéronautique et aérospatial	performances des moteurs ; détecteurs de glace sur les ailes d'avion ; additifs pour diesel permettant une meilleure combustion ; pneumatiques plus durables et recyclables...
Electronique et communications	Mémoires à haute densité et processeurs miniaturisés ; cellules solaires ; bibliothèques électroniques de poche ; ordinateurs et jeux électroniques ultra-rapides ; technologies sans fil ; écrans plats...
Agroalimentaire	Emballages actifs ; additifs : colorants, anti-agglomérants, émulsifiants...
Chimie et matériaux	Pigments ; charges ; poudres céramiques ; inhibiteurs de corrosion ; catalyseurs multifonctionnels ; textiles et revêtements antibactériens et ultra-résistants...
Construction	Ciments autonettoyants et anti-pollutions, vitrages autonettoyants et anti-salissures ; peintures ; vernis ; colles ; mastics...
Pharmacie et santé	Médicaments et agents actifs ; surfaces adhésives médicales anti-allergènes ; médicaments sur mesure délivrés uniquement à des organes précis ; surfaces biocompatibles pour implants ; vaccins oraux ; imagerie médicale...
Cosmétique	Crèmes solaires transparentes ; pâtes à dentifrice abrasives ; maquillage avec une meilleure tenue...
Énergie	Cellules photovoltaïques nouvelle génération ; nouveaux types de batteries ; fenêtres intelligentes ; matériaux isolants plus

	efficaces ; entreposage d'hydrogène combustible...
Environnement et écologie	Diminution des émissions de dioxyde de carbone ; production d'eau ultrapure à partir d'eau de mer ; pesticides et fertilisants plus efficaces et moins dommageables ; analyseurs chimiques spécifiques...
Défense	Détecteurs d'agents chimiques et biologiques ; systèmes de surveillance miniaturisés ; systèmes de guidage plus précis ; textiles légers et qui se réparent d'eux-mêmes...

### I.7 L'oxyde de cuivre :

Le cuivre, avec un numéro atomique  $Z = 29$  et symbolisé par Cu, est un élément de transition. En tant que métal pur, le cuivre se distingue par deux degrés d'oxydation stables, +I et +II. Ses excellentes conductivités électrique et thermique lui permettent une multitude d'applications. De plus, il est utilisé comme matériau de construction et constitue un composant majeur de nombreux alliages, notamment les cupro-alliages. [45]



**Figure 1. 14 :** Poudre noire de CuO. [46]

## **I.8 Méthodes de synthèse de nanoparticules de CuO:**

### **I.8.1 Procédés par voix physique:**

La synthèse des NP est généralement effectuée par des techniques physiques [47]. La synthèse physique implique une nucléation uniformément homogène de la vapeur sursaturée, suivie de la croissance des particules par condensation. Par conséquent, les vapeurs saturées peuvent être produites de diverses manières en fonction de la nature chimique du matériau [48].

Les précurseurs solides, liquides ou gazeux peuvent être utilisés pour synthétiser des nanoparticules par voie physique [49]. La synthèse physique des nanoparticules améliore la synthèse chimique car elle ne présente aucune contamination par des solvants et a une distribution uniforme. L'évaporation-condensation peut produire de très petites nanoparticules à des dimensions de 6,2-21,5 nm et 1,23-1,88 nm [44].

La méthode physique offre des avantages tels que la production de CuO NP avec une pureté uniforme et une taille contrôlée. Malgré ces avantages évidents, le coût élevé, les compétences opérationnelles, la puissance et l'énergie nécessaires sont des inconvénients importants de la méthode physique de synthèse des CuO NPs [50].

L'évaporation, la condensation, l'ablation au laser et le broyage mécanique sont les méthodes de synthèse physique les plus courantes [51].

### **I.8.2 Procédés par voie chimique :**

Les méthodes chimiques sont les plus couramment utilisées pour fabriquer des nanoparticules de cuivre. Étant donné que l'utilisation de ces nanoparticules est de plus en plus répandue et qu'elles entrent en contact avec les humains, il est crucial de développer des procédés respectueux de l'environnement. Différentes méthodes chimiques sont employées pour obtenir ces nanoparticules, telles que la réduction sonochimique, la synthèse hydrothermale, l'électrochimie, la réduction chimique et le sol-gel. [52]

Un inconvénient majeur est l'utilisation de matériaux toxiques lors de la phase de fabrication. De nombreux rapports ont montré que cela entraîne une forte consommation d'énergie, une

pollution de l'environnement, ainsi que l'utilisation de produits chimiques sous haute pression et à haute température, ce qui est coûteux et toxique. Ces éléments représentent d'énormes limitations pour la méthode chimique de fabrication de nanoparticules de CuO et d'autres oxydes métalliques de transition. [53]

### **I.8.3 La synthèse verte (biosynthèse) :**

Fabriquer des nanoparticules de manière écologique en utilisant des matériaux naturels qui se décomposent facilement comme des enzymes, des vitamines, des sucres complexes, des extraits de plantes, des plastiques qui se dégradent naturellement et des micro-organismes est une approche très prometteuse dans le domaine de la nanobiotechnologie et de la nanotechnologie respectueuse de l'environnement. [54]

La biosynthèse est une méthode respectueuse de l'environnement qui évite l'utilisation de produits chimiques coûteux et nocifs pour produire des nanoparticules métalliques [55]. La fabrication de nanoparticules verte présente de nombreux avantages car elle utilise directement des ressources naturelles et biologiques à l'aide de procédés de synthèse simples, non toxiques, biocompatibles et peu coûteux [56]. Par exemple, il est possible de considérer la fabrication verte de nanoparticules d'oxydes métalliques à partir d'extraits de plantes comme une méthode simple, économique et écologique [57]. Les composés bioactifs tels que les polyphénols, l'acide ascorbique, les flavonoïdes, l'acide citrique, les alcaloïdes, les terpènes et les réductases sont présents dans les extraits de plantes [58].

Les composés biologiquement actifs réduisent les précurseurs des ions métalliques et contribuent à la formation des structures de nanoparticules souhaitées en tant que réducteurs et stabilisants [59]. La possibilité de passer à l'utilisation de sources vertes et durables suscite l'intérêt de la fabrication de nanoparticules d'oxydes métalliques [60].

## **I.9 Propriétés des nanoparticules d'oxydes de cuivre CuO :**

### **I.9.1 propriétés physiques:**

Le dioxyde de cuivre pur (CuO) est un solide noir. Il ne se dissout pas dans l'eau et est considéré comme non dangereux. Tout comme l'oxyde cuivreux (Cu<sub>2</sub>O), la présence de lacunes dans la

structure cristalline du CuO le rend semi-conducteur de type p [61]. Certaines des caractéristiques physiques du CuO sont répertoriées dans le tableau suivant :

**Tableau I. 3 :** Propriétés physiques de CuO [62].

<b>Masse volumique</b>	6,32 g/cm <sup>3</sup>
<b>Masse molaire</b>	79,55 g/mol
<b>Paramètre maille à la température ambiante</b>	Monoclinique a = 4,68 Å, b = 3,42 Å, c = 5,12 Å, β = 99,54°
<b>Point de fusion</b>	1599 K
<b>Constante diélectrique relative</b>	12,0
<b>Masse d'un électron de la bande de conduction</b>	0,16-0,46 m <sub>e</sub>
<b>Longueur de la liaison Cu-O</b>	1,95 Å
<b>Longueur de la liaison O-O</b>	2,62 Å
<b>Longueur de la liaison Cu-Cu</b>	2,90 Å
<b>Capacité de chaleur spécifique (Cp)</b>	460 ± 10 J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
<b>Coefficient thermique d'expansion</b>	12,5 × 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>

### I.9.2 Propriétés chimiques:

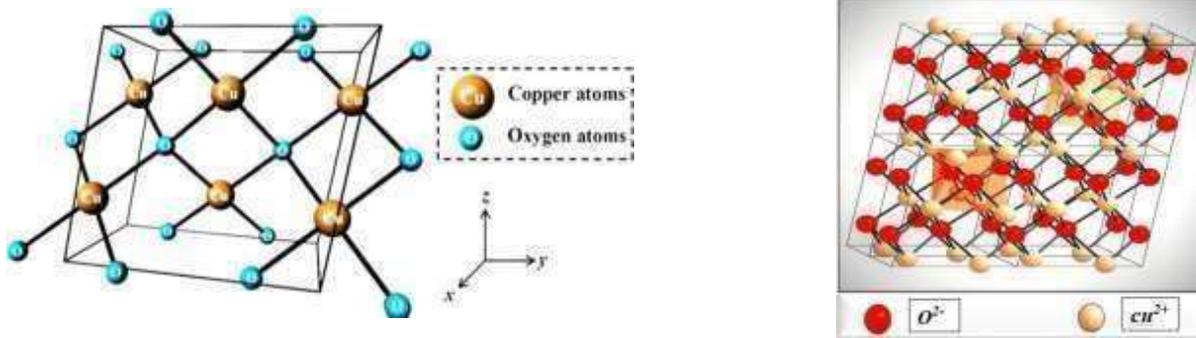
Les propriétés chimiques des nanoparticules d'oxyde de cuivre sont présentées dans le tableau suivant [63].

**Tableau 1.4** : Propriétés chimiques de CuO

<b>Donnés chimiques</b>	
Symbole chimique	CuO
Group	Cuivre 11 Oxygène 16
Configuration électronique	Cuivre[Ar]3d10 4s1 Oxygène [He] 2s2 2p4
<b>Composition chimique</b>	
<b>Elément</b>	<b>Contenu (%)</b>
Cuivre	79.87
Oxygène	20.10

**I.9.3 Propriétés structurelles :**

L'oxyde cuivrique CuO, également connu sous le nom de ténorite, adopte une structure cristalline monoclinique avec un groupe d'espace  $C2/c$ . La maille monoclinique contient quatre molécules CuO, et ses constantes de réseau sont les suivantes :  $a = 0,47$  nm,  $b = 0,34$  nm,  $c = 0,51$  nm et  $\beta = 99,54$  degrés. Chaque atome de cuivre (ou d'oxygène) est entouré de quatre voisins proches d'oxygène (ou de cuivre) : les atomes de cuivre sont situés au centre d'un arrangement rectangulaire d'oxygène, tandis que les atomes d'oxygène occupent le centre d'un tétraèdre de cuivre déformé.[64]



**Figure I.15 :** Structure cristalline d'oxyde de cuivre CuO. [65]

#### **I.9.4 Propriétés électriques et magnétiques :**

Les caractéristiques électriques des oxydes métalliques sont souvent liées aux défauts présents dans leur réseau cristallin. Un semi-conducteur parfait, dépourvu d'impuretés ou de défauts, se distingue par sa structure de bande. [66]. Les nanoparticules de CuO se comportent naturellement comme des semi-conducteurs de type p, avec une largeur de bande interdite de 1,4 eV. [67]

Les propriétés magnétiques des nanoparticules de CuO sont également influencées par leurs dimensions.[67] De plus, ces propriétés dépendent strictement de la morphologie des nanoparticules. Dans une étude portant sur les propriétés de ces particules, les chercheurs ont obtenu des nanoparticules de CuO avec des dimensions variant de 13 nm à 33 nm. Ils ont confirmé une interaction ferromagnétique faible, le processus étant légèrement influencé par la taille des particules. .[68]

#### **I.9.5 Propriétés optiques :**

Les caractéristiques optiques du CuO évoluent en fonction de divers facteurs tels que la taille des grains, la température du substrat, l'épaisseur, la concentration de dopage, la déformation, les paramètres structuraux, les défauts et les anomalies, ainsi que les techniques et les conditions de dépôt. Les défauts ponctuels natifs sont inhérents aux semi-conducteurs et jouent un rôle crucial dans leurs propriétés électroniques. Les couches minces de CuO présentent une transparence variante entre 0 et 80% dans la région visible, et leur indice de réfraction varie dans la plage de 1,5 à 3,5. [69]

## **I.10 Application de nanoparticules de CuO:**

Les applications des nanoparticules de CuO sont diverses, et leur utilité découle de leurs propriétés variées, lesquelles sont intimement liées à leur taille, leur surface, ainsi que leurs caractéristiques optiques et magnétiques. En conséquence, ces nanoparticules trouvent leur emploi dans un large éventail d'usages, allant des agents antimicrobiens aux catalyseurs chimiques, en passant par les formulations anticancéreuses et les matériaux de revêtement, entre autres. [70]

### **I.10.1 Application médicale :**

En raison de leurs propriétés et de leurs nombreuses applications dans divers domaines, tels que la nanomédecine et les sciences biomédicales, les nanoparticules d'oxyde de cuivre ont attiré l'attention particulière. Ils peuvent également être utilisés dans d'autres domaines, comme la détection de virus dans le corps humain [71].

### **I.10.2 Cellules solaires :**

En raison de leurs énormes avantages tels que leurs capacités de transfert d'électrons, leur activité électro catalytique efficace, leurs grandes surfaces et leur facilité d'utilisation, les oxydes métalliques ont gagné en popularité. Les matériaux à base de CuO en tant que semi-conducteur de type p ont été largement étudiés pour les applications photovoltaïques en raison de leur faible coût, d'une absorbance solaire élevée, d'une faible émission thermique, de la non toxicité et d'un processus de fabrication simple. Ils ont également été largement explorés en raison de leur bande interdite (1,2 à 2,1 eV) et de leur facilité de sensibilisation [72]. En raison de sa stabilité exceptionnelle, de ses bonnes propriétés électriques et de sa concentration de porteurs élevée, le CuO est également un candidat très prometteur pour les applications solaires photovoltaïques.

### **I.10.3 Application en catalyse :**

Le cuivre est un métal abondant sur Terre avec une faible toxicité, ce qui rend les nano catalyseurs à base de cuivre peu coûteux et respectueux de l'environnement [73]. L'un des catalyseurs les plus importants et les plus courants est CuO. À cause de sa surface spécifique, les nanostructures de CuO ont généralement une activité catalytique supérieure à celle du CuO massif.

### **I.11 Conclusion :**

Les nanotechnologies s'ouvrent sur un nouveau domaine scientifique vaste et prometteur. Ces minuscules particules peuvent provenir de diverses sources (qu'elles soient naturelles, non manufacturées et d'origine anthropique, ou fabriquées) et se décliner en différents types (qu'ils soient organiques ou inorganiques). Dans le cadre de matériaux massifs structurés à l'échelle nanométrique, leurs dimensions caractéristiques permettent de représenter l'épaisseur d'une couche nanométrique, le diamètre d'une fibre nanométrique, la taille moyenne d'une nanoparticule ou encore la dimension d'un grain nanométrique. Ces approches, qu'elles soient chimiques, physiques ou biologiques, offrent de multiples applications dans divers secteurs, tels que le textile, la cosmétique et l'alimentation, L'avènement de nouvelles approches thérapeutiques et diagnostiques, comme l'imagerie médicale ou la vectorisation des médicaments, a un impact majeur dans divers domaines tels que l'environnement, l'électronique, la chimie et la biomédecine. Ces avancées fournissent des outils précieux pour comprendre les phénomènes biologiques et pour mener des recherches in vitro et in vivo sur les animaux [74].

Dans ce chapitre, nous avons exposé les méthodes les plus essentielles et couramment utilisées pour la production de nanoparticules d'oxyde de cuivre. Notre attention se porte sur l'adoption de méthodes innovantes et améliorées. Nous avons choisi d'utiliser la méthode de synthèse biologique par chimie verte. Obtenir des dimensions et des formes bien définies est crucial pour cette méthode, représentant ainsi un défi significatif. Notre objectif est donc de développer de nouvelles techniques de synthèse simples et reproductibles en minimisant l'utilisation de réactifs chimiques toxiques, afin de réduire les résidus de réaction et/ou les ions résiduels susceptibles de compromettre les caractéristiques intrinsèques du matériau final.

La recherche bibliographique sur l'oxyde de cuivre (CuO) a permis de décrire ses caractéristiques structurelles, électriques et optiques, offrant ainsi une meilleure compréhension des mécanismes qui les sous-tendent. C'est pourquoi il est largement utilisé dans de nombreux domaines. Son importance ne cesse de croître, rivalisant ainsi avec d'autres matériaux en quête d'amélioration pour les nouvelles technologies.

**I.12 Références:**

- [1] Sachindri Rana ; P. T. Kalaichelvan, « ÉCOTOXICITE DES NANOPARTICULES,» pp. 1-11, 2013.
- [2] D.E. Belfennache, Elaboration et étude de nanoparticules Au/TiO<sub>2</sub> et Ag/TiO<sub>2</sub>, Thèse de Doctorat, Département De Physique, Université MENTOURI, Constantine, 2012.
- [3] Bayda, S., et al., The history of nanoscience and nanotechnology: from chemical–physical applications to nanomedicine. *Molecules*, 2019. 25(1): p. 112.
- [4] Myriam Ricaud et Stephanie Devel, Nano2030 « Les nanomatériaux manufacturés à l’horizon 2030 » édition rapport Institut national de recherche et de sécurité (INRS) (2014) p 24-25.
- [5] Rauscher, H., Mech, A., Gibson, N., Gilliland, D., Held, A., Kestens, V., Koeber, R., Linsinger, T. and Stefaniak, E., 2019. Identification of nanomaterials through measurements. Publications Office of the European Union: Luxembourg.
- [6] **Jeevanandam, Jaison, et al.** 3 avril 2018, *Review on nanoparticles and nanostructured materials: history, sources, toxicity and regulations*. s.l. : licensee Beilstein-Institut, Beilstein Journal of Nanotechnology, pp. 1053-1054.
- [7] A.- Moselle et A. Moselle, «NANO-OBJETS, NANOMATERIAUX».
- [8] Afsset, « LES NANOMATERIAUX : EFFETS SUR LA SANTE DE L’HOMME ET SUR L’ENVIRONNEMENT,» Juillet 2006.
- [9] Eric Gaffet « Les nanomatériaux : Effets sur la santé de l’homme et sur l’environnement » rapport agence française de sécurité sanitaire de l’environnement et du travail, France (2006), p 18..
- [10] Stéphanie GEORGE, Nicolas LAMPROYE, «Caractérisation des nano-objets, .». *Tech*  
L’ingénieur
- [11] López-Goerne, P., Ramírez-Olivares, L .A., Pérez-Dávalos, L. A., Velázquez-Muñoz, J. A., & Reyes-González, J. Catalytic Nanomedicine. Cu/TiO<sub>2</sub>–SiO<sub>2</sub> Nanoparticles as Treatment of Diabetic Foot Ulcer: A Case Report. *Current Nanomedicine (Formerly: Recent Patents on Nanomedicine)*, 2020 10(3), 290-295.

- [12] M. Ricaud et O. Witschger, «Les nanomatériaux. Définitions, risques toxicologiques caractérisation de l'exposition professionnelle et mesures de prévention,», Inst. Natl. Rech. : 1-52, 2012.
- [13] Nasrollahzadeh, Mahmoud, S. Mohammad Sajadi et Muhammad Iqbal. 2019. "Basic Chemistry and Biomedical Significance of Nanomaterials." Dans *Nanomaterials and Plant Potential*, 31-70.: Springer.
- [14] Guerricha Maroua et selmane Sassia, la synthèse verte des nanoparticules métallique de cuivre CuO par l'extrait Moringa, mémoire de master, Université Echahid Hamma Lakhdar. El Oued, 2018.
- [15] Ricaud, M. and O. Witschger, *Les nanomatériaux : Définitions, risques toxicologiques, caractérisation de l'exposition professionnelle et mesures de prévention*. 2012, Technical Report ED 6050, INRS.
- [16] Blanco, E., Shen, H., & Ferrari, M. (2015). Principles of nanoparticle design for overcoming biological barriers to drug delivery. *Nature biotechnology*, 33(9), 941-951
- [17] Dizaj, S. M., Lotfipour, F., Barzegar-Jalali, M., Zarrintan, M. H., & Adibkia, K. (2014). Antimicrobial activity of the metals and metal oxide nanoparticles. *Materials Science and Engineering: C*, 44, 278-284.
- [18] Ahmed, S., & Ikram, S. (2016). Biosynthesis of gold nanoparticles: a green approach. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 161, 141-153.
- [19] Ambroise, D., et al., Les nanoparticules, in Les nanoparticules. 2021, EDP Sciences.
- [20] Tiwari, D.K.; Behari, J.; Sen, P. "Application of Nanoparticles in Waste Water Treatment 1."(2008)
- [21] Mansha, M., et al. Synthesis, Characterization and Visible-Light-Driven Photoelectrochemical Hydrogen Evolution Reaction of Carbazole-Containing Conjugated Polymers. *Int. J. Hydrogen Energy* 2017, 42 (16), 10952–10961

[22] Ealia, S. A. M., & Saravanakumar, M. P. (2017, November). A review on the classification, characterisation, synthesis of nanoparticles and their application. In IOP conference series: materials science and engineering (Vol. 263, No. 3, p. 032019). IOP Publishing

[23] Yezhelyev MV, Gao X, Xing Y, Al-Hajj A, Nie S, O'Regan RM. Emerging use of nanoparticles in diagnosis and treatment of breast cancer. *Lancet Oncol* 2006;7:657–67.

[24] Midander, Klara, et al., 2009, *Surface Characteristics, Copper Release, and Toxicity of Nano- and Micrometer-Sized Copper and Copper (II) Oxide Particles: A Cross-Disciplinary Study*. s.l. : Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, small journal, p. 391.

[25] E. Roduner, «LA TAILLE COMPTE: POURQUOI LES NANOMATERIAUX SONT DIFFERENTS,» *Chem. Soc. Rev*, vol. 35, pp. 583-592, 2006.

[26] Paul JA Borm, David Robbins, Stephan Haubold, Thomas Kuhlbusch, Heinz Fissan, Ken Donaldson, Roel Schins, Vicki Stone, Wolfgang Kreyling, Jurgen Lademann, Jean Krutmann, David Warheit et EvaOberdorster, «LES RISQUES POTENTIELS DES NANOMATERIAUX, » areview carried out for ECETOC, pp. 7-10, 2006.

[27] Didier Noel « Les nanomatériaux et leurs applications pour l'énergie électrique », p 4.

[28] E. Roduner, «LA TAILLE COMPTE : POURQUOI LES NANOMATERIAUX SONT DIFFERENTS,» *Chem. Soc. Rev*, vol. 35, pp. 583-592, 2006.

[29] H. Yaghoubian, S. Jahani, H. Beitollahi, S. Tajik, R. Hosseinzadeh, et P. Biparva, « Voltammetric Determination of Droxidopa in the Presence of Tryptophan Using a Nanostructured Base Electrochemical Sensor », *J. Electrochem. Sci. Technol.*, vol. 9, p. 109-117, juin 2019, doi: 10.33961/JECST.2018.9.2.109.

[30] Zaabar Amina « Dépôt de couches minces de ZnS dopées Al par la méthode de croissance en solution (SGT) » Master, Université Abderrahmane Mira- Bejaia. Algérie (2013), p 15.

- [31] Ben Abdesselam Djedjiga « Elaboration de matériaux nanostructurés Fe-Cr par mécanosynthèse et frittage : étude structurale des produits par diffraction des rayons X » Master, Université Mouloud Mammer Tizi-Ouzou. Algérie (2017), p 18.
- [32] P. Mulvaney, «SPECTROSCOPIE PLASMONIQUE DE SURFACE DES PARTICULES METALLIQUES NANOMETRIQUES,» *Article citations* , pp. 12-788, 1996.
- [33] Gulati, S., Sachdeva, M., & Bhasin, K. K., 2018. Various synthetic routes for the preparation of nanoparticles. In AIP Conference Proceedings, 1953(1), p.030215.
- [34] Khanna, P., Kaur, A., & Goyal, D., 2019. Algae-based metallic nanoparticles: Synthesis, characterization and applications. *Journal of Microbiological Methods*, 163, p.105656.
- [35] Silva, G. A., 2006. Neuroscience nanotechnology: progress, opportunities and challenges. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(1), pp.65-74.
- [36] Liu, Y., Mai, S., Li, N., Yiu, C. K. Y., Mao, J., Pashley, D. H., & Tay, F. R., 2011. Differences between top-down and bottom-up approaches in mineralizing thick, partially demineralized collagen scaffolds. *Acta Biomaterialia*, 7(4), pp.1742-1751.
- [37] Ayesha Arshad., 2017. Bacterial Synthesis and Applications of Nanoparticles. *Nano Science & Nano Technology: an Indian Journal*, 11(2), p.119.
- [38] Dhand, C., Dwivedi, N., Loh, X.J., Ying, A.N.J., Verma, N.K., Beuerman, R.W., Lakshminarayanan, R. and Ramakrishna, S., 2015. Methods and strategies for the synthesis of diverse nanoparticles and their applications: a comprehensive overview. *Rsc Advances*, 5(127), pp.105003-105037.
- [39] Wang, Y . and Xia, Y . 2004, *Nano Letters*, 4(10), 2047-2050.
- [40] Lee, K. M., Lai, C. W., Ngai, K. S. & Juan, J. C. Recent developments of zinc oxide based photocatalyst in water treatment technology: A review. *Water Res.* 88, 428–448 (2016).
- [41] Safaei, M. R., Ahmadi, G., Goodarzi, M. S., Kamyar, A. & Kazi, S. N. Boundary Layer Flow and Heat Transfer of FMWCNT/Water Nanofluids over a Flat Plate. *Fluids* vol. 1 (2016).

[42] Khodabandeh, E., Safaei, M. R., Akbari, S., Akbari, O. A. & Alrashed, A. A. A. A. Application of nanofluid to improve the thermal performance of horizontal spiral coil utilized in solar ponds: Geometric study. *Renew. Energy* 122, 1–16 (2018)

[43] Canadiennes C des académies. Petit et différent: perspective scientifique sur les défis réglementaires du monde nanométrique. 2008 p. 151.

[44] Ostiguy C, Roberge B, Woods C, Soucy B. Les nanoparticules de synthèse: Connaissances actuelles sur les risques et les mesures de prévention en SST. R646 IRSST. 2010 p. 159.

[45] S. Lanone, J. Boczkowski, Applications utilisant les nanotechnologies, par secteur d'activité Questions de santé publique, France, (2010), pp. 1-4.

[46] Myriam Ricaurd, Olivier Witschger, les nano-matériaux, Définitions, risques toxicologiques, caractérisation de l'exposition professionnelle et mesures de prévention, Revues, Institut national de recherche et de sécurité (INRS), Septembre 2012.

[47] OUIS, D., Nanocomposites hybrides à base de nanoparticules inorganiques greffées de polymère conducteur à base de l'aniline et de lap-benzoquinone: Élaboration, caractérisation et comportement électrochimique. 2020.

[48] E. Fermi, Z, Eine statistische Methode zur Bestimmung einiger Eigenschaften des Atoms und ihre Anwendung auf die Theorie des periodischen Systems der Elemente, *Phys.* 48, pp73, (1928).

[49] Letchumanan, D., et al., Plant-based biosynthesis of copper/copper oxide nanoparticles: An update on their applications in biomedicine, mechanisms, and toxicity. *Biomolecules*, 2021. **11**(4): p. 564.

[50] Swihart, M.T., Vapor-phase synthesis of nanoparticles. *Current opinion in colloid & interface science*, 2003. **8**(1): p. 127-133.

[51] Crisan, M.C., M. Teodora, and M. Lucian, Copper nanoparticles: Synthesis and characterization, physiology, toxicity and antimicrobial applications. *Applied Sciences*, 2021. **12**(1): p. 141.

- [52] Amendola, V. and M. Meneghetti, What controls the composition and the structure of nanomaterials generated by laser ablation in liquid solution? *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2013. **15**(9): p. 3027-3046.
- [53] Akintelu, S.A., et al., Green synthesis of copper oxide nanoparticles for biomedical application and environmental remediation. *Heliyon*, 2020. **6**(7): p. e04508.
- [54] Shukla, A.K. and S. Iravani, Green synthesis and spectroscopic characterization of nanoparticles, in *Nanoscience in Food and Agriculture 1*. 2016, Springer. p. 65-99.
- [55] Iravani, S., Green synthesis of metal nanoparticles using plants. *Green Chemistry*, 2011. **13**(10): p. 2638-2650.
- [56] Wang, Y., et al., Green synthesis of nanoparticles for the remediation of contaminated waters and soils: Constituents, synthesizing methods, and influencing factors. *Journal of Cleaner Production*, 2019. **226**: p. 540-549.
- [57] Varghese, R.J., N. Zikalala, and O.S. Oluwafemi, Green synthesis protocol on metal oxide nanoparticles using plant extracts, in *Colloidal metal oxide nanoparticles*. 2020, Elsevier. p. 67-82.
- [58] Yahia, Y., et al., Bioactive compounds, antioxidant and antimicrobial activities of extracts from different plant parts of two *Ziziphus* Mill. species. *PloS one*, 2020. **15**(5): p. e0232599.
- [59] Kumar, H., et al., Flower-based green synthesis of metallic nanoparticles: Applications beyond fragrance. *Nanomaterials*, 2020. **10**(4): p. 766.
- [60] Sarkar, J., et al., Green synthesized copper oxide nanoparticles ameliorate defence and antioxidant enzymes in *Lens culinaris*. *Nanomaterials*, 2020. **10**(2): p. 312.
- [61] Samiya, M.A., Elaboration et caractérisation de matériaux composites à base des nanoparticules du semi-conducteur CuO et de l'oxyde de terre rare Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dispersées dans les matrices diélectriques KBr, KCl et NaCl. 2015.

- [62] OUIS, D., Nanocomposites hybrides à base de nanoparticules inorganiques greffées de polymère conducteur à base de l'aniline et de lap-benzoquinone: Élaboration, caractérisation et comportement électrochimique. 2020.
- [63] Altaweel, A., Synthèse de nanostructures d'oxyde de cuivre par micro-post-décharge micro-ondes à pression atmosphérique. 2014, Université de Lorraine.
- [64] A. Altaweel , Synthèse de nanostructures d'oxyde de cuivre par micro-post-décharge microondes à pression atmosphérique ,(2018) , univ-lorraine, fr ,156p.
- [65] Kerour, A. and S. Boudjadar, Synthèse écologique des nanoparticules des oxydes de cuivre et application photocatalytique. 2018, جامعة الخوة منتوري قسنطينة
- [66] Altaweel, A., Synthèse de nanostructures d'oxyde de cuivre par micro-post-décharge micro-ondes à pression atmosphérique. 2014, Université de Lorraine.
- [67] Zhang, Q., et al., CuO nanostructures: synthesis, characterization, growth mechanisms, fundamental properties, and applications. Progress in Materials Science, 2014. **60**: p. 208-337.
- [68] Narsinga Rao, G., Y. Yao, and J. Chen, Evolution of size, morphology, and magnetic properties of CuO nanoparticles by thermal annealing. Journal of Applied Physics, 2009. **105**(9): p. 093901.
- [69] Mecheter, I., Physical Properties of Sol Gel Copper Oxide (CuO) Thin Films; Sol concentration effect. 2019, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.
- [70] Grigore, M.E., et al., Methods of synthesis, properties and biomedical applications of CuO nanoparticles. Pharmaceuticals, 2016. **9**(4): p. 75.
- [71] Waris, A., et al., A comprehensive review of green synthesis of copper oxide nanoparticles and their diverse biomedical applications. Inorganic Chemistry Communications, 2021. **123**: p. 108369.
- [72] Mazloum-Ardakani, M. and R. Arazi, Amélioration des performances photovoltaïques à l'aide d'une nouvelle photocathode à base de nanocomposite de poly (3, 4-éthylènedioxythiophène) /Ag–CuO dans des cellules solaires à colorant. Comptes Rendus. Chimie, 2020. **23**(2): p. 105-115.

[73] Tian, H.-f., et al., Synthesis of hollow CuO/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite microspheres for catalysing carbon dioxide hydrogenation. *Micro & Nano Letters*, 2019. **14**(9): p. 932-936.

[74] G. Chuto et P. Chaumet-Riffaud, « Les nanoparticules », *Médecine Nucl.*, vol. 34, n°6, p. 370-376, juin 2010, doi: 10.1016/j.mednuc.2010.03.003.

**Cite électronique :**

[E1] [www.quiodansmonassiette.fr](http://www.quiodansmonassiette.fr)

## *Chapitre II*

### **Partie expérimentale**

**II.1 Introduction:**

Ce chapitre vise à fournir une description détaillée des différents équipements, appareils utilisés, produits chimiques, et plante utilisée, ainsi que des méthodes et techniques utilisées tout au long de l'étude. La partie expérimentale a été réalisée au niveau de laboratoire de génie des procédés numéro 4 (GP04) au sein de la faculté des sciences et de la technologie de l'université de Ghardaïa (Algérie).

**II.2 Objectif du travail:**

L'objectif de ce travail est synthétiser des nanoparticules d'oxyde de cuivre (CU NPs) selon la méthode biologique en utilisant un extrait de la plante de *Pélargonium graveolens* (chimie verte). L'utilisation de ses ressources biologiques pour la production des nanoparticules est moins coûteuse, non toxique et présente une bonne cristallinité. Nous détaillerons le procédé de biosynthèse en milieu aqueuse des extraits, appelé aussi « réaction vert » par la suite :

- La collecte de plante d de *Pélargonium graveolens*.
- Extraction d'extrait de plante.
- La biosynthèse des NPs-CuO en utilisant l'extrait de plante comme agent réducteur.
- Caractérisation des NPs-CuO synthétisé avec différentes techniques d'analyse (UV- visible, DRX, SEM et EDX).

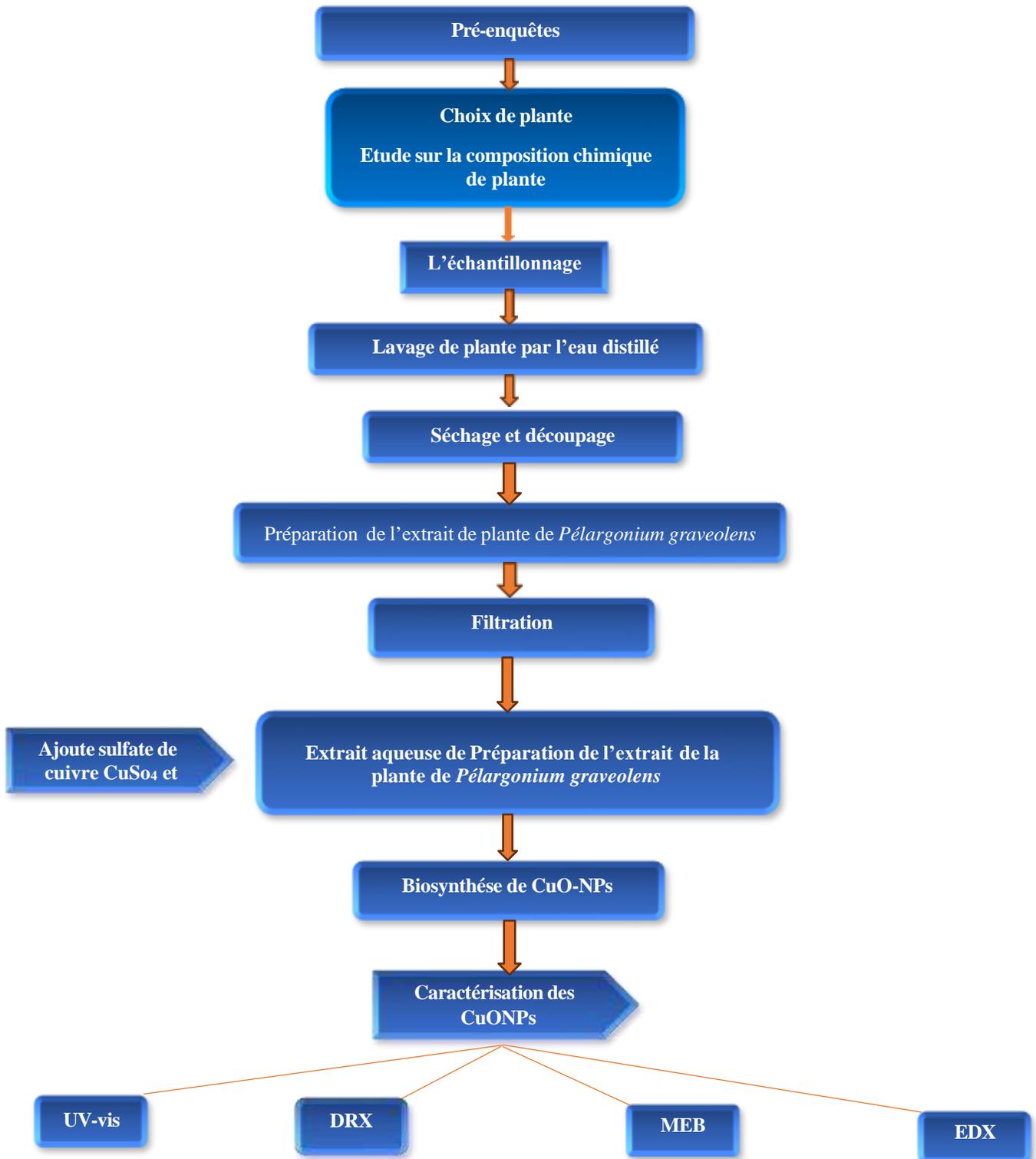


Figure II.1 : Organigramme descriptif de la méthodologie de travail.

## II.3 Matériels utilisés:

### II.3.1 Matériels et produits chimiques :

Le tableau suivant représente tous les produits chimiques et matériels utilisés dans notre étude.

Produits chimiques
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Anhydre Sulfate de cuivre <math>\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}</math></b> (M=249.72 g/mol) Densité 3.6 g/cm<sup>3</sup> Points D'ébullition 650C°, Point de fusion 110C° Soluble dans l'eau, Pureté 98%.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Hydroxyde de sodium NaOH</b> (M=39.997 g/mol) Densité 2.13 g/cm<sup>3</sup> Point de d'ébulution 1388C°, point de fusion 319C° Solubilité dans l'eau à 20C° : 1090 g/l</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Ethanol <math>\text{C}_2\text{H}_6\text{O}</math></b> (M=46.07 g/mol) Densité 0.78945 g/cm<sup>3</sup> (à 20 °C) Point de d'ébulution 78.37 C°, point de fusion -114C°</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• L'eau distillée</li></ul>

## Matériels et verreries

- Thermomètre



- pH mètre.



- Balance analytique



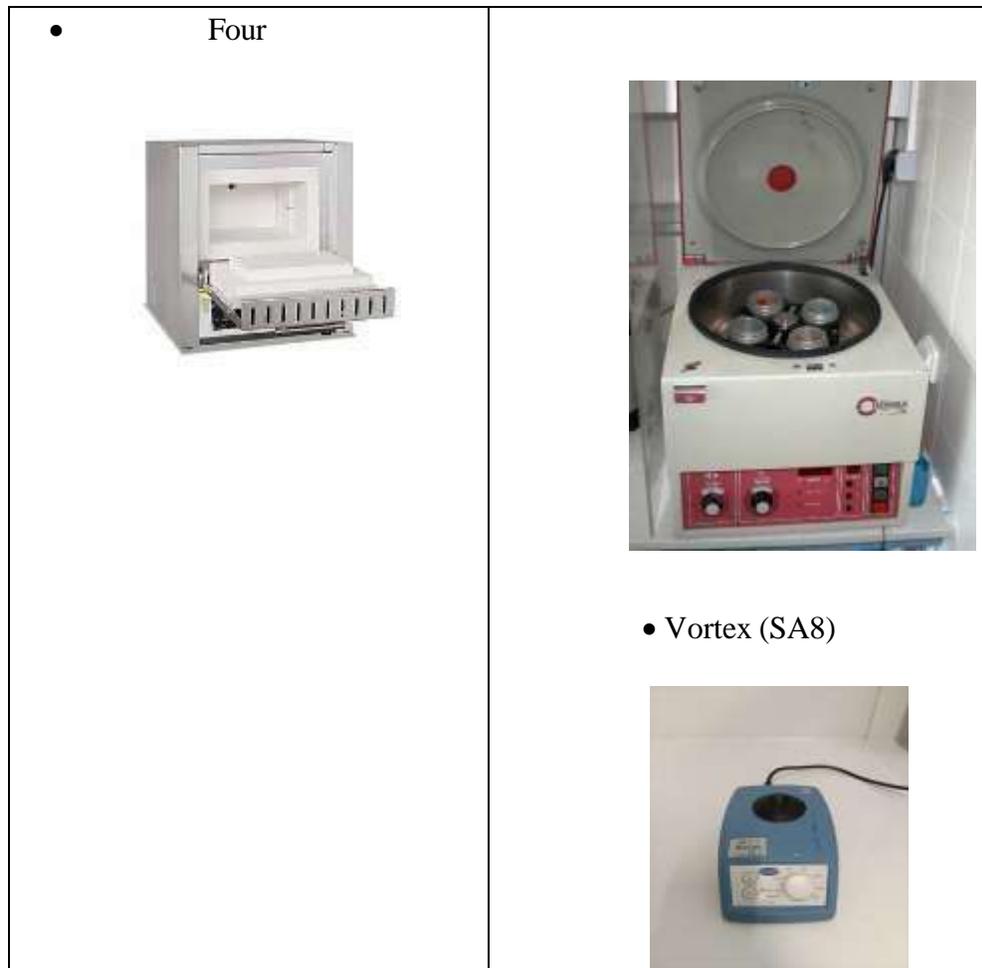
- Balance



- Étuve



- Centrifugation



### II.3.2 Matériel végétal :

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est la plante de *Pélargonium graveolens*.

#### II.3.2.1 Histoire :

Le *Pelargonium graveolens*, communément appelé géranium rosat, est une plante herbacée florifère de la famille des Geraniaceae, originaire de l'Afrique australe [1]. Cette espèce a été acclimatée en Australie, en Afrique de l'Est, en Nouvelle-Zélande, au Moyen-Orient, ainsi que dans les îles de Madagascar, Sainte-Hélène, Europa et en Afrique du Nord [2].

Au début du XXe siècle, la culture du géranium rosat s'est étendue à diverses régions, notamment la Corse (France), l'Italie, l'Espagne, le Portugal, le Maroc, la Tunisie, l'Égypte, la Russie, les Comores, l'Afrique du Sud, le Congo, l'Inde, le Brésil et la Chine [3].

### II.3.2.2 Présentation de plante :

La famille des Geraniaceae, également connue sous le nom de Géraniacées, regroupe des plantes dicotylédones authentiques comprenant 5 à 7 genres et 650 à 800 espèces. Elle se compose principalement d'arbustes, parfois à tiges ligneuses. Les genres *Géranium* et *Pélargonium* appartiennent à la famille des Geraniaceae et partagent un fruit allongé composé de 5 méricarpes, chacun renfermant une seule graine. [4]

***Pelargonium graveolens*** : Le terme scientifique "Géranium" dérive du grec "geranion", issu de "geranos" signifiant "grue", en référence à la forme allongée des fruits évoquant le bec des grues. "Pelargonium" provient de "pelargos" qui signifie "cigogne", en raison de la forme du fruit ressemblant au bec de cet oiseau. [4]

Le géranium rosat (*Pelargonium graveolens*) est une plante aromatique de la famille des Geraniaceae, originaire d'Afrique australe et largement cultivée dans de nombreuses régions méditerranéennes et subtropicales. En Algérie, cette plante annuelle et spontanée est abondamment répandue. Elle se caractérise par une apparence relativement basse et arbustive, atteignant jusqu'à 1,3 mètre de hauteur et 1 mètre de largeur. Ses tiges épaisses et velues sont très fermes, semblables au bois. Les feuilles sont couvertes de poils fins, leur donnant une texture douce. Contrairement à de nombreuses autres plantes, les feuilles du *Pélargonium graveolens* sont très ondulées et hérissées, ressemblant à des feuilles de laitue. [4]

**Tableau II.1** : classification de *Pelargonium graveolens*. [4]

Régne	Plantae (Plantes)
Sous- régime	<i>Tracheobionta (Trachéophytes)</i>
Super division	<i>Spermatophyta (plantes à graines)</i>
Division	<i>Magnoliophyta (ou angiospermes)</i>
Classe	<i>Magnoliopsida (ou dicotylédones)</i>

Sous-classe	<i>Rosidae</i>
Ordre	<i>Geraniales</i>
Famille	<i>Geraniaceae</i>
Genre	<i>Pelargonium</i>



**Figure II.2 :** la plante de *Pelargonium graveolens*.

#### **II.4 Morphologie de la plante :**

**Pelargonium graveolens** est une plante vivace à port semi-arbustif, formant de grandes touffes et ressemblant à *Pelargonium capitatum* mais de taille plus réduite. Sa largeur s'étend de 20 à 40 cm. Dans son habitat d'origine au Cap de Bonne Espérance, sa hauteur varie de 45 à 60 cm, tandis qu'en Europe, cette plante peut atteindre 60 cm à 1 mètre de hauteur. Par conséquent, sa hauteur moyenne se situe entre 40 et 80 cm [5].

**II.4.1 L'appareil végétatif :****II.4.1.1 Le système racinaire :**

Les racines de la plante sont hautement ramifiées, pouvant s'étendre jusqu'à une profondeur de 40 à 60 cm. [3]

**II.4.1.2 La tige:**

Les tiges sont élevées, extrêmement fragiles et sectionnées en cercle. Elles ont environ un diamètre de 0,6 à 1,3 cm et une longueur de 10 à 15 cm. De plus, ces tiges ont des poils mais ne contiennent aucune huile essentielle. [7].

**II.4.1.3 Le système foliaire :**

Il possède des feuilles stipulées et pétiolées disposées en phyllotaxie alterne. Les limbes, portés par des pétioles longs, sont divisés en 5 à 7 lobes, allant d'un vert foncé à un vert clair, mesurant de 5 à 8 cm de diamètre. [8] les stipules sont foliacées et cordées. Les feuilles du géranium rosat, [8] sont rugueuses, fortement recourbées, veloutées sur les deux faces et très parfumées. Les huiles essentielles odorantes de la plante se trouvent dans ces poils (ou duvets), ce qui explique que les feuilles dégagent une légère odeur de rose lorsqu'elles sont froissées. [8], ces poils sont appelés "poils sécréteurs à essence".

**II.4.1.4 Structure du poil sécréteur :**

L'épiderme est doté de poils sécréteurs, où certaines cellules produisent des huiles essentielles ou des résines. [3] le poil de *Pelargonium graveolens* se divise en deux parties distinctes : la tête et le pédicelle.

- La tête constitue la partie sécrétrice de l'essence. Elle représente l'élément terminal du poil, étant formée par une seule cellule sécrétrice.
- Le pédicelle est la base de ce poil. Il est pluricellulaire, avec des cellules moins volumineuses que celles de la cellule voisine appartenant à la tête. [3]

## II.5 Répartition géographique du géranium roset :

### ➤ Dans le monde:

Le *Pelargonium graveolens*, originaire d'Afrique du Sud, est une plante largement cultivée dans plusieurs régions du monde, notamment en Espagne, en Italie, au Maroc, à l'Île de la Réunion, en Égypte et en Chine. Ces deux derniers pays sont d'ailleurs les principaux producteurs de cette plante. [6]

### ➤ En Algérie :

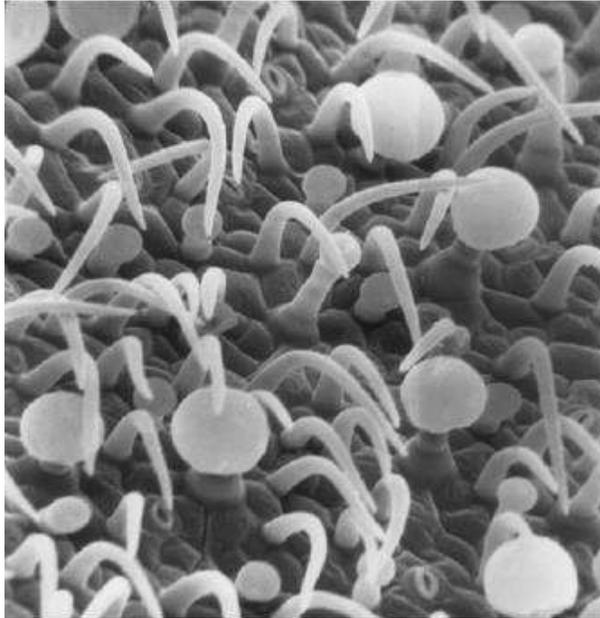
L'introduction du *Pelargonium graveolens* en Algérie remonte aux années 1850, avec les premiers plants venant de France. Les premiers essais ont été réalisés à Chéraga, dans la Wilaya d'Alger, et ont rapidement donné des résultats prometteurs, comme le soulignent [6]. À cette époque, le prix des essences était très élevé, avec l'essence de Géranium se vendant à 250 francs le kilogramme. [9]

En 1880, A. Chiris a établi de vastes plantations à Blida et Boufarik, avec une usine à Boufarik sous la direction de Gros et Monk. Les cultures se sont étendues dans toute l'Algérie, avec 1964 hectares rien qu'à Alger. Cependant, l'essor de la production a été freiné par l'apparition de nouvelles techniques permettant de produire artificiellement des parfums à des prix beaucoup plus bas, ce qui a fait chuter le prix de l'essence de Géranium à 18 francs le kilogramme en 1908 [6]. Cette concurrence a provoqué une crise et de nombreuses plantations ont été abandonnées.

Pourtant, quelques années plus tard, il est apparu que les essences artificielles ne pouvaient pas remplacer les essences naturelles, et la demande pour ces dernières est revenue en force. Les prix de l'essence de Géranium rosat ont atteint 300 francs à cette époque. Malgré l'abandon de nombreuses plantations dans les années 1960 en raison de la guerre d'indépendance, la région de Blida est restée un site de production résiduel de *Pelargonium graveolens*. On trouve également cette plante dans les jardins, les balcons et les cimetières. [9]

## II.6 Composition chimique de *Pelargonium graveolens* :

L'huile essentielle des feuilles du *Pelargonium* est généralement située dans les trichomes glandulaires des deux côtés de la feuille (voir figure 3). Elle joue, avec d'autres composés, un rôle crucial dans la protection de cette plante contre les attaques herbivores ou microbiennes dans son environnement naturel [10].



**Figure II.3:** Les trichomes glandulaires et non glandulaires de *Pélargonium graveolen*. [10].

Les huiles de *Pélargonium* présentent une composition chimique différente selon les cultivars utilisés, [9] le climat (incluant l'exposition au soleil, les précipitations et la température), le moment de la récolte, les engrais utilisés, etc. Néanmoins, les principaux constituants sont le citronellol, le géraniol et le linalol [11-14]

Les terpénoïdes autres que l'isomenthone, la menthone, le nérol, les oxydes de rose cis et les oxydes de rose trans, le terpinéol, le pinène, le myrcène et le phellandrène.

Par exemple, la composition chimique de l'huile essentielle de *P. graveolens* collectée dans la région de Blida (commune de Chiffa) est illustrée dans le tableau 3. On a obtenu ce résultat en utilisant la méthode de chromatographie en phase gazeuse associée à la spectroscopie.

**Tableau II.2 :** Composition chimique de l'huile essentielle de *Pelargonium graveolens*.  
[14].

Citronellol	19,22	Butyrate de citronellyle	1,68	$\alpha$ -Caryophyllène	0,3
Géranol	14,03	$\beta$ -Germacrène	1,03	Acétate de citronellyle	0,3
Formiate de citronellyle	10,02	Hexanoate de géranyle	0,97	Tiglate de citronellyle	0,29
10- $\epsilon$ -pi- $\gamma$ -eudesmol	7,15	$\gamma$ -Cubébène	0,92	$\alpha$ -Copaène	0,27
Acétate de géranyle	6,45	$\alpha$ -Cadinène	0,9	Cis- $\beta$ -Ocimène	0,26
Linalol	5,6	$\beta$ -Cubébène	0,81	Myrcène	0,23
Butyrate de géranyle	4,65	Cis Oxyde de rose	0,74	Limonène	0,2
Longifolène	3,25	Isobutyrate de géranyle	0,73	Guaiadiène-6,9	0,18
Isomenthone	3,08	$\alpha$ -Pinène	0,69	Spathulénol	0,16
$\beta$ -Bourbonène	2,75	Alloaromadendrène	0,62	Trans- $\beta$ -Ocimène	0,14
D-Germacrène	2,23	Propionate de citronellyle	0,56	$\alpha$ -Phellandrène	0,06
Formiate de géranyle	2	Menthone	0,39	Cis Oxyde de linalol	0,06
Tiglate de phénylethyle	1,89	Trans Oxyde de rose	0,31	Trans Oxyde de linalol	0,03
$\beta$ -Caryophyllène	1,71				
<b>Total = 96,86%</b>					

### II.7 Utilisation de *Pelargonium graveolens* :

L'hydrolat de géranium, caractérisé par son odeur fraîche et délicate, est considéré comme la meilleure des "eaux florales". Il est un allié essentiel dans tous les soins de la peau en raison de ses propriétés régénérantes, astringentes et purifiantes [15].

*P. graveolens* a été longuement employée dans la médecine traditionnelle en raison de ses multiples vertus médicinales. Par exemple, elle a été utilisée pour soigner les plaies et les

brûlures superficielles, pour effectuer des massages en cas de fatigue intense ou de stress, ainsi que pour soulager les hémorroïdes, les inflammations et même le cancer [16 ;17]. En outre, *P. graveolens* peut générer des composés aromatiques, qui sont renommés en médecine traditionnelle pour leurs activités biologiques remarquables, comme des propriétés antimicrobiennes, anti-inflammatoires, hémostatiques et cicatrisantes. Ainsi, cette plante représente une opportunité de production de substances actives pour les secteurs alimentaire et pharmaceutique [18].

### II.8 Mode opératoire [19;20] :

#### Préparation de l'extrait de plante *Pelargonium graveolens* :

- Comme une première étape, nous avons apporté la plante *Pelargonium graveolens*, qui est fraîche. Nous l'avons bien nettoyée de la poussière et de la saleté par l'eau distillé, puis nous la laissons sécher partiellement. (Nous séchons la plante naturellement pendant environ 45 minutes, puis nous la mettons à l'étuve environ 45 minutes).
- Après avoir séché la plante, nous la coupons en petit morceaux.
- Au laboratoire, on commence à préparer l'extrait de plante, on pèse 20g de *Pelargonium graveolens* Partiellement séchée., on vide la masse dans un bécher de 250ml, on ajoute 200ml d'eau distillée dans un bécher de 500ml. On pose le mélange on plaque chauffante avec agitation, en le chauffant jusqu'à ce qu'il atteigne une température allant de 60°C. on l'installe à cette température, il ne doit pas dépasser ce domaine, on le laisse environ 30 min pour la bonne extraction du composant de la plante.

- Après 30 minutes, nous retirons le mélange et procédons à la filtration en utilisant le papier filtre.



**Figure II.4 :** préparation de l'extrait de plante *Pelargonium graveolens*

**+ Préparation de solution d'anhydre de sulfate de cuivre ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) :**

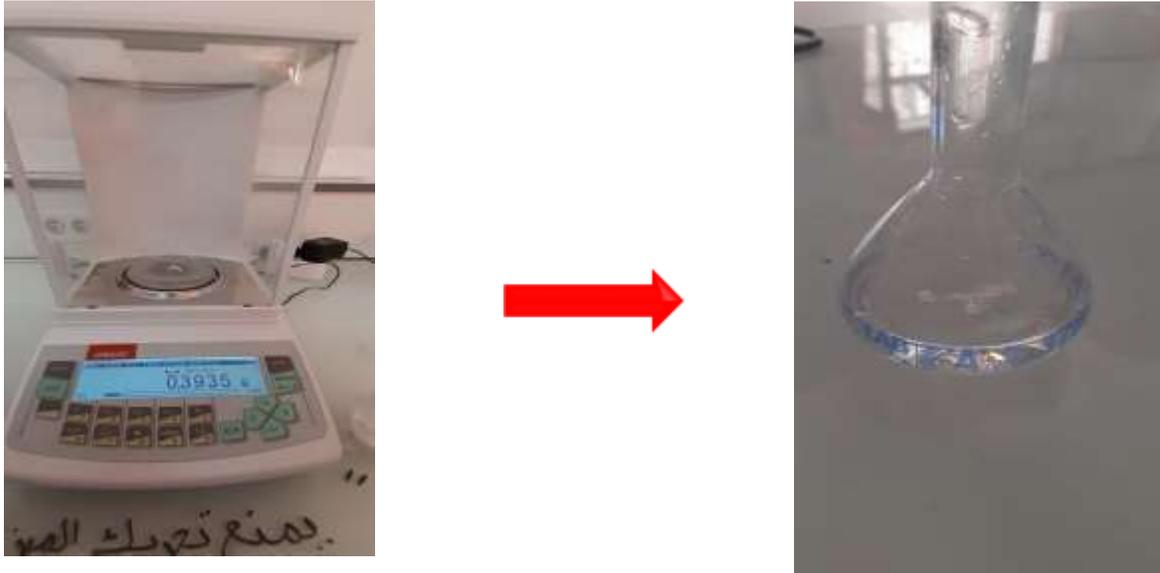
Nous pesons 2,49g de poudre de sulfate de cuivre bleue et en ajoutons à 100 ml d'eau distillée. Nous remuons vigoureusement le mélange jusqu'à ce que la poudre soit complètement dissoute et obtenir un mélange homogène.



**Figure II.5 :** préparation de solution de sulfate de cuivre

**✚ Préparation de solution de sulfate d'hydroxyde de sodium NaOH :**

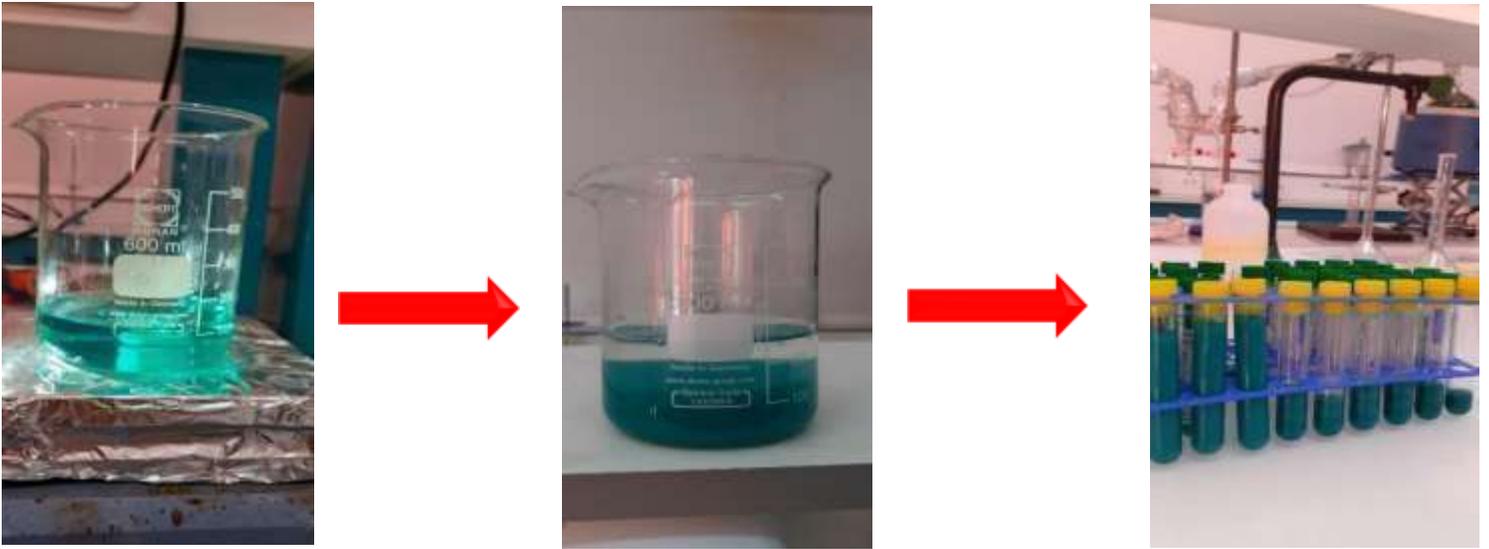
- On préparer la solution de NaOH d'une concentration 1M : on pèse 3.99g de NaOH et on ajoute de 100ml d'eau distillée. On Agite le mélange jusqu'à ce que les grains soient complètement dissous.



**Figure II.6 :** préparation de solution d'hydroxyde de sodium NaOH.

Après la préparation des 3 solutions :

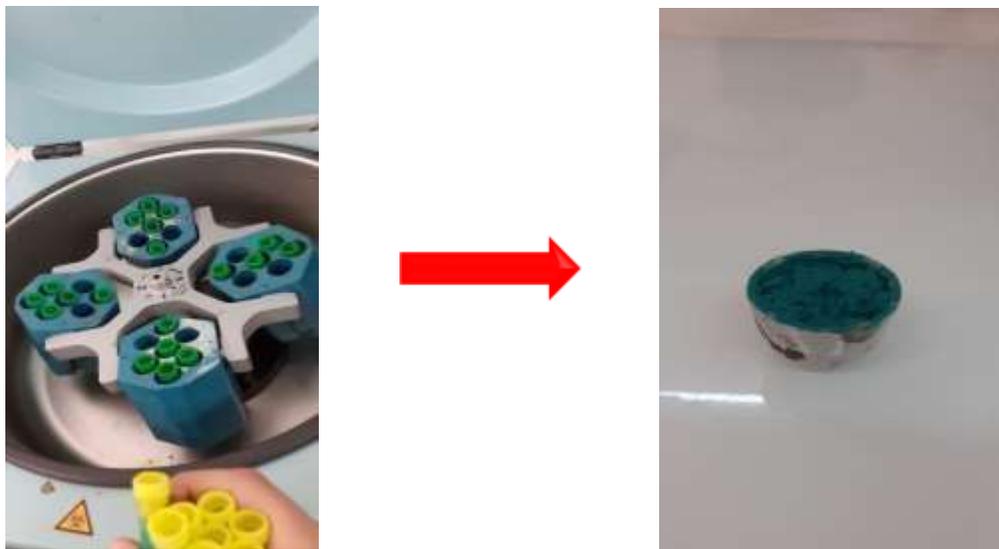
Dans une procédure réactionnelle pour la synthèse de nanoparticules d'oxyde de cuivre (CU NPs), 10 ml d'extrait de plante *Pelargonium graveolens* sont ajoutés à une solution de sulfate de cuivre ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) préalablement préparée. Le mélange réactionnel est maintenu à une température de  $60\text{ }^\circ\text{C}$  pendant 45 minutes (notant un changement de couleur de la solution du bleu au vert). Après avoir équilibré la solution (extrait de plante+ sulfate de cuivre), on la calibre en utilisant une solution de NaOH préparé à l'avance à une concentration de 1M pour ajuster la valeur de pH. On ajoute la solution goutte à goutte jusqu'à ce que le pH atteigne 7. On laisse le mélange s'équilibrer pendant la nuit.



**Figure II.7 :** formation des CuO-NPs.

Après on passe à l'étape de centrifugation, où les nanoparticules sont concentrées en utilisant la force centrifuge à 40 000 tr/min pendant 10 minutes. Le sédiment obtenu est lavé deux fois avec l'eau distillé, puis une fois avec l'éthanol pour obtenir une poudre de CuO-NPs pure et exempte d'impuretés.

Le produit obtenu a été recueillie et placée dans le récipient en porcelaine et est entrée dans le four à une température de jusqu'à 600 ° C pendant 1 heure.



**Figure II.8 :** Etape de centrifugation et calcination.



**Figure II.9 :** nanoparticules d'oxyde de cuivre (CuNPs).

## **II.9 Méthodes de caractérisations des nanoparticules :**

La caractérisation de nanoparticules synthétisées nécessite différentes techniques généralement sont : la spectroscopie UV-Visible, la diffraction des rayons X (DRX), la microscopie électronique à balayage (MEB) couplé à une spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX). Ces techniques sont décrites dans les paragraphes ci-dessous :

### **II.9.1 Spectroscopie UV-visible**

La spectroscopie UV-Vis est une technique largement utilisée pour étudier les propriétés optiques, telles que la transparence et l'énergie de bande interdite, du produit final. Pour cette étude,

un spectrophotomètre UviLine UV-Vis modèle 9400C a été utilisé, avec une plage de mesure couvrant les longueurs d'onde de 200 à 1000 nm.



**Figure II.10** : Uviline UV-visible modèle 9400C.

## II.9.2 Diffraction des rayons X (DRX) :

### II.9.2.1 Définition :

La diffraction des rayons X est une méthode puissante utilisée depuis presque cent ans pour mesurer comment les grains sont orientés et déformés, et pour identifier la structure cristalline et affiner la structure. Comparée à la microscopie électronique, elle permet de pénétrer plus profondément dans les échantillons (ce qui permet de balayer des échantillons en vrac ou enfouis), elle ne nécessite aucune préparation spéciale des échantillons et peut être utilisée dans différentes conditions (dans l'air, le liquide, le vide ou le gaz, à différentes températures et pressions) [21]. La diffraction des rayons X est une méthode d'analyse qui se base sur la façon dont le réseau cristallin se déforme de manière élastique. Cette méthode de caractérisation, qui ne détruit pas l'échantillon, fournit de nombreuses informations sur la structure cristalline et, par conséquent, sur la façon dont le matériau se comporte mécaniquement. [22]



**Figure II.11** : diffractomètre de modèle Malvern Panalytical.

### II.9.2.2 Principe :

Le DRX est largement utilisé pour analyser les phases et la structure cristalline des matériaux. Il fonctionne en utilisant des rayons X monochromatiques incidents à la surface du matériau pour obtenir une diffraction des rayons X dans diverses directions et intensités. En fonction des différentes composantes de la phase et de la structure cristalline, divers diagrammes de diffraction sont obtenus en fonction de sa direction et de son intensité de diffraction [23]. Les atomes d'un réseau doivent être réguliers et bien répartis lorsqu'un rayon X pénètre dans la surface d'un matériau car ses plans cristallins diffractent le faisceau électromagnétique. [24] Les indices de Miller désignent la structure des atomes en plans réticulaires.

Cette méthode de caractérisation utilise un faisceau de rayons X monochromatique (de longueur d'onde  $\lambda$ ) qui est bombardé parallèlement à l'échantillon à analyser. Ensuite, un détecteur détecte un faisceau diffracté lorsque l'angle d'incidence est égal à l'angle de Bragg pour la longueur d'onde fixée. Ainsi, un pic de diffraction est enregistré et son intensité est mesurée. La loi de Bragg suivante [25] peut être utilisée pour identifier les pics de diffraction, qui sont des directions ou des interactions constructives :

$$2d_{h,k,l} \sin(\theta) = n\lambda$$

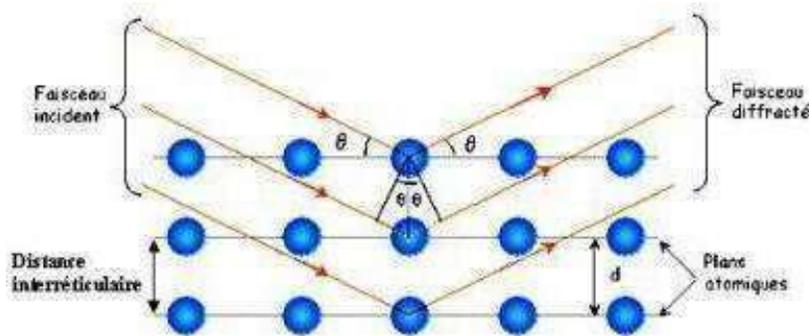
Où :

$\lambda$ : est la longueur d'onde utilisée.

$\theta$ : l'angle d'incidence des rayons X (angle de Bragg).

$n$  : est l'ordre de la diffraction.

$d$  : la distance inter réticulaire.



**Figure II. 12 :** Illustration de la loi de Bragg [26].

Les diagrammes de diffraction offrent une méthode permettant de mesurer diverses caractéristiques des nanocristaux, telles que l'unicité de leur structure, la pureté de leur phase, leur degré de cristallinité ainsi que les paramètres des cellules unitaires des matériaux nanocristallins. La technique de diffraction des rayons X (DRX) est non destructive et ne nécessite pas une préparation d'échantillons poussée. Pour estimer la taille des cristaux à l'échelle nanométrique, on utilise l'analyse de l'élargissement des pics de

diffraction en DRX, en se basant sur la largeur à mi-hauteur  $\beta$  (FWHM) du pic enregistré à un angle  $2\theta$  donné. La taille moyenne des nanoparticules peut être évaluée en utilisant l'équation de Debye-Scherrer [27 ;28] :

$$D = \frac{\lambda K}{\beta \cos \Theta}$$

Où

$D$  = Taille des cristaux

$k$  = Constante de Scherrer proche de 1 prend en général la valeur 0.9.

$\lambda$  = Longueur d'onde des rayons X

$\beta$  = Largeur à mi-hauteur de la réflexion à l'angle de Bragg  $2\theta$ . (FWHM( $\beta$ ) la largeur à mi-hauteur (en rad) du pic).

### II.9.3 Microscopie électronique à balayage (MEB) :

#### II.9.3.1 Définition :

La microscopie électronique à balayage (MEB) est une technique puissante pour observer la topographie des surfaces. Elle repose sur la détection des rayonnements émis par un échantillon lorsqu'il est balayé par un faisceau d'électrons [29]. Le MEB envoie un faisceau d'électrons sur la surface de l'échantillon, qui émet en réponse certaines particules. Ces particules sont analysées par différents détecteurs permettant de reconstruire une image en trois dimensions de la surface. Cette technique utilise un faisceau d'électrons pour observer la matière après avoir mis l'échantillon sous vide. Les électrons primaires provenant du canon à électrons frappent la surface de l'échantillon. [30].



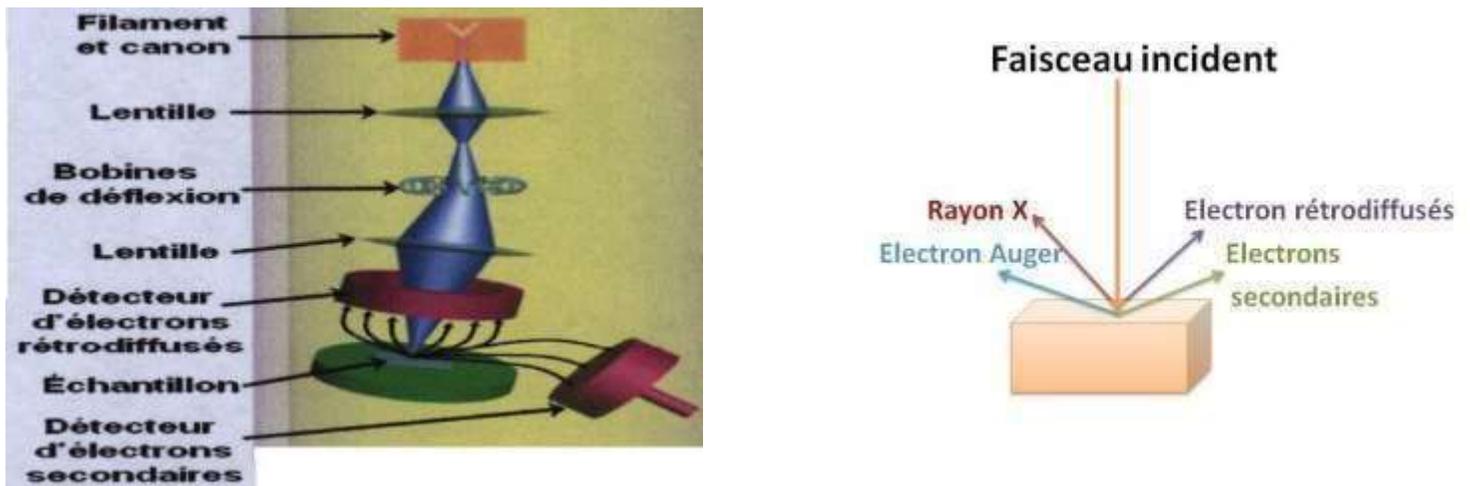
**Figure II.13:** Appareil de MEB couplé à l'EDX «SU3500 ».

### **II.9.3.2 Principe :**

Le principe du balayage implique d'explorer la surface de l'échantillon ligne par ligne et de transmettre le signal du détecteur à un écran cathodique dont le balayage est synchronisé avec celui du faisceau incident. Le microscope à balayage utilise un faisceau très fin qui balaie la surface de l'électrode point par point. Le MEB utilise un filament en tungstène, composé d'une colonne d'électrons, d'un circuit sous vide et d'une partie électronique, le tout étant contrôlé par un micro-ordinateur. Le canon situé en haut de la colonne produit un faisceau d'électrons focalisé en une fine sonde, de moins de 5 nm, sur l'échantillon avec un balayage. Les électrons émis par l'échantillon sont collectés par un détecteur et convertis en un signal amplifié. [31]

Les images des électrons secondaires, qui sont émises par interaction entre le rayon incident et la zone observée, fournissent des informations sur la topographie de l'échantillon. Les rayons X sont créés par les interactions entre les électrons et la matière.

Ils peuvent être analysés à l'aide d'un spectromètre à dispersion d'énergie (EDX) afin d'obtenir la composition fondamentale de la zone examinée, qui comprend des éléments avec un nombre atomique supérieur à celui du béryllium. Le volume le plus petit analysable est une poire de 5  $\mu\text{m}$  de diamètre à partir de la surface de l'échantillon [32].



**Figure II.14** : Principe de fonctionnement de microscope à balayage (MEB) [33].

#### II.9.4 Spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX) :

##### II.9.4.1 Définition:

La spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie ou Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS ou EDXS) en anglais est une spectroscopie des rayons X dans laquelle l'énergie des photons individuels est mesurée par un détecteur et utilisée pour construire un histogramme représentant la distribution des rayons X en fonction de l'énergie.

##### II.9.4.2 Principe:

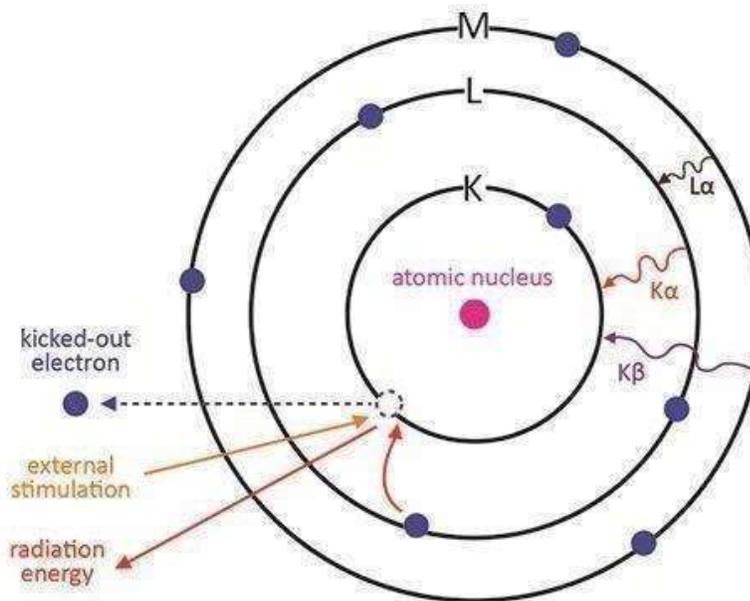
Les microscopes sont équipés d'un spectromètre à rayons X à énergie dispersive (EDX), pour étudier la composition chimique présentes au sein de l'échantillon.

De plus, La spectrométrie à dispersion des énergies a été utilisée conjointement au MEB pour identifier les éléments présents dans les principaux constituants microstructuraux [34].

L'EDX est une technique analytique utilisée pour analyser les éléments afin de connaître leurs propriétés chimiques. Pour les échantillons, le principe de cette technique repose sur le fait que les rayons X, qui résultent de l'influence mutuelle entre des particules

Chargées telles qu'un faisceau d'électrons avec le matériau de l'échantillon, sont caractéristiques des éléments correspondants dans l'échantillon, de sorte que la composition peut être connue. En d'autres termes, puisque chaque élément a sa propre structure atomique distincte, il a un ensemble distinct de pics dans l'EDX. Pour obtenir les rayons X caractéristiques de la substance, les atomes doivent d'abord être excités. Cela se produit en bombardant le matériau avec un faisceau d'électrons, comme dans un MEB, ou avec un faisceau de rayons X, comme dans la fluorescence X. En conséquence, un électron est émis par les orbitales atomiques internes, et un processus d'agitation et d'instabilité se produit à la suite d'une vacance d'électrons, qui est remplie par des orbitales atomiques supérieures. Lorsque les électrons se déplacent des orbitales atomiques supérieures vers les orbitales inférieures, ils émettent des rayons X dont l'énergie correspond à la différence d'énergie entre les orbitales atomiques. Cette différence d'énergie est caractéristique de chaque élément chimique (C'est transitions quantiques, sont symbolisées par  $k, k, L \dots$ ) [34].

La technique EDX jumelée à la technique MEB est très utile puisqu'elle permet d'exécuter des microanalyses chimiques de régions ciblées [35].



**Figure II.15:** Schéma de principe d'une spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie.

**II.10 Références:**

- [1] Blerot B, Baudino S, Prunier C, Demarne F, Toulemonde B, Caissard JC. Botany, agronomy and biotechnology of *Pelargonium* used for essential oil production. *Phytochem Rev.* 2016; 15(5):935-960.
- [2] Bown D. *New Encyclopedia of Herbs and Their Uses: The Definitive Guide to the Identification, Cultivation, and Uses of Herbs the Definitive Guide to the Identification, Cultivation and Uses of Herbs.* New York: Dorling Kindersley; 2001; 173-195p.
- [3] Ghedira, K., & Goetz, P. (2015). *Géranium rosat : Pelargonium graveolens L'Her (Géraniaceae)*. *Phytothérapie*. article 13(3), 197–201. doi :10.1007/s10298-015-0955-x.
- [4] D. Souaad et G. Sara, « Caractérisation des extraits bruts de *Pelargonium graveolens* Cultivé au Maader (région de Hodna, Algérie) », Mémoire de fin d'études de master, UNIVERSITÉ MOHAMED BOUDIAF DE M'SILA, M'SILA, 2019.
- [5] Miller, M. (2002). *Géranium et Pélargonium. La taxonomie des espèces et des cultivars de géranium, leurs origines et leur croissance à l'état sauvage* (Ed) Taylor&Francis. Université de South Bank, Londres, Royaume-Uni, 49-79, livre 49-79.
- [7] Kubitzki, K. (2007). *The Families and Genera of Vascular Plants. IX Flowering Plants. Eudicots.* Springer Berlin Heidelberg New York: livre 503 p.
- [8] Simpson, M. G. (2010). *Plant Systematics, Second Edition*, Academic Press livre
- [9] Boukhris, M., Simmonds, M. S. J., Sayadi, S., & Bouaziz, M. (2012). *Chemical Composition and Biological Activities of Polar Extracts and Essential Oil of Rosascented Geranium, Pelargonium graveolens.* *Phytotherapy Research* article, 27(8), 1206–1213. doi:10.1002/ptr.4853.
- [10] Williams CA, Harborne JB (2002) *Phytochemistry of the genus Pelargonium.* In: Lis-Balchin, M. (Ed.), *Geranium and Pelargonium.* London: Taylor and Francis, p. 172-205.
- [11] Lis-Balchin M (2002) *Geranium and Pelargonium. The genera Geranium and Pelargonium* (Ed) Taylor & Francis. South Bank University, London, UK, 11-19.
- (M)

[12] **Ben Hsouna. A, Hamdi. N. (2012)** Phytochemical composition and antimicrobial activities of the essential oils and organic extracts from *Pelargonium graveolens* growing in Tunisia Lipids Health Dis, 11, p. 167.

[13] **Džamić. AM;Soković. MD;Ristić. MS;Grujić. SM;Mileski. KS; Marin. PD (2014)**

Chemical composition, antifungal and antioxidant activity of *Pelargonium graveolens* essential oil. Journal of Applied Pharmaceutical Science, 4 (03): 001-005.

[14] **Atailia I., Djahoudi A. (2015)** Chemical composition and antibacterial activity of geranium essential oil (*Pelargonium graveolens* L'Hér.) cultivated in Algeria. Phytothérapie, 13:156-157.

[15] **BOUKHATEM M N., HAMAIDI M S., SAIDI F., HAKIM Y., BENOMIER K. (2010).**

Extraction, composition et valorisation de l'eau aromatique de géranium rosat (*Pelargonium graveolens*) dans la dermatopharmacie. Revue « Nature et Technologie ». n° 02 Janvier 2010. P 59 – 64.

[16] Saraswathi,J.,Venkatesh,K.,Baburao,N.,Hill,M.H.,Roja,R.A.,etal.(2011).Phytopharmacological importance of *Pelargonium* species. *Journal of Medicinal Plants Research* 5: 2587-2598.

[17] Asgarpanah,J., Ramezanloo,F. (2015). An overview of Phytopharmacology of *Pelargonium graveolens* L. Indian Journal of draesoznaũknowledge 14: 558-563.

[18] **Boukhatem, M.N., Hamaidi, M. S., Saidi, F (1), Hakim, Y., Benomier, K. (2010).** Extraction, composition et valorisation de l'eau aromatique de géranium rosat (*Pelargonium graveolens*) dans la dermatopharmacie. *Nature et Technologie*° 02, pp.50-55.

[19] Alhalili, Z., Green synthesis of copper oxide nanoparticles CuO NPs from Eucalyptus Globoulus leaf extract: Adsorption and design of experiments. Arabian Journal of Chemistry, 2022. 15(5): p. 103739.

[20] Caroling, G., et al., Biosynthesis of copper nanoparticles using aqueous guava extract-characterisation and study of antibacterial effects. *Int J Pharm Biol Sci*, 2015. 5(2): p. 25-43.

[21] Tamura, N., et al., Submicron x-ray diffraction and its applications to problems in materials and environmental science. *Review of scientific instruments*, 2002. 73(3): p. 1369-1372.

[22] Hfaiedh, N., et al. Mesure des microdéformations dans les tôles minces en cuivre par DRX. in *CFM 2007-18ème Congrès Français de Mécanique*. 2007. AFM, Maison de la Mécanique, 39/41 rue Louis Blanc-92400 Courbevoie.

[23] Li, M., Préparation de matériaux composites pour supercondensateurs à hautes performances. 2020.

[24] Zhang, Y., Développement de nouveaux matériaux de protection pour outils de coupe lors d'usinage cryogénique d'alliages pour l'aéronautique. 2022, Paris, HESAM.

[25] Sassane, N., et al. Analyse par spectroscopie Infrarouge à transformée de Fourier et diffraction des rayons X d'un matériau composite. in *6 èmes Journées Scientifiques Franco-Maghrébines*. 2019.

[26] M. I. Khan et al., « Green synthesis of magnesium oxide nanoparticles using Dalbergia sissoo extract for photocatalytic activity and antibacterial efficacy », *Appl. Nanosci.*, vol. 10, no 7, p. 2351-2364, juill. 2020, doi: 10.1007/s13204-020-01414-x.

[27] H. Yaghoubian, S. Jahani, H. Beitollahi, S. Tajik, R. Hosseinzadeh, et P. Biparva, « Voltammetric Determination of Droxidopa in the Presence of Tryptophan Using a Nanostructured Base Electrochemical Sensor », *J. Electrochem. Sci. Technol.*, vol. 9, p. 109-117, juin 2019, doi: 10.33961/JECST.2018.9.2.109

[28] K. Ahlem, « Synthèse écologique des nanoparticules des oxydes de cuivre et application photocatalytique. », Université des Frères Mentouri, CONSTANTINE, 2018.

[29] BELGHERBI, O., Electrodéposition et caractérisation des films minces de polyaniline

---

dopés par des métaux de transition et leurs applications. 2020.

[30] Samiya, M.A., Elaboration et caractérisation de matériaux composites à base des nanoparticules du semi-conducteur CuO et de l'oxyde de terre rare Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dispersées dans les matrices diélectriques KBr, KCl et NaCl. 2015.

[31] Laidoudi, S., Elaboration électrochimique de nanostructures d'oxyde de cuivre (Cu<sub>2</sub>O). 2016, Université Ferhat Abbas-Sétif 1.

[32] Jouili, M., Caractérisations mécaniques et microstructurales des films de zircone obtenus par MOCVD et Sol-Gel. 2011, Université Paris Sud-Paris XI.

[33] C. Ahmed, « Elaboration et étude optique des nanocomposites à base de silicium poreux et des colorants lasers : Mise en évidence du transfert d'excitation par mémoire de polarisation », These de doctorat en physique, Faculte des sciences en Tunis, Tunis, 2009.

[34] B. Lazhar, « Contribution à l'étude des propriétés mécaniques de l'alliage Fe-Cu »,

These de doctoraten Sciences en mécanique, Université de Batna 2 – Mostefa Ben Boulaïd, Batna, 2018.

[35] J. Maji, S. Pandey, et S. Basu, « Synthesis and evaluation of antibacterial properties of magnesium oxide nanoparticles », Bull. Mater. Sci., vol. 43, no 1, p. 25, déc. 2020, doi: 10.1007/s12034-019-1963-5.

# **Chapitre III**

## **Résultats et discussion**

### III.1 Introduction :

Ce chapitre est entièrement dédié à la présentation des résultats de la biosynthèse écologique des nanoparticules d'oxyde de cuivre préparées à partir de l'extrait de plante de *pélargonium graveolens* utilisé comme réducteur biologique.

Les NPs d'oxyde de cuivre préparé ont été caractérisés en utilisant le spectroscopie UV-visible, DRX, (MEB, SEM) couplé à (EDX).

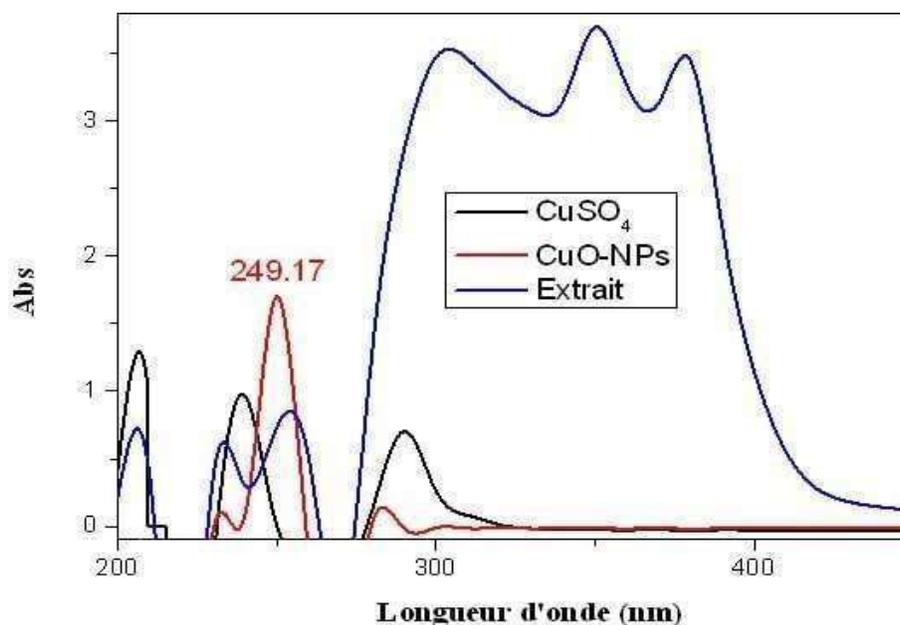
### III.2 Caractérisation des nanoparticules d'oxyde de cuivre (CuONPs) :

#### III.2.1 Les nanoparticules de synthèse biologiques :

##### III.2.1.1 Spectroscopie UV-Vis :

Lorsque l'extrait aqueux des grains de plante de *p. graveolens* est mélangé avec une solution d'anhydride de sulfate de cuivre, la couleur commence à changer du vert au bleu en raison de la réduction des ions de cuivre. La figure III.1 représente le spectre d'absorption UV-Vis des CuO-NPs synthétisées par méthode biologique.

- **Pour la solution de CuSO<sub>4</sub>** : les pics d'absorption apparaissent dans la région UV-visible entre 200 et 300nm, indiquant des transitions électroniques spécifiques des ions de cuivre dans la solution.
- **Pour le CuO-NPs** : les spectres UV-visible des particules de CuO montrent des pics d'absorption principaux à 249.17nm correspondant aux valeurs mentionnées dans la littérature pour les nanoparticules de CuO. Cela indique la présence de transition électronique distinctes de cuivre sous forme nanostructure, ainsi que des propriétés uniques dues à la petite taille des nanoparticules.
- **Pour l'extrait de *p. graveolens*** : il montre une gamme variée de pics d'absorption, indiquant la présence de plusieurs composés organiques actifs.



**Figure.III.1** : Spectre ultraviolet visible (UV-Vis) des CuO-NPs synthétisées.

### III.2.1.2 Diffraction des rayons X (DRX) :

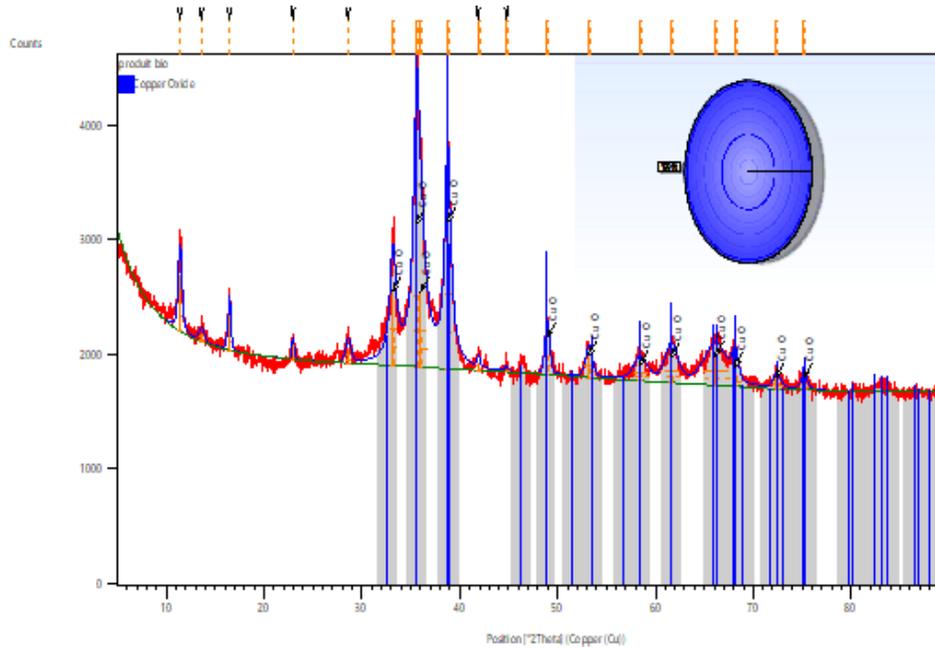
Nous avons caractérisé les nanoparticules de CuO par diffraction des rayons X DRX avec une source de rayons X émettant un rayonnement  $K\alpha$  du cuivre d'une longueur d'onde

$\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$  afin de déterminer la structure cristalline de phase formée dans l'échantillon.

Le diffractogramme des nanoparticules de CuO synthétisé à partir de l'extrait de *p. graveolens* est présenté sur la Figure III.2.

Le diagramme de diffractions de CuO-NPs préparé montre 6 pics distincts correspondant aux angles  $2\theta$  à :  $33.15^\circ$ ,  $35.57^\circ$ ,  $48.90^\circ$ ,  $61.74^\circ$ ,  $66.1^\circ$  et  $75.15^\circ$  associés respectivement aux plans (hkl) cristallins (110), (111), (202), (113), (311), (222) indiquant la structure monoclinique (Le paramètre de la maille est  $a = 4.6833 \text{ \AA}$ ,  $b = 3.4208 \text{ \AA}$ ,  $c = 5.1294 \text{ \AA}$ ) de CuO rapporté dans la base de données JCPDS (N.01-080-1268).

Les pics forts et nets indiquent la cristallinité élevée du CuO préparé et l'absence de tout pic supplémentaire autre que les pics de diffraction caractéristiques de CUO-NPs concernant l'intensité des pics.



**Figure III.2:** Analyse des nanoparticules CuO synthétisées avec de l'extrait de *p. graveolens* par DRX.

La taille moyenne d'échantillon préparé (CuONPs) est calculée par la relation de Debye Scherrer. Les résultats obtenus sont représentés Dans le tableau III.1 :

**Tableau III.1 :** Angle de diffraction, FWHM et diamètre des nanoparticules biologique.

	2θ	FWHM	D (nm)	
CuO-NPs	33.15	0.013	10.665	9. 56 6 n m
	35.57	0.012	11.554	
	48.90	0.09	15.406	
	61.74	0.026	5	
			3	
			3	
	66.1	0.048	2	
			8	
			8	

---

			8	
	75.15	0.012	11.555	

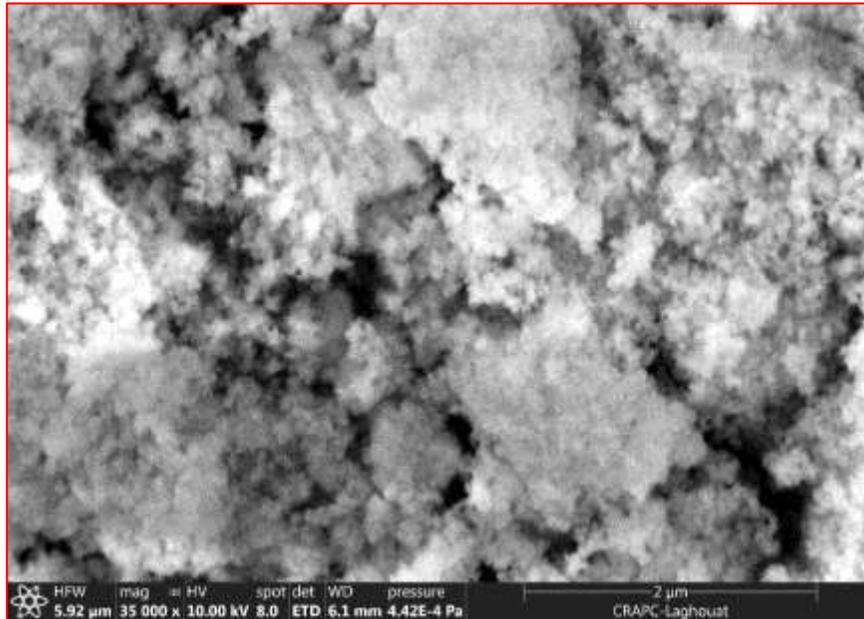
### III.2.1.3 Microscope électronique à balayage (MEB, SEM) :

La morphologie de la surface des CuO-NPs a été examinée à l'aide de la microscopie électronique à balayage (MEB), tandis que l'identification de tous les éléments atomiques des CUO-NPs a été réalisée grâce à la spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie (EDX).

Un microscope électronique à balayage (MEB) de modèle SU3500 est employé afin de réaliser l'analyse MEB pour déterminer la morphologie des CUO-NPs . La figure III.3 montre les résultats obtenus avec un grossissement de 35000 fois.

L'images MEB des nanoparticules de CuO biosynthétisées à partir de l'extrait aqueux de plante de *P.graveolens* montrent qu'elles ont une forme sphérique et bien définie, et nous observons également des agglomérats sur la surface.

L'image MEB montre que la plupart des nanoparticules de CuO sont situées dans le domaine nanométrique.



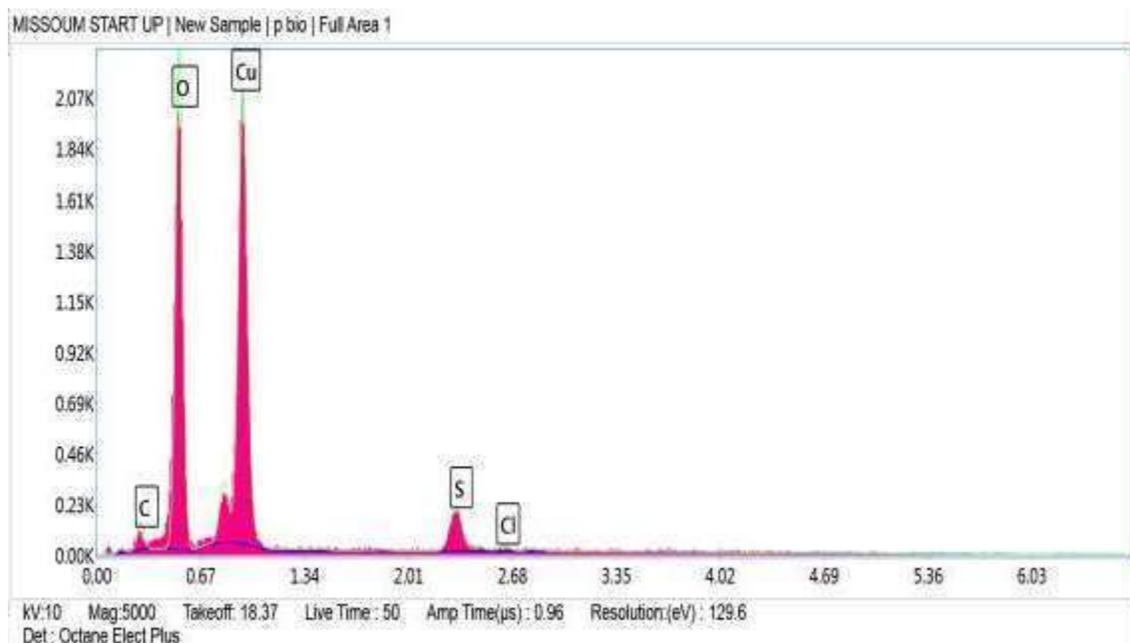
**Figure III.3** : Images MEB des nanoparticules CuO synthétisées avec de l'extrait aqueux de *P. graveolens*.

### III.2.1.4 Spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX)

Afin de vérifier la composition chimique de nos nanoparticules de CuO formées, un analyseur d'énergie des rayons X (EDX) est couplé avec le MEB. Cet appareil permet de déterminer la nature et l'abondance des différents éléments chimiques. Les résultats obtenus par EDX sont donnés sur la figure III.4 et le tableau III.2.

L'analyse spectroscopique aux rayons X a révélé la présence de pics pour tous les nanocomposites obtenus après la calcination d'échantillon de CuNPs utilisant la plante de *P. graveolens*. Le premier spectre de CuO-NPs a révélé un pic caractéristique élevé, de cuivre suivi d'oxygène de soufre, de carbone et de chlore.

Les pourcentages élémentaires de composites présents dans les nanoparticules étaient de 51.77% de cuivre, 35.60% d'oxygène, 6.58 % de soufre, 5.26 % de carbone et 0.79% de chlore.



**Figure III. 4 :** Spectre d'analyse EDX des nanoparticules CuO synthétisées avec de l'extrait aqueux De *p. graveolens*.

**Tableau III.2:** Les compositions chimique d'échantillon synthétisées.

Elément	Massique %	Atomique %
Carbone C (K)	5.26	11.83
Oxygène O (K)	35.60	60.05
Soufre S (K)	6.58	5.54
Chlore Cl (K)	0.79	0.60
Cuivre Cu (L)	51.77	21.99

### III.2.2 Les nanoparticules de synthèse chimique (méthode de précipitation) :

Pour comparer les résultats de la caractérisation biologique avec les résultats de la caractérisation chimique, nous prenons les résultats de la caractérisation chimique des nanoparticules d'oxyde de cuivre préparées par la méthode précipitation.

La synthèse chimique des nanoparticules d'oxydes de cuivre (CuONPs) a été préparée par :

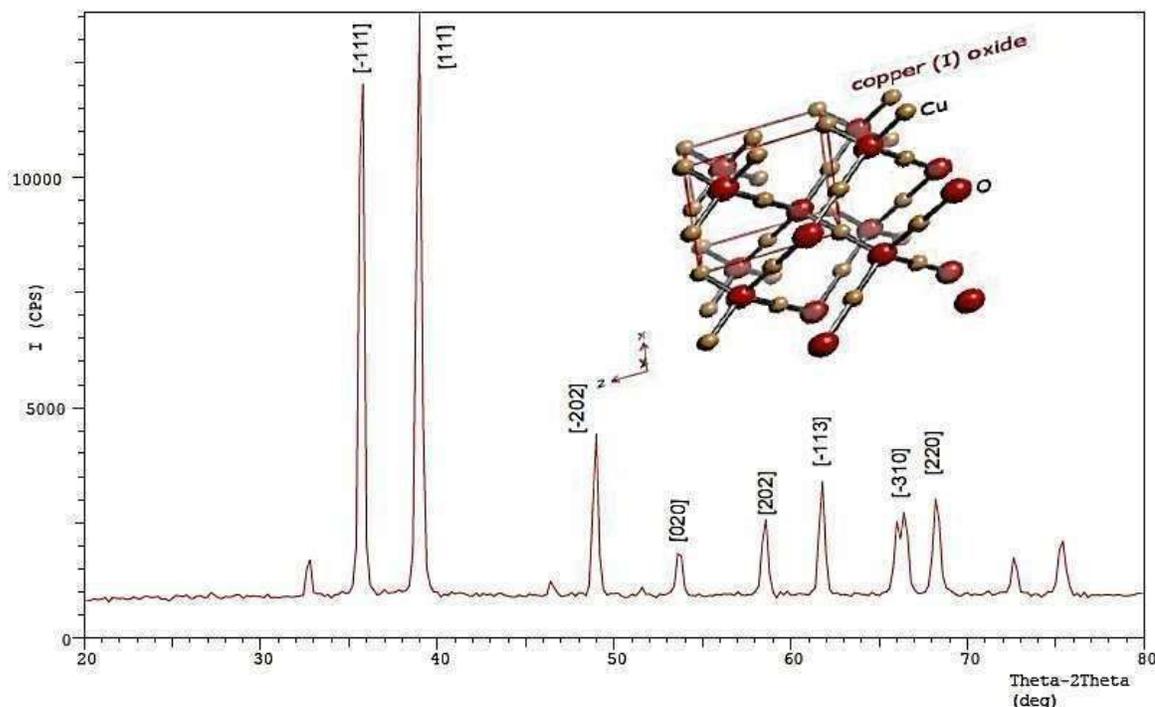
La préparation de l'oxyde de cuivre nanométrique par voie de précipitation s'effectue en deux étapes. D'abord, 1,5 g d'acétate de cuivre monohydraté est dissous dans 300 ml d'eau distillée, avec l'ajout de trois gouttes d'acide acétique glaciaire à 32 °C. Ensuite, 8 g d'hydroxyde de sodium dissous dans 200 ml d'eau distillée sont ajoutés goutte à goutte, faisant passer la solution d'un bleu brillant à un bleu foncé, puis laissée reposer jusqu'à devenir noire. La boue noire est filtrée par centrifugation, lavée à l'eau, puis l'échantillon est séché à température ambiante et recuit à 700 °C. Enfin, l'échantillon de nanoparticules d'oxyde de cuivre est broyé. [1]

### III.2.2.1 Diffraction des Rayons X(DRX) des Nanoparticule CuO :

Pour vérifier que la poudre obtenue est composée de nanoparticules d'oxyde de cuivre, nous réalisons des expériences de diffraction des rayons X afin d'obtenir une liste des pics ou des raies de diffraction. Chaque pic correspond à une famille de plans cristallins indexés par des indices de Miller (hkl). Ensuite, nous comparons les résultats expérimentaux avec les données de référence disponibles dans les fichiers J.C.P.D pour identifier la phase cristalline et ses paramètres de maille. La caractérisation DRX a été faite en utilisant un diffractomètre où un rayonnement X provenant de l'émission  $K\alpha$  du cuivre, de longueur d'onde  $\lambda=1.5405 \text{ \AA}$ .

Les résultats réfractifs des échantillons d'oxyde de cuivre préparés par voie chimique ont révélé la présence de la phase monoclinique des particules d'oxyde de cuivre nanométriques. La figure III.5 montre la présence de 6 pics de diffraction à des angles de  $2\theta$  :  $38,9^\circ$ ,  $35,6^\circ$  et  $48,9^\circ$  correspondent respectivement aux plans atomiques (111), (-111) et (-202). Dans cette étude, la taille des particules du pic le plus intense, situé à  $38,9^\circ$ , est de 15,93 nm. Le tableau 1 présente les dimensions, l'angle de diffraction, la largeur à mi-hauteur, l'espacement d, et le plan de diffraction de l'échantillon de CuO.

Cet accord suggère que les nanoparticules de CuO synthétisées possèdent une structure cristalline clairement définie et montrent un comportement de diffraction caractéristique compatible avec la phase monoclinique du CuO.



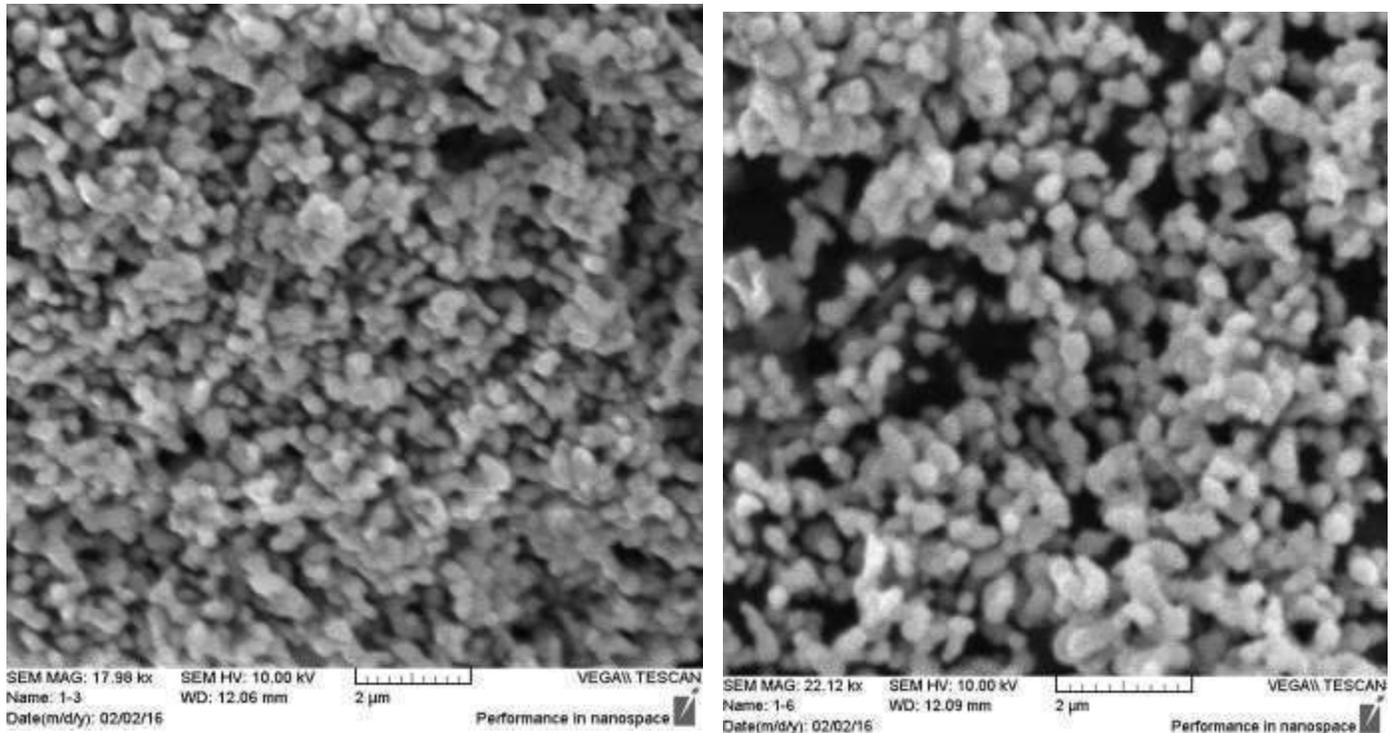
**Figure III.5 :** Diffraction des rayons X des nanoparticules de CuO (chimique). [1]

**Tableau III.3 :** Angle de diffraction, FWHM, Plan de diffraction de CuO-NPs chimique (méthode de précipitation). [1]

Nu m de pic	Angle de diffraction	FWHM	Plan de diffraction
1	38.96	2.3095	100
2	35.68	2.5138	67
3	48.92	1.8602	26

### III.2.2.2 Microscope électronique à balayage (MEB, SEM)

La morphologie des nanoparticules d'oxyde de cuivre synthétisées par la synthèse chimique (méthode de précipitation) a été étudiée à l'aide de la microscopie électronique à balayage (MEB). Les résultats illustrés sur la figure III.6 indique que les nanoparticules de CuO sont situées dans le domaine nanométrique, Il est à noter qu'il existe une différence dans la structure de CuO, qui tend à adopter une forme plus sphérique et presque architecturale grâce à la méthode de précipitation, avec une distribution homogène et de petites agglomérations.



**Figure III.6 :** Image au microscope électronique à balayage (MEB) des nanoparticules de CuO (chimique) [1]

### III.3 Comparaison se résultat de synthèse biologiques et chimiques de CuO-NPs

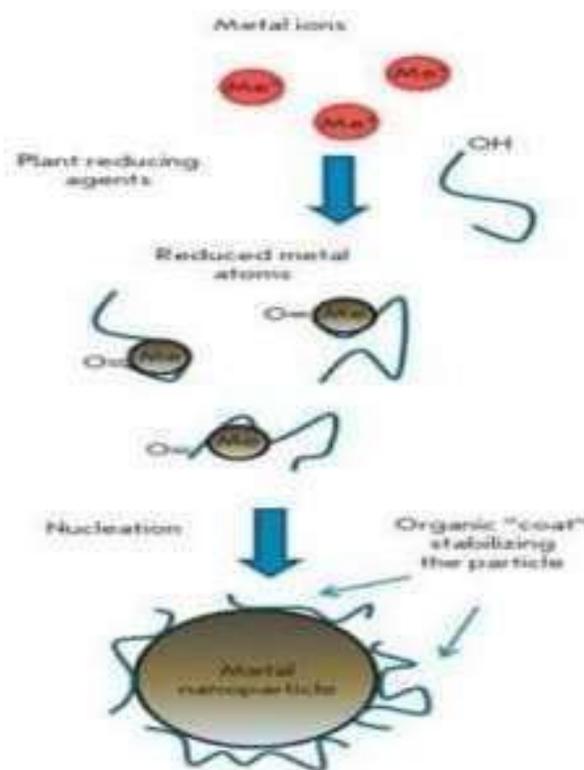
- **Selon la morphologie :** Les résultats de MEB ont montré que les nanoparticules d'oxyde de cuivre varient en fonction de la méthode de synthèse. Lors de la synthèse biologique, les nanoparticules avaient une forme sphérique, tandis que lors de la synthèse chimique, elles prenaient la forme de sphérique plus définie : La morphologie des nanoparticules varie en fonction de la méthode de synthèse employée. La synthèse biologique, réalisée dans des conditions plus douces, contraste avec la synthèse chimique, qui permet un contrôle plus strict des processus réactionnels. De plus, le milieu chimique utilisé et les paramètres thermiques influencent le taux de croissance des particules. Ces facteurs affectent l'assemblage des atomes et des molécules, déterminant ainsi la forme finale des nanoparticules.
- **La structure cristalline :** Les nanoparticules synthétisées chimiquement, par des

méthodes comme la précipitation, présentent généralement une structure cristalline uniforme avec des pics de diffraction bien définis dans le spectre DRX. En revanche, les nanoparticules obtenues par synthèse biologique montrent une diversité de structures cristallines influencées par les biomolécules, ce qui se traduit par des pics moins intenses ou plus larges, indiquant une plus grande hétérogénéité.

- **La taille** : les nanoparticules synthétisées chimiquement tendent à être plus uniformes et contrôlables en taille, tandis que celles obtenues par synthèse biologique affichent une plus grande variabilité. Ces différences influencent à la fois les propriétés et les applications potentielles de ces nanoparticules.

### **III.4 Mécanisme réactionnelle**

Le processus de formation des nanoparticules, tel qu'expliqué dans la littérature, prend en considération la richesse en polyphénols d'extraits de plante *P. graveolens*. Les métabolites secondaires réducteurs et les agents stabilisants (enzymes, protéines, flavonoïdes, etc.) se lient aux ions métalliques et les transforment en atomes métalliques. Les ions métalliques et les métabolites forment des complexes qui interagissent avec des complexes similaires afin de créer de petites nanoparticules métalliques. L'étape de mise à l'échelle est suivie de la croissance et de la fusion des petites particules isolées en particules plus grosses. Ce processus se poursuit jusqu'à ce que les particules aient une forme et une taille constantes [2].



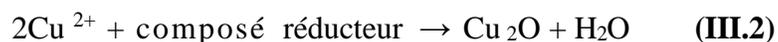
**Figure III.7 :** Une représentation schématique du mécanisme de synthèse des nanoparticules métalliques dans un extrait végétal [3].

Les réactions de formations de CuO sont :

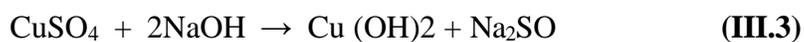
- Dissolution du sulfate de cuivre dans l'eau :



- Réduction des ions cuivre par l'extrait végétal :



- Formation de l'hydroxyde de cuivre par addition de NaOH :



- Décomposition de l'hydroxyde de cuivre en oxyde de cuivre :



**Références:**

- [1] Jabbar, S.M., Synthesis of CuO nano structure via sol-gel and precipitation chemical methods. Al-Khwarizmi Engineering Journal, 2016. 12(4): p. 126-131.
- [2] H. Yaghoubian, S. Jahani, H. Beitollahi, S. Tajik, R. Hosseinzadeh, et P. Biparva, « Voltammetric Determination of Droxidopa in the Presence of Tryptophan Using a Nanostructured Base Electrochemical Sensor », J. Electrochem. Sci. Technol., vol. 9, p. 109-117, juin 2019, doi: 10.33961/JECST.2018.9.2.109.
- [3] Makarov, V.V., Love, A.J., Sinitsyna, O.V., Makarova, S.S., Yaminsky, I.V., Tiliansky, M.E., Kalinina, N.O., 2014. “Green” Nanotechnologies: Synthesis of Metal Nanoparticles Using Plants. Acta Naturae 6 No. 1, 35–44.

## *Conclusion générale*

## *Conclusion Générale*

Dans le domaine de la nanotechnologie, la biosynthèse des nanoparticules d'oxyde de cuivre est devenue un centre d'intérêt croissant en raison de leurs applications efficaces dans divers domaines. La synthèse verte de ces particules représente une alternative économique et respectueuse de l'environnement dans les recherches récentes.

Dans cette étude, des nanoparticules d'oxyde de cuivre ont été biosynthésé (synthèse verte), qui est une technique écologique, simple et peu coûteuse, utilisant un extrait de plante de *P. graveolens*. Les nanoparticules synthétisées ont été étudiées pour leurs propriétés optiques, structurales, morphologiques, superficielles et cristallines.

Les conclusions suivantes ont été tirées des résultats obtenus dans cette étude :

- La modification de la couleur de la solution d'Anhydre de sulfate de cuivre ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) lors de l'ajout de l'extrait de plante indique la réduction des ions cuivre par les composés organiques présents dans l'extrait, menant ainsi à la formation d'un nouveau matériau.
- L'étude optique montre que l'apparition d'un pic dans le spectre UV-Vis à 249,17 nanomètres dans le spectre d'absorption confirme la formation des nanoparticules d'oxyde de cuivre (CuO-NPs). L'intensité élevée de ce pic combinée à une largeur de bande étroite, suggère une taille et une forme homogènes des nanoparticules.
- L'analyse de DRX montre la présence des phases de structure monoclinique, la taille des particules moyenne de nanoparticules calculés par la relation de Debye Scherer a révélé une faible taille moyenne des cristallites 9.566nm.
- Les images obtenues par microscopie électronique à balayage (MEB) révèlent des nanoparticules sphériques formant des agglomérats, et l'analyse (EDX) a confirmé la pureté des nanoparticules avec une teneur en masse maximale dans les particules d'oxyde de cuivre.
- Sur la base de ces résultats, on peut conclure que les composants bioactifs présents dans les extraits de plantes permettent la synthèse efficace de nanoparticules, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives pour leur intégration dans divers domaines.

# *Partie STURTUP*



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
جامعة غرداية  
عنوان المشروع :



*Développement d'une peinture nano composite  
superhydrophobe appliquée sur les isolateurs haut  
tension*

مشروع لنيل شهادة مؤسسة ناشئة في إطار القرار الوزاري 1275



الاسم التجريبي :

**NHK** SELF-CLEANING

الموسم الجامعي :  
2023 – 2024

## بطاقة المعلومات :

### فريق الاشراف :

المشرف الرئيسي	التخصص
بوخاري حامد	الية و كهروميكانيك

### فريق العمل :

فريق العمل	الكلية	التخصص
كيوص هاجر	كلية العلوم و التكنولوجيا	هندسة كيميائية
حويشيتي نجاه	كلية العلوم و التكنولوجيا	هندسة كيميائية
طاهري كوثر	كلية العلوم و التكنولوجيا	هندسة كيميائية

## فهرس المحتويات :

- المحور الأول : مقدمة للمشروع
- المحور الثاني : الجوانب الابتكارية
- المحور الثالث : التحليل الاستراتيجي للسوق
- المحور الرابع : خطة الانتاج و التنظيم
- المحور الخامس : الخطة المالية
- المحور السادس : النموذج الاولي التجريبي

المحور الاول : تقديم المشروع

## 1. فكرة المشروع : ( الحلول المقترحة )

تعد العوازل الكهربائية عالية الجهد أجزاء مهمة في الانظمة الكهربائية، حيث تستخدم في منع تسرب التيار الكهربائي خارج الدوائر المخصصة له. إلا انها تواجه مشكلة التلوث نتيجة تراكم الاتربة والغبار في الظروف الرطبة فتشكل هذه الطبقة قناة توصيل للكهرباء عبر العازل، وهذا يزيد من خطر حدوث تسرب للتيار الكهربائي وبالتالي خطرا على الأفراد من الصعق الكهربائي إضافة الى انقطاعات في التيار الكهربائي. إنطلاقا من هذه المشكلة والمخاطر الناتجة عنها بدأت فكرة مشروع تصنيع مادة كارهة للماء لمنع تراكم الغبار والاتربة على أسطح العوازل.

يهدف مشروعنا إلى تصنيع طلاء نانوي كاره للماء بالتوازي مع التطور الحاصل للتقنيات الحديثة خصوصا تقنية النانو.

في مشروعنا، قمنا باستخدام بوليمر السيليكون بفضل قدرته العالية على ومقاومة الماء والرطوبة والعزل الكهربائي. تعزيزا لخصائص البوليمر، نقوم بإضافة جسيمات أكسيد النحاس النانوية نظرا لقدرتها على تعزيز كراهية السطح للماء من خلال خلق خشونة عليه وأيضا لكونها محفزا ضوئيا واعدة والذي يسمح بأكسدة الاوساخ والملوثات على أسطح العوازل بسرعة وبالتالي الحصول على أسطح ذاتية التنظيف، كما أن هذه الجسيمات تعتبر آمنة وغير مكلفة.

## 2. القيم المقترحة:

منتجنا عبارة عن طلاء مقاوم للماء ويوفر ميزة التنظيف الذاتي يعتمد على جسيمات اكسيد النحاس النانوية المصنعة بطريقتين كيميائية و بيولوجية انطلاقا من مستخلص نبتة العطرشة (التصنيع الاخضر ) , إضافة الى استخدام البوليميرات و التي تعتبر مواد مقاومة للماء والرطوبة.

القيم المضافة التي سيحققها المشروع:

- ✓ استغلال تقنية النانو في تطوير طلاءات كارهة للماء.
- ✓ استخدام مواد أولية محلية غير مكلفة.
- ✓ سهل التطبيق ومناسب للاستخدام في ظروف بيئية قاسية.
- ✓ تقليل تكاليف الصيانة والتنظيف الدوري للعوازل.
- ✓ ضمان استمرارية التيار الكهربائي وتقليل خسائر انقطاعه.
- ✓ الحد من مخاطر التسرب الكهربائي وتحقيق السلامة والأمان.

### 3. فريق العمل :

يتكون فريق العمل من الأعضاء التالية :

**الطالبة 1 :** كيوص هاجر , تخصص هندسة كيميائية . دورها هو التحكم في عمليات وادوات المخبر لتحصلها على دبلوم في هذا المجال، كما قامت بالتسجيل في منصة Startup. Dz للحصول على علامة شركة ناشئة ,كما تعرفت على الاجراءات القانونية و الادارية التي ينطوي عليها انشاء هذه الشركة, اضافة الى معرفة لوحة نماذج BMC.

**الطالبة 2 :** حويشيتي نجاه, تخصص هندسة كيميائية. دورها هو مراقبة عمليات التصنيع الكيميائي بفضل شهادتها في هندسة الطرائق. كما قامت بالتسجيل في منصة Sturtup. Dz للحصول على علامة شركة ناشئة و تعرفت على الاجراءات القانونية و الادارية التي ينطوي عليها إنشاء هذه الشركة , اضافة الى معرفة لوحة نماذج BMC.

**الطالبة 3 :** طاهري كوثر, تخصص هندسة كيميائية, دورها هو ادارة المشروع و تسويقه. قامت بالتسجيل على

منصة (startup.dz) للحصول على علامة شركة ناشئة واكتسبت معرفة بالإجراءات القانونية والإدارية لإنشاء شركة ناشئة. كما شاركت في دورة تدريبية في مجال عالم الشغل وتحصلت على شهادة معتمدة.

**المشرف:** بوخاري حامد. التخصص : كهروتقني. يتمثل دوره في مراقبة عمليات التصنيع الكيميائي و تقديم الخبرة و الدعم الفني لاعضاء الفريق, كما ساهم في تحديد المنهجيات التجريبية و تحليل النتائج المتحصل عليها.

#### 4. أهداف المشروع :

- تحقيق حصة سوقية من اجمالي الناتج الوطني.
- استغلال تقنية النانو في تطوير طلاءات كارهة للماء ذات جودة عالية.
- تحقيق ريادة في السوق في المجال الكهربائي.
- العمل على تحقيق توازن متناغم بين الجودة الرفيعة للمنتج والتكلفة المنخفضة، لضمان النجاح المالي واستدامة الفوائد على المدى الطويل.
- استغلال المنتجات الاولية المحلية في التصنيع.
- التوسع في الأسواق المحلية والعالمية.

#### 5. جدول زمني لانجاز المشروع

الاشهر السنويات:

		الاشهر								
		1	2	3	4	5	6	7		
السنويات	1		الدراسات الاولية : اختيار موقع وحدة الانتاج و اعداد الوثائق اللازمة	✓	✓					
			التحكم في المعدات		✓	✓				
	2		بناء موقع انتاج ( مصنع )		✓	✓	✓			
	3		تركيب المعدات			✓	✓	✓		
			اقتناء المواد الاولية						✓	
	4		بداية انتاج اول منتج							✓

المحور الثاني : الجوانب الابتكارية

الاجابة

## 1. طبيعة الابتكارات :

تتمثل الجوانب المبتكرة لمشروعنا في ما يلي:

- ادخال تكنولوجيا النانو من خلال توظيف جسيمات اكسيد النحاس النانوية في تركيب الطلاء والتي تتميز بمقاومتها العالية للماء والرطوبة، اضافة الى انها تعد موادا امنة للاستخدام.
- استخدام بوليمار السيليكون و الذي يعد من أحد احسن العوازل الكهربائية، كما ان له قدرة عالية على صد الماء و منع امتصاصه.
- بيع الجسيمات النانوية كمنتج إضافي لاستعماله في مجالات أخرى من أجل استهداف مجموعة جديدة من المستهلكين .

المحور الثالث : التحليل الاستراتيجي للسوق

٢٠٢٢

## 1. عرض قطاع السوق:

السوق المحتمل :

يقدم هذا الطلاء حلا فعالا للقطاعات التالية :

### قطاع الصناعة :

- الشركة الجزائرية للكهرباء و الغاز ( سونلغاز ) حيث يطبق هذا الطلاء على اسطح العوازل الكهربائية عالية الجهد (les isolateurs hautes tensions).
- المصانع :لحماية المعدات والبنية التحتية من الماء والرطوبة والتآكل.
- الآلات الثقيلة :لضمان تشغيلها بكفاءة ولحمايتها من التأثيرات البيئية الضارة.
- المباني التجارية والسكنية :لحماية الأسطح من الرطوبة والمواد الكيميائية، بما في ذلك الأسطح الخارجية والنوافذ.

### قطاع النقل:

- السيارات :لحماية الأجزاء الكهربائية والإلكترونية من الماء، وتعزيز متانة الأسطح الخارجية.
- الطائرات :لحماية الأجزاء من الرطوبة والتآكل في بيئات الطيران المختلفة.
- الشاحنات والمعدات الثقيلة :لتحسين الأداء وطول عمر المعدات في الظروف البيئية الصعبة.

### قطاع التكنولوجيا والإلكترونيات:

- الأجهزة الإلكترونية :لحماية المكونات الكهربائية والإلكترونية من الرطوبة والظروف البيئية القاسية.

▪ الهواتف الذكية: لتحسين مقاومتها للماء وزيادة عمرها الافتراضي.

## ب. السوق المستهدف :

منتجنا موجه بصفة خاصة الى القطاعات التي تستعمل العوازل عالية الجهد نذكر منها :

- الشركة الجزائرية للكهرباء و الغاز ( سونلغاز ) .
- شركات توليد الطاقة الكهربائية و التي تستخدم العوازل في محطات توليد الطاقة سواء كانت تقليدية او متجددة.
- شركات نقل وتوزيع الكهرباء :تستخدم العوازل على خطوط النقل الهوائية وتحت الأرض لنقل الكهرباء من محطات التوليد إلى المحطات الفرعية ومن ثم إلى المستهلكين.
- الشركات المصنعة للمعدات الكهربائية.
- المرافق الحكومية والبنى التحتية :مثل السكك الحديدية الكهربائية و مترو الأنفاق و المطارات التي تحتاج إلى أنظمة طاقة موثوقة وآمنة.

## 2. قياس شدة المنافسة :

لا يزال مجال صناعة الطلاءات الكارهة للماء للعوازل عالية الجهد في الجزائر في مرحلة التطور لكون المنتج الاول من نوعه وطنيا مقارنة بالاسواق العالمية الا ان هناك بعض الشركات التي تعمل في هذا المجال.

يتمثل منافسونا الرئيسيون في الجزائر في بعض الشركات متعددة الجنسيات التي تعمل في هذا المجال او تقدم خدمات مشابهة له.

نقاط القوة: 

- سجلهم العريق في السوق، وقوة علامتهم التجارية، وسمعتهم الممتازة.

### نقاط الضعف :

- استخدام مواد ذات كفاءة اقل مما يؤثر على جودة و فعالية المنتج النهائي.
- تكلفة انتاج عالية للمنتج النهائي و عدم تحقيق توازن بين الجودة و التكلفة.
- ضعف استراتيجيات التسويق مما يؤدي الى تراجع المبيعات.

### 3. استراتيجيات التسويق :

- لان راحة العميل و امتنانه من اولوياتنا, منتجنا فعال و ذو جودة عالية بسبب استخدام تقنية النانو الحديثة و المتطورة.
- نحن نقدم اسعارا تنافسية و مغرية و نعمل على خفض تكاليف الانتاج, اضافة الى تخفيضات موسمية و هدايا عند شراء المنتج.
- خيار الشحن المجاني و توفير خدمات اشتراكية للتوصيل الدوري.
- تقدم شركتنا لعملائها منصة للتعبير عن ارائهم حول المنتج وحلها بفعالية, مما يزيد من ثقة العملاء في علامتنا التجارية و يمنح منتجنا مصداقية أعلى, حيث أن العميل هو أولويتنا القصوى.
- نحرص على تلبية احتياجات الزبون من خلال تقديم المنتج بالكميات و الجودة المطلوبتين , مع الحفاظ على استمرارية مستوى الإنتاج.
- نضع تحت تصرف عملائنا خدمة البيع والشراء عبر موقع إلكتروني لتسهيل خدمتهم.
- لان خدمة عملائنا فوق كل اعتبار, نضع تحت خدمتهم منصة لتقديم شكاويهم و انتقاداتهم و العمل على حلها بسرعة.

- نفكر في المشاركة في ندوات تحسيسية حول مخاطر التسرب الكهربائي و عرض منتجنا.
- نسعى لتحفيز وجذب العملاء من خلال تنظيم تقديم مكافئات ,مما يعزز الثقة و العلاقة الجيدة معهم.

المحور الرابع : خطة الانتاج و التنظيم

## 1. عملية الانتاج :

تمر عملية انتاج هذا الطلاء بالمراحل التالية :

➤ **تحضير المواد الاولية** : اقتناء جميع المواد الاولية اللازمة لتصنيع جزيئات اكسيد النحاس النانوية (

النبته , نيترات النحاس , سولفات النحاس , هيدروكسيد الصوديوم , ماء مقطر , ايثانول) .

➤ **التصنيع** : تعتمد عملية التصنيع على الخطوات التالية :

**الخطوة الاولى** : تصنيع جسيمات اكسيد النحاس النانوية بطريقتين : بيولوجية باستعمال

مستخلص النبته و كيميائية.

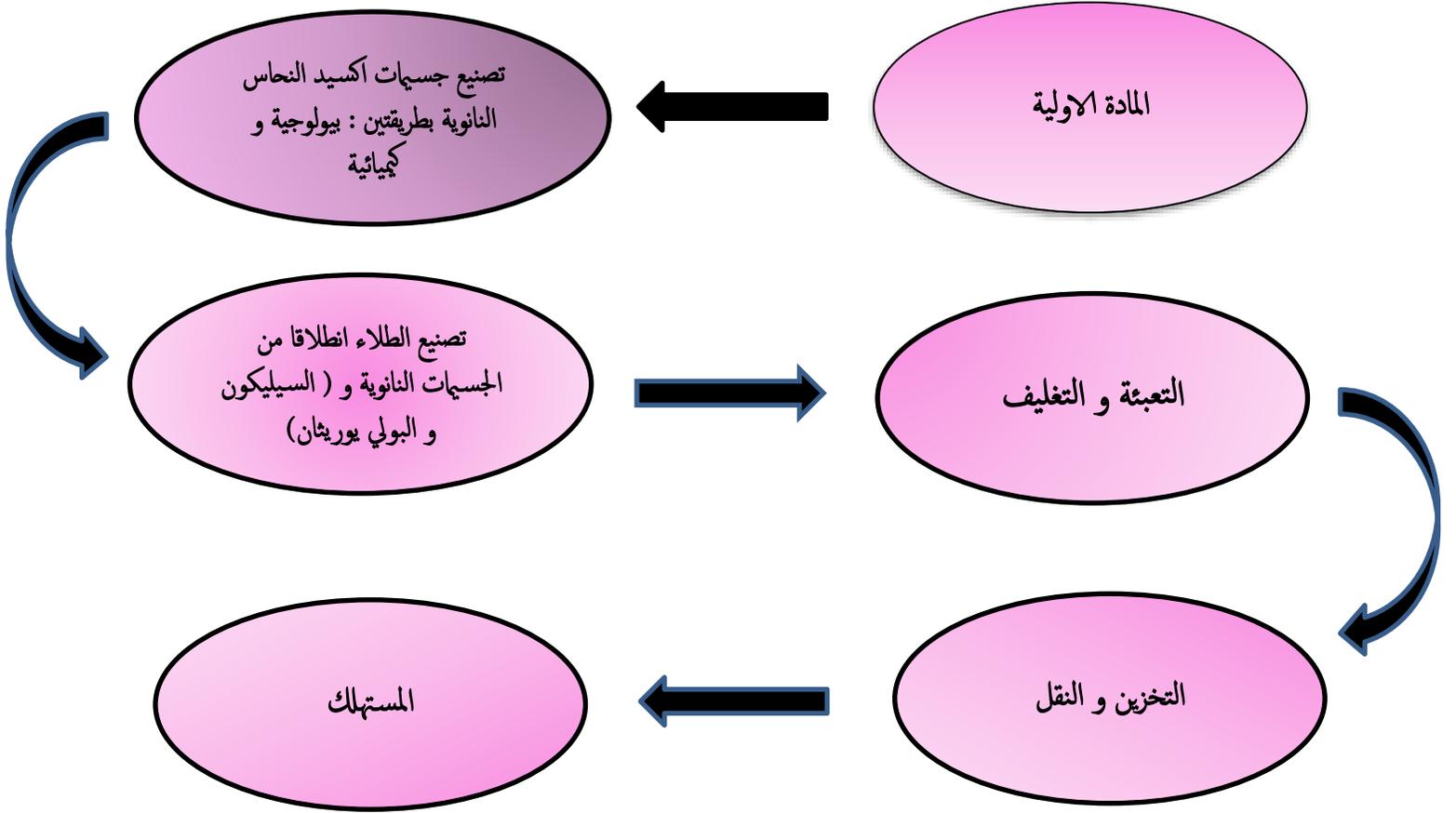
**الخطوة الثانية** : في هذه المرحلة يتم تصنيع الطلاء اعتمادا على الجسيمات النانوية المصنعة

و بوليمار ( السيليكون و البولي يوريثان).

➤ **التعبئة و التغليف** : بعد اجراء التحاليل و الدراسات نقوم بتعبئة المنتج من خلال وضعه في علب

خاصة تتوفر فيها شروط الحفظ ثم اخراجه و شحنه و نقله للعميل في أحسن الظروف.

يمثل المخطط التالي مراحل عملية الانتاج و التنظيم :



من اجل تصنيع الجسيمات النانوية لأكسيد النحاس تشتري المادة الاولية ( نبتة العطرشة ) من المزارعين, كما نتواصل مع مراكز بيع المواد الكيميائية و المختبرية و موردي المعدات و الصيانة و معدات الانتاج. اضافة الى موردي التعبئة و التغليف.

يتم الدفع والاستلام بشكل شخصي أو عبر مواقع التواصل الاجتماعي أو عن طريق البطاقة البنكية. كما يتم تحديد وقت التسليم بدقة للمواد الخام المطلوبة، بما في ذلك السعر والكمية والمهلة الزمنية وغيرها، من أجل تسهيل عملية البيع وضمن الاستمرارية.

### 3. اليد العاملة :

يلعب العمال دوراً أساسياً في إنجاز المشروع، بما في ذلك إنتاج مواد تكنولوجيا النانو الذكية و تصنيع الطلاء. يتطلب المشروع فريقاً ماهراً قادراً على تنفيذ مهام مختلفة، مثل:

المهام	العدد	الوظيفة
يقوم بتجهيز ومعالجة المواد الخام المستخدمة في إنتاج الجسيمات النانوية و تصنيع الطلاء.	1	عامل مسؤول عن اقتناء المواد الخام
يدير ويشغل الآلات الخاصة بعملية الانتاج	1	مسؤول مشغل الآلات والمعدات
يتمثل دوره في مراقبة الجودة كما يقوم بفحص المنتجات المصنعة للتأكد من جودتها والامتثال للمواصفات والمعايير لصناعية	2	مهندس كيمياء
يقوم بصيانة وإصلاح المعدات والآلات المستخدمة لضمان استمرارية الإنتاج	1	عامل الصيانة
يقوم بتعبئة وتغليف المنتج بشكل مناسب للتوزيع	2	عامل التعبئة و التغليف

والتخزين		
يتولى تخزين الطلاء بشكل صحيح في المستودعات وإدارة عمليات الشحن و التوزيع	1	مسؤول التخزين
مهمته توصيل البضائع أو الشحنات إلى العملاء أوالموردين	2	عامل التوصيل
دوره هو إعداد التقارير المالية بالإضافة الى مراقبة الحسابات وكذلك إعداد ومراجعة الضرائب كما له دور في إدارة التدفقات النقدية.	2	محاسب
يضمن تطبيق إجراءات السلامة والصحة المهنية في المصنع لضمان سلامة العمال.	1	مسؤول السلامة والصحة المهنية

#### 4. الشركات الرئيسية :

أهم شركاء المشروع هم الموردين وذلك لأهميتهم في نجاحه , فهم موردو المواد الخام بالدرجة الأولى و أهم موردي مشروعنا أصحاب المزارع والشركات الكيماوية وشركات التكنولوجيا ومختبرات البحث والتطوير في مجال تكنولوجيا النانو الجديدة، كما اننا نعمل على اقامة شراكات حصرية مع شركات تصنيع المعدات الكهربائية و شركات نقل و توزيع الكهرباء لتطبيق منتجنا على معداتها و ضمان توافقه مع المعايير الصناعية. اضافة الى شركات التعبئة والتغليف وكذلك مكاتب التوصيل و مؤسسات حفظ وتخزين المنتجات الصناعية .

كما نتيح لنا شراكتنا مع سونلغاز وسوناطراك تقليل تكاليف نفقات الغاز و الكهرباء .

المحور الخامس : الخطة المالية

• ٢٢٠٠

## 1. التكاليف و الاعباء :

- تكاليف المواد الخام : وتشمل تكلفة الحصول على المواد الأولية المستخدمة في تصنيع المنتج.
- تكاليف التشغيل: تتضمن هذه التكاليف جميع التكاليف الثابتة والمتغيرة التي تتعلق بتشغيل العمال مثل أجور الموظفين، تكاليف الإيجار، فواتير المرافق الكهرباء، الماء، الغاز.
- تكاليف التسويق والإعلان : وتشمل هذه التكاليف تكاليف الإعلانات عبر الإنترنت و وسائل التواصل الاجتماعي.
- تكاليف الإنتاج والتصنيع : تشمل هذه تكاليف الأجهزة وتكلفة العمال في عمليات و التصنيع وكذا في تكاليف التصميم ، وتكاليف الصيانة و التشغيل للمعدات والالات.
- تكاليف التوزيع والشحن : يجب أن تؤخذ تكاليف التوزيع والشحن بعين الاعتبار لتوصيل المنتج للعملاء.

➤ يمثل الجدول التالي تكلفة انتاج الطلاء الكاره للماء لمدة شهر في المختبر :

المبلغ ( دج )	العدد	
2500	-	المواد الاولية
800	-	معدات المختبر
2000	-	الكهرباء و الماء
8000	3	العمال
1000	-	تكاليف الايجار
14300	-	المجموع

## 2. العائدات :

العائدات	الكمية	السعر (دج)
الجسيمات النانوية لأكسيد النحاس (CuO)	5g	6000
الطلاء	2kg	10000
المجموع	-	16000

### 3. طرق التمويل و مصادره :

تتعدد مصادر التمويل حسب طبيعة المؤسسة ونشاطها فالتمويل هو توفير الاموال بهدف زيادة الانتاج وذلك من خلال :

**قرض ثنائي :** نحن نفكر في التقدم بطلب قرض من مؤسسة مالية لتغطية جزء من تكاليف المشروع. سيمكننا ذلك من الحصول على الأموال اللازمة لشراء المعدات والمواد الأولية، بالإضافة إلى بدء العمليات. **القرض الثلاثي:** بالإضافة إلى القرض الثنائي، نحن بصدد البحث عن الحصول على قرض ثلاثي يتضمن مشاركة شريك مالي آخر لتعزيز قدرتنا المالية ودعم نمو المشروع.

**الوصول إلى شراكة مع مستثمر خارجي:** نحن منفتحون على إمكانية إقامة شراكة مع مستثمر خارجي يشاركنا رؤيتنا ومهمتنا. يمكن أن يشمل ذلك استثمارًا في رأس المال أو أشكالًا أخرى من التعاون المالي.

### 4. طرق استرداد الاموال :

- بيع المنتجات النهائية وشبه النهائية: نحن نعتزم تسويق منتجاتنا النهائية وكذلك المنتجات شبه النهائية من أجل تحقيق الإيرادات.

- من خلال تقديم منتجات عالية الجودة، نهدف إلى جذب والحفاظ على قاعدة عملاء قوية، مما سيساهم في استرداد استثمارنا الأولي واستمرار ربحية شركتنا.
- إقامة شراكات مع شركات أخرى في قطاع الكهرباء أو تقنيات النانو لتوسيع نطاق تسويق وبيع منتجنا والوصول إلى أعلى مستوى من العائد المالي.
- توقيع عقود واتفاقيات مع شركات نقل و توزيع الكهرباء لتزويدهم بمنتجنا واستخدامه بشكل حصري، مما يضمن تدفقاً مستمراً للعائد المالي.
- رسوم تأجير المعدات.

المحور السادس : النموذج الاولي

المحور السادس : النموذج الاولي

## المحور السادس : النموذج الاولي

النموذج الأولي هو النسخة المبدئية من المنتج ، ويُستخدم كخطوة أساسية لتطوير المنتج النهائي وتحضيره لطرحة في السوق. في مشروعنا، تم تصنيع طلاء كاره للماء يعتمد بشكل رئيسي على جسيمات أكسيد النحاس النانوية، نظرًا لإمكاناتها الواعدة في تحسين جودة المنتجات وزيادة فعاليتها .

تم تقييم أداء الطلاء من خلال مجموعة من الاختبارات والتحليل، بهدف التأكد من تحقيق النتائج المطلوبة. خلال عملية التطوير، تم تعديل وتحسين الخصائص للوصول إلى الصيغة النهائية، التي تتميز بقدرة عالية على صد الماء ، ما يعزز كفاءة المنتج ويؤكد جاهزيته للاستخدام.

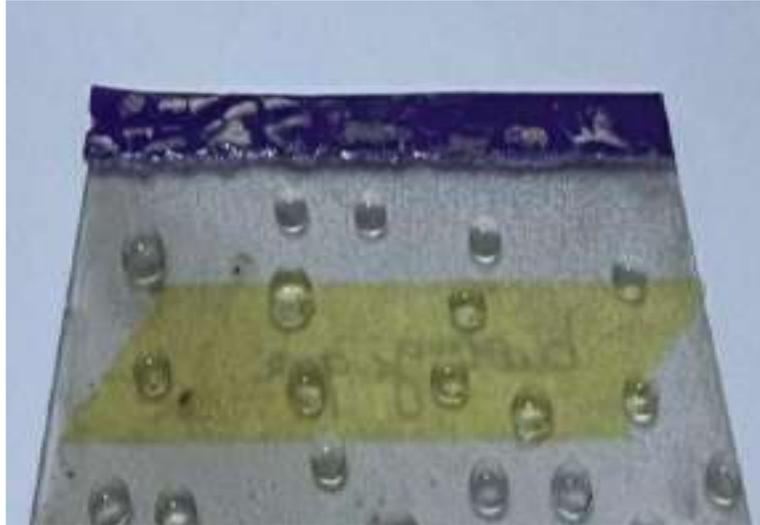
## المنتج النهائي:



## المنتج النصف النهائي:

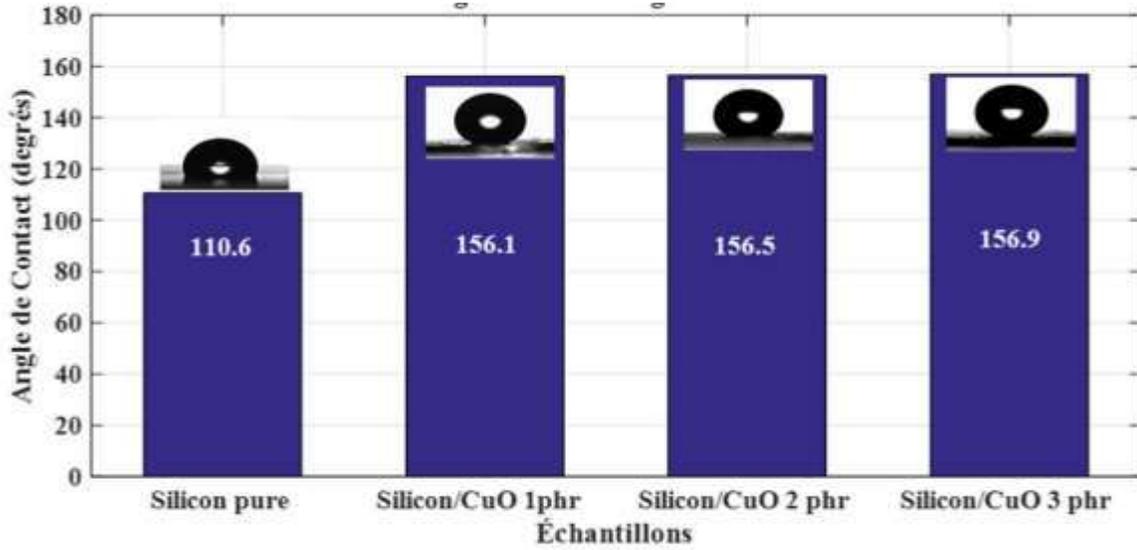


✓ اختبار فعالية الطلاء في صد الماء:

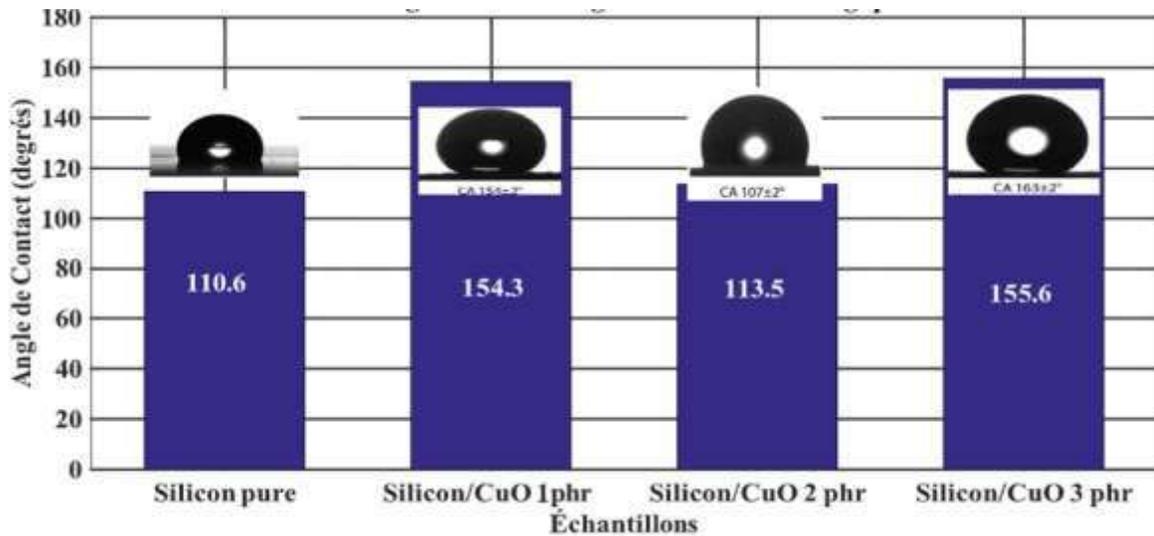


✓ تقييم فعالية المنتج عن طريق قياس زاوية التلامس :

✚ جسيمات أكسيد النحاس بالطريقة الكيميائية:



✚ جسيمات أكسيد النحاس بالطريقة البيولوجيا:



## مخطط نموذج العمل التجري :

<p><b>الشركاء الرئيسيون</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>حاضنة الأعمال</li> <li>جامعة غردية.</li> <li>موربو المواد الأولية.</li> <li>موربو المواد الأولية للعبئة والتغليف.</li> </ul>	<p><b>الإحطة الرئيسية</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>تحضير الجسيمات النانوية.</li> <li>تصنيع الطلاء النانوي للماء.</li> <li>التعبئة والتغليف في احسن الشروط.</li> <li>التسويق والتوزيع.</li> <li>تطوير المنتج واستخدامه في تطبيقات أخرى.</li> </ul>	<p><b>القيم المقترحة</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>استغلال تقنية النانو في تطوير طلاءات تارمة للماء .</li> <li>استخدام مواد أولية محلية غير معقدة .</li> <li>سهولة التطبيق ومناسب للاستخدام في ظروف بيئية قاسية .</li> <li>تقنين تكاليف الصيانة والتنظيف الدوري للعازل .</li> <li>ضمان استمرارية التيار الكهربائي وتقليل خسائر القطاعه .</li> <li>الحد من مخاطر التعرض الكهربائي وتحقيق السلامة والأمان .</li> </ul>	<p><b>العلاقة مع العملاء</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>يوفر موظفونا خدمة مميزة مع الزبائن من خلال التواصل المباشر معهم لتقديم المساعدة و تصيب رضاهم اوتوبئنا .</li> <li>تقديم أسعار تنافسية ومغرية.</li> <li>خيار الشحن المجاني و توفير خدمات اشتراكية لتوصيل الدوري .</li> <li>تقديم فرقنا لعمالها منصة للتعبير عن آرائهم حول المنتج .</li> <li>مشاركة في الحملات الترويجية والمعارض والمعابقت التي تليها لفرقة سونفاز .</li> </ul>	<p><b>شراخ العملاء</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>شركة سونفاز</li> <li>شركات توليد الطاقة الكهربائية.</li> <li>شركات نقل وتوزيع الكهرباء .</li> <li>المراش الحكومية والبنى التحتية.</li> </ul>
	<p><b>الموارد الرئيسية</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>الموارد البشرية: العمال .</li> <li>الموارد المادية : المواد الأولية، المعدات , الأجهزة , طحنت التوصيل ..إلخ .</li> <li>الموارد المالية: قرض مالي .</li> <li>موارد فكرية: افكار تطوير المنتج، التصميم .</li> </ul>		<p><b>القنوات</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>B2B</li> <li>الموقع الإلكتروني للشركة و وسائل التواصل الاجتماعي.</li> <li>إعلانات رقمية عبر محركات البحث .</li> <li>الاعم الفضي وخدمة العملاء عبر الهاتف والتبريد الإلكتروني .</li> </ul>	
<p><b>هيكل التكاليف</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>تكاليف المواد الأولية.</li> <li>تكاليف الطاقة و المعدات.</li> <li>تكاليف الاجراءات الورقية و القانونية لانطلاق الشركة.</li> <li>رواتب الموظفين و التأمينات و الضرائب.</li> <li>تكاليف التصنيع.</li> <li>تكاليف الماء و الغاز و الكهرباء و الهاتف و الانترنت.</li> <li>تكاليف الإعلانات .</li> </ul>			<p><b>مصادر الدخل</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>بيع المنتج النهائي: الطلاء .</li> <li>بيع المنتج النصف النهائي: جسيمات أكسيد النحاس النانوية.</li> </ul>	



## شهادة توظيف "مشروع مبتكر وفق قرار 1275"

أنا الممضي أسفله، السيد : د/ مراكشي عبد الحميد

مسير حاضنة الأعمال: جامعة غرداية (بالإنابة)

المقر الاجتماعي / العنوان: المنطقة العلمية، ص ب 455، غرداية، 47000، الجزائر رقم علامة الحاضنة:

بتاريخ:

طبيعة المشروع: مؤسسة ناشئة

أشهد أن الطالب / الطالبة التالية أسمائهم:

الاسم واللقب	الطور الدراسي	التخصص	الكلية
حريشيني نجاه	M2	هندسة كيميائية	كلية العلوم والتكنولوجيا
طاهري كوثر	M2	هندسة كيميائية	كلية العلوم والتكنولوجيا
كيوص هاجر	M2	هندسة كيميائية	كلية العلوم والتكنولوجيا

تحت إشراف الاستاذ/الاساتذة التالية أسمائهم:

الاسم واللقب	الرتبة	التخصص	الكلية
بوخاري حامد	استاذ محاضر أ	لية و كهروميكانيك	كلية العلوم والتكنولوجيا

تم توظيفه على مستوى حاضنة أعمال جامعة غرداية - بمشروع تحت اسم:

تصنيع طلاء نانوي كاره للماء للعزل الكهربائي

خلال السنة الجامعية 2024/2023.

سلمت هذه الشهادة بطلب من المعني للإدلاء بها في حدود ما يسمح به القانون.

حرر في غرداية بتاريخ: 2024/05/13

مدير الحاضنة (بالإنابة)

د/ مراكشي عبد الحميد





## Autorisation d'impression finale d'un mémoire de master

	Nom et prénom	Signature
Le président de jury	Dr. <i>Mansouri Khaled</i>	<i>[Signature]</i>
Examineur 1	Dr. <i>Fares Jenniche</i>	<i>[Signature]</i>
Examineur 2	Dr.	
Encadrant	Dr. <i>BOUKHARI Hamed</i>	<i>[Signature]</i>

Soussigne Dr :

Président de jury des étudiantes : *Houichiti Nadjet*

Filière : Génie des procédés ; Spécialité : Génie chimique

Thème : *Synthèse et caractérisation des nanoparticules d'oxyde de cuivre à partir d'un extrait de plante (Pelargonium graveolens).*

Autorise-les étudiantes mentionnées ci-dessus à imprimer et déposer leur manuscrit final au niveau du département.

Ghardaïa le :

Le président de jury

Le chef de département

