



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



جامعة غرداية

حاضنة الأعمال جامعة غرداية

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم هندسة الطائفة

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

شهادة تخرج - مؤسسة ناشئة / براءة اختراع

بعنوان:

Préparation, caractérisation et application d'un nanomatériau à base d'oxyde de cuivre CuO

من إعداد الطالبين:

- طاهري كوثر
- كيوص هاجر

تحت اشراف:

رئيس
مشرف
ممتحن

جامعة غرداية
جامعة غرداية
جامعة غرداية

MMA
MCA
MCB

د. منصور خالد
د. فينيس فارس
د. بوخاري حامد

الموسم الجامعي: 2023 / 2024 م

République Algérienne Démocratique et
Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de
La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa
Incubateur Université de Ghardaïa
Faculté des sciences et de la technologie
Département de génie des procédés

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de MASTER en génie
chimique dans le cadre de la résolution ministérielle 1275
Mémoire de fin d'études – startup/brevet

Thème :

*Préparation, caractérisation et application d'un
nanomatériau à base d'oxyde de cuivre CuO*

Présenté par :

- Tahri Kaoutar
- Kiouas Hadjer

Devant le jury :

Dr. MANSORI khalde	MAA	Univ. Ghardaïa	Président
Dr. FENNICHE Fares	MAA	Univ. Ghardaïa	Examineur
Dr. Boukhari Hamed	MCB	Univ. Ghardaïa	Encadreur

Année universitaire : 2023/2024

إهداء

الحمد لله الذي وفقني لتثمين هذه الخطوة في مسيرتي
الدراسية، أهدي هذا العمل إلى والديّ اللذين لم يتوانيا يوماً
عن تقديم الدعم والتشجيع لي، كل نجاح حققته هو ثمرة
جهودكم وتضحياتكم حفظهما الله وأدامهما نوراً لدربي.
إلى اخوتي وأخواتي صفاء ومحمد وجهاد وعائشة ومروة
وعبد الرزاق الذين كانوا لي دوماً خير داعم ومؤازر، شكراً
لكم على كل كلمة تشجيع وكل لحظة وقفتم فيها بجانبني، وإلى
كل عائلتي.

إلى رفيقاتي عمري كوثر ونجاة ودارين وجهاد الاتي قاسموني
لحظاته وعاهم الله ووفقهم.

إلى نفسي لكل جهدٍ وتعب بذلته للوصول إلى هذا اليوم
إلى الصديقات والزملاء الذين كانوا لي رفقاء درب في هذه
الرحلة الجامعية دفعة 2024م.

إلى كل من ساهم ولو بكلمة في إنجاز هذا العمل،
أهديكم هذا النجاح.

الإهداء الأول



هاجر



إهداء

الحمد لله الذي وهبني التوفيق والسداد ومنحني الثبات وأعانني على إتمام هذا العمل
إلى من كلكه الله بالهبة والوقار إلى من علمني العطاء دون انتظار إلى من أحمل
اسمه بكل افتخار أبي العزيز

إلى ملاكي وملاذي في الحياة إلى معنى الحب ونبع الحنان إلى من أحاطتني دعواتها
في كل مكان أُمي الحبية ادعو الله أن يحفظكما ويديمكما لي نورا فاتنا ممتنة لكل ما
بذلتموه من جهد وتضحية لأجلي.

إلى اخواتي شريكات الفرح والدرج اللاتي كان لي خير داعم رجاء رحيل اسراء
شكرا على كل كلمة تشجيع

إلى أخي وحيدني وسندي ومن كان له بالغ الأثر في الكثير من الصعاب عماد الدين
إلى ذات الروح الطيبة والحكمية جدتي.

إلى صديقات المشوار الاتي قاسمني لحظاته رعاهم الله ووفقهم هاجر نجاة جهاد
إلى كل زملائي وقسم الهندسة الكيميائية دفعة 2024م،

إلى كل من لهم أثر في حياتي واحبهم قلبي زكرياء.

إلى ارواح شهداء غزة الابرار الذين سطوروا بدمائهم صفحات من الفداء.

واخيرا إلى نفسي التي عملت بجد ولم تستسلم وواصلت حتى النهاية
اهدكم ثمرة جهدي المتواضعة فهذا الانجاز هو انجازكم أيضا.

الإهداء الثاني

كوشر

كوشر



REMERCIEMENTS

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. KHANE Yasmine, 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. MANSORI khalde et Dr. FENNICHE 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 CRAPC de LAGOAT pour leur accueil et leur bienveillance, ainsi qu'à et M les employés de Sonelgaz., BELAOUR Mohamed et M. BOUHAMIDA Walid

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



Résumé

Cette recherche a offert une solution efficace au problème de la pollution affectant les isolateurs haute tension grâce à l'utilisation d'un nanorevêtement superhydrophobe. Le revêtement nanocomposite a été fabriqué par un processus qui intègre du silicone avec des nanoparticules d'oxyde de cuivre (CuO), synthétisées par des approches à la fois chimiques et biologiques, afin de créer un matériau novateur aux caractéristiques améliorées. Suite à la synthèse de nanoparticules d'oxyde de cuivre (CuO-NPs) par la méthode chimique (Coprécipitation.), elles ont été caractérisées en utilisant plusieurs techniques. Les études ont identifié des nanoparticules et caractérisé leur morphologie à l'aide d'un microscope électronique à balayage (MEB), ce qui a indiqué que les nanoparticules de CuO avaient une structure fleurs. De plus, la spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX) a été utilisée pour déterminer la création de ces particules, tandis que leurs caractéristiques cristallines et leurs dimensions ont été évaluées par une analyse de diffraction des rayons X (XRD). Les résultats ont révélé que la structure cristalline de l'oxyde de cuivre (CuO) avait une taille moyenne de **24.27 nm**. Le nanorevêtement a été soumis à une analyse par SEM, qui a révélé une morphologie de surface complexe et a validé la présence de nanoparticules de cuivre sur la surface du revêtement, montrant une distribution inégale de ces particules. De plus, l'étude par spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX) a révélé que les nanoparticules de CuO étaient intégrées à l'intérieur du revêtement. Un test d'angle de contact (méthode des gouttes) a été réalisé pour évaluer l'efficacité de notre revêtement, obtenant une valeur supérieure à 150°, ce qui augmente la capacité du revêtement à résister à l'eau et à atteindre de meilleures capacités d'auto-nettoyage.

Mots-clés : Nanoparticules d'oxyde de cuivre CuO-NPs, nanocomposite, silicone, des approches chimique et biologique, Revêtement, Angle de contact, superhydrophobe.

Abstract

This research provided an effective resolution to the issue of pollution affecting high-voltage insulators by the use of a superhydrophobic nanocoating. The nanocomposite coating was manufactured by a process that integrates silicon with copper oxide nanoparticles (CuO), synthesized via both chemical and biological approaches, to create a novel material with enhanced characteristics. Following the synthesis of Copper oxide nanoparticles (CuO-NPs) using the chemical approach (co-precipitation), they were characterized employing several methods. The studies identified nanoparticles and characterized their morphology using a scanning electron microscope (SEM), which indicated that the CuO nanoparticles had a flowers structure. Furthermore, Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX) was used to ascertain the creation of these particles, while their crystalline characteristics and dimensions were evaluated by X-ray diffraction (XRD) examination. The findings revealed that the crystalline structure of copper oxide CuO had an average size of **24.27 nm**. The nanocoating underwent SEM examination, which disclosed intricate surface morphology and validated the existence of copper nanoparticles on the coating surface, exhibiting an unequal distribution of these particles. Moreover, Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX) study revealed that the CuO nanoparticles were integrated inside the coating. A contact angle test (sessile drop method) was performed to assess the efficacy of our coating, yielding a value above 150°, hence augmenting the coating's capacity to resist water and attain superior self-cleaning capabilities.

Keywords: Copper oxide nanoparticles, nanocoposite, Silicon, Chemical and biological approaches, coating, contact angle, Superhydrophobic.

الملخص

قدمت هذه الدراسة حلاً فعالاً لمشكلة التلوث الذي يؤثر على العوازل عالية الجهد من خلال استخدام غلاف نانوي فائق الكراهية للماء. أُنتج الغلاف النانوي المركب عن طريق استخدام تقنية دمج السيليكون مع جسيمات النانوية أكسيد النحاس النانوية (CuO-NPs) التي تم تحضيرها عبر أساليب كيميائية وبيولوجية، لإنشاء مادة جديدة تتمتع بخصائص محسنة. بعد تخليق الجسيمات النانوية لأكسيد النحاس (CuO-NPs) بالطريقة الكيميائية (الترسيب)، جرى توصيفها باستخدام عدة تقنيات، حيث أظهرت التحليلات وجود الجسيمات النانوية وتحديد شكلها باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح (SEM)، الذي كشف أن الجسيمات النانوية لأكسيد النحاس كانت بشكل زهور. إضافةً إلى ذلك، دعم طيف الأشعة السينية المشتتة لطاقة (EDX) تكوين هذه الجسيمات CuO-NPs، بينما تم تقييم خصائصها البلورية وأبعادها من خلال تحليل الأشعة السينية (DRX). أظهرت النتائج إلى أن الهيكل البلوري لأكسيد النحاس (CuO) كان له حجم متوسط قدره 24.27 نانومتر. خضع الغلاف النانوي لتحليل بالمجهر الإلكتروني الماسح (SEM)، الذي أوضح تفاصيل مورفولوجيا سطح العينة كما كشف عن تركيبية سطحية معقدة وأكد وجود جسيمات النحاس النانوية على سطح الغلاف، مع عرض توزيع غير متساوٍ لهذه الجسيمات، علاوة على ذلك، أثبت تحليل الطيفي بالأشعة السينية (EDX) المشتتة لطاقة أن الجسيمات النانوية كانت مدمجة داخل هذا الغلاف. تم إجراء اختبار زاوية الاتصال (sessile drop method) لتقييم فعالية الغلاف لدينا، وأسفرت النتائج عن زاوية تجاوزت 150°، وبالتالي تعزيز قدرة الغلاف على مقاومة الماء وتحقيق قدرات تنظيف ذاتي متفوقة.

الكلمات المفتاحية: الجسيمات النانوية لأكسيد النحاس، المركب النانوي، السيلكون، أساليب كيميائية وبيولوجية، الغلاف، فائق الكراهية للماء، زاوية التلامس.

Liste des abréviations

CuO-NPs	Nanoparticules d'oxyde de cuivre.
Å	Angström
eV	Électronvolt
PNC	polymère nanocomposite
HT	Haute tension.
nm	Nanomètre
µm	Micromètre
Cu(NO₃)₂	Nitrate de cuivre
NaOH	Hydroxyde de sodium
PDMS	Polydimethylsiloxane
C₈H₁₀	Xylène
pH	Potentiel d'Hydrogène
MEB	Microscopie électronique à balayage
EDX	Spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie
DRX	Diffraction des rayons X
phr	Parts per hundred resion
θ	Angle de Bragg
rad	Radian

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Classifications des nanomatériaux (a) 0D sphères et clusters, (b) 1D nanofibres, fils et tiges, (c) 2D films, plates, et réseaux, (d) 3D nanomatériaux	7
Figure I.2 : Classification des nanomatériaux selon leur taille	8
Figure I.3 : Images MEB (détecteur BSE) de nanofibres de carbonate de calcium dans la chaux récarbonatée de Low Ham : (a) dans le mortier de chaux ou les déchets de Rutland. (b) et dans les déchets de construction au château de Cēsis	8
Figure I.4 : Agrégats et agglomérats de nano-objets	9
Figure I.5 : Échelle nanoparticules	10
Figure I.6 : Différentes approches et des méthodes des synthèses des nanoparticules ..	12
Figure I.7 : Nanoparticules organiques : a - Dendrimères, b - Liposomes et c- micelles	13
Figure I.8 : Exemples de nanoparticules inorganiques	14
Figure I.9 : Nanoparticules carbonés : A : Graphene, B : Nanofibres de carbone, C : Carbone actif D : SWCNT, E : DWCNT, F : MWCNT, G : fullerène	14
Figure I.10 : L'oxyde de cuivre	15
Figure I.11 : Structure cristalline de CuO	15
Figure I.12 : Applications d'oxyde de cuivre	18
Figure I.13 : Élaboration d'un nanocomposite en solution	20
Figure I.14 : Nanocomposite produit par polymérisation d'un monomère in-situ	21
Figure I.15 : Élaboration d'un nanocomposite à l'état fondu	21
Figure I.18 : Applications de nanocomposite polymère	24
Figure I.16 : Chaîne structure de polymère	24
Figure I.17 : Structure chimique du Polydiméthylsiloxane.	25
Figure I.19 : Différents types d'isolateurs haute tension	28
Figure I.20 : Sources de pollution des isolateurs	30

Chapitre II

Figure II. 1 : Organigramme descriptif de la méthodologie de travail.....	40
Figure II.2 : Préparation de solution de nitrate de cuivre $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	42
Figure II.3 : Préparation de solution Hydroxyde de sodium (NaOH).....	42
Figure II.4 : L'ajout de la solution de NaOH à la solution de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	43
Figure II.5 : Obtention d'un précipité noir.....	43
Figure II.6 : Lavage et centrifugation, séchage, broyage.....	44

Figure II.7 : Nanoparticule d'Oxyde de cuivre CuONPs.	44
Figure II.8 : Préparation de silicone.	45
Figure II.9 : préparation de nanocomposite.....	45
Figure II.10 : Revêtement de nanocomposite (CuONPs chimique) avec trois proportions différentes.....	46
Figure II.11 : Revêtement de nanocomposite (CuONPs biologique) avec trois proportions différentes.....	46
Figure II.12 : Gouttes d'eau roulant sur des substrats avec une surface hydrophobe normale (à gauche) et une surface superhydrophobe auto-nettoyante (à droite) à travers des particules de poussière	48
Figure II.13 : Composants du microscope électronique à balayage	49
Figure II.14 : L'interaction du faisceau d'électrons avec l'échantillon et le signal émis par celui-ci	50
Figure II.15 : Appareille de MEB couplé à l'EDX «SU3500».	51
Figure II.16 : Principe d'une spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie	52
Figure II.17 : Illustration du principe de base de la diffraction des rayons X	53
Figure II.18 : (a) Schéma illustrant le principe de fonctionnement d'un diffractomètre à rayon (b) Principe de la diffraction de rayons X par un réseau cristallin	54

Chapitre III

Figure III.1: Images MEB des nanoparticules CuO synthétisé avec différents agrandissements.	59
Figure III.2 : Spectre d'analyse EDX des nanoparticules CuO synthétisée.....	60
Figure III.3 : diagramme de diffraction des rayons X des nanoparticules de CuO chimiques.	62
Figure III.4 : Image MEB de PDMS pure.	64
Figure III.5 : Images MEB de revêtement avec des nanoparticules CuO-NPs chimiques à trois proportions différentes (a), (b), (c).	65
Figure III.6 : Images MEB de revêtement avec des nanoparticules CuO-NPs biologique à trois proportions différentes (a), (b), (c).	66
Figure III.7 : Spectre d'analyse EDX de PDMS pure.	68
Figure III.8 : Spectre d'analyse EDX de revêtement avec des nanoparticules CuO-NPs chimiques à trois proportions différentes (a), (b), (c).	69
Figure III.9: Image montrant la forme des gouttes d'eau sur la surface du revêtement avec la technique Méthode des gouttes.....	71
Figure III.10 : Histogramme des Angles de Contact de revêtement par des nanoparticules chimiques.	71
Figure III.11 : Histogramme des Angles de Contact de revêtement par des nanoparticules biologique.....	73

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : Les propriétés physiques de l'oxyde de cuivre CuO	16
--	----

Chapitre II

Tableau II.1 : Tableau des produits.	41
Tableau II.2 : Différents comportements de l'eau selon l'hydrophobie de la surface	47

Chapitre III

Tableau III.1 : Compositions chimique d'échantillon synthétisées.	61
Tableau III.2 : Taille des nanoparticules de CuO synthétisée.	63
Tableau III. 3 : Compositions chimique d'échantillon de PDMS pure.	68
Tableau III.4 : Compositions chimique d'échantillons de revêtement avec des nanoparticules CuO-NPs chimiques à trois proportions différentes (a), (b), (c).	70

TABLE DE MATIERES

الإهداء

REMERCIEMENTS

RÉSUMÉ

ABSTRACT

الملخص

LISTE DES ABRÉVIATIONS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1

REFERENCE

3

CHAPITRE I : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 INTRODUCTION	6
I.2 CONCEPT DE NANO	6
I.3 NANOMATERIAUX	6
I.3.1 Définition	6
I.3.2 Classification de nanomatériaux	7
I.3.2.1 Classification par dimensions	7
I.3.2.2 Classification par familles	7
I.4 NANOPARTICULE	10
I.4.1 Définition	10
I.4.2 Méthodes de synthèse pour les nanoparticules	10
I.4.3 Classification de nanoparticule	13
I.5 L'OXYDE DE CUIVRE NPs	15
I.5.1 Définition	15
I.5.2 Propriétés de l'oxyde de cuivre CuO	15
I.5.3 Applications d'oxyde de cuivre	17
I.6 NANOCOMPOSITES	18
I.6.1 Définition	18
I.6.2 Types de nanocomposite	19
I.6.2.1 Nanocomposite polymère	19

I.6.2.1.1 Définition	19
I.6.2.1.2 Préparation de nanocomposite polymère	19
I.6.2.1.3 Applications de nanocomposite polymère	22
I.7 POLYMÈRE	24
I.7.1 Silicone	25
I.7.1.1 Définition	25
I.7.1.2 Composants	25
I.7.1.3 Propriétés	25
I.7.1.4 Applications	26
I.8 ISOLATEURS HAUTE TENSION.	26
I.8.1 Définition des isolateurs	26
I.8.2 Types des isolateurs	27
I.8.3 Matériaux isolants utilisés pour la fabrication des isolateurs	29
I.8.4 Phénomène de pollution des isolateurs	29
I.8.5 Sources de pollution des isolateurs	30
I.9 CONCLUSION	30
RÉFÉRENCE.....	32

CHAPITRE II : ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

II.1 INTRODUCTION	39
II. 2 OBJECTIVE DE TRAVAIL	39
II.3. PRODUITS CHIMIQUES	40
II.4 MODE OPÉRATOIRE	42
II.4.1 Synthèse chimique des nanoparticules de CuO	42
II.4.2 Préparation de revêtement	45
II.5 PROPRIÉTÉS DES INTERACTIONS ENTRE LES SURFACES ET LES LIQUIDES	47
II.5.1 Mouillage	47
II.5.2 Superhydrophobe	48
II.6 TECHNIQUES DE CARACTÉRISATION	48
II.6.1 Microscope électronique à balayage (MEB, SEM)	48
II.6.2 Spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX)	51
II.6.3 Diffraction des rayons X(DRX)	52
II.6 CONCLUSION	55
RÉFÉRENCE.....	56

CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION

III.1 INTRODUCTION	59
III. 2. CARACTÉRISATION DES NANOPARTICULES CUO CHIMIQUES	59
III.2.1 Microscope électronique à balayage (MEB, SEM)	59
III.2.2 Spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX)	60

III.2.3 Diffraction des rayons X(DRX)	61
III. 3 CARACTÉRISATION DE REVÊTEMENT	63
III. 3.1 Microscope électronique à balayage (MEB)	63
III.3.2 Spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX)	67
III.4 TESTS SUR LE REVÊTEMENT :	70
III.4.1 Analyse de L'angle de contact par méthode des gouttes	70
RÉFÉRENCE.....	76
CONCLUSION GÉNÉRALE	77
ANNEXES	80

Introduction générale :

Le secteur de l'énergie électrique joue un rôle crucial dans la croissance économique et le développement de chaque pays à travers le monde. Par conséquent, la demande mondiale d'énergie électrique augmente tant dans les économies développées que dans les économies en développement [1]. Pour répondre à cette demande croissante et améliorer les normes de vie, les entreprises doivent assurer une livraison d'énergie de manière sécurisée et fiable tout en atteignant des performances maximales du système. C'est pourquoi les lignes électrique haute tension sont largement utilisées pour transporter l'énergie des centrales vers les consommateurs sur de longues distances. Pour un transport d'énergie sûr et fiable, un système d'isolation fiable est nécessaire [2, 3].

Les isolants sont l'une des composantes les plus importantes des systèmes énergétiques, car ils peuvent affecter la performance générale des lignes aériennes et des sous-stations HT [4]. Les isolateurs HT soutiennent les lignes aériennes et les empêchent de toucher les structures de soutien, garantissant ainsi un transfert d'énergie efficace et sûr [5].

Les lignes aériennes et les sous-stations du réseau de transmission d'énergie électrique sont soumises à des conditions climatiques extrêmes [6]. En conséquence, les isolateurs HT sont particulièrement exposés à divers polluants (poussière, sable, sels, produits chimiques, etc.) qui peuvent s'accumuler à la surface de l'isolant. Dans des conditions humides, la couche de pollution se transforme en une couche conductrice, permettant au courant de fuite de circuler sur la surface de l'isolateur et provoquant des décharges. Ces décharges peuvent persister jusqu'à la coupure de la ligne électrique, entraînant des pertes s'élevant à des milliards de dollars [7,8].

Pour éviter le phénomène de pollution, plusieurs solutions existent, notamment l'augmentation de la distance de fuite, le lubrifiant (en utilisant des graisses chimiques spéciales) et le lavage périodique à l'eau distillée. Cependant, ces méthodes sont coûteuses et prennent du temps. De plus, il n'existe pas de méthode fiable, autre que l'expérience humaine, pour déterminer quand un nettoyage est nécessaire. Par conséquent, il est essentiel de veiller à la maintenance. Une méthode intéressante pour éviter l'accumulation de polluants sur les surfaces des isolateurs [6]. Consiste à appliquer un revêtement super hydrophobe. Ribeiro et autre ont développé des revêtements superhydrophobes pour les isolateur haute tension [9]. Ces revêtements sont particulièrement intéressants en raison de leur propriété d'auto-nettoyage, c'est-à-dire la capacité de la surface à se débarrasser des polluants lorsqu'elle est en contact avec des gouttes d'eau [8].

Introduction générale :

L'objectif de ce travail est de développer un revêtement superhydrophobe utilisant la technologie des nanomatériaux. Il existe plusieurs matériaux pour développer ce revêtement, parmi lesquels le silicone revêt une grande importance en raison de sa capacité à isoler électriquement et de sa bonne résistance à la pollution, grâce à ses propriétés hydrophobes et à sa résistance à la chaleur et aux rayons ultraviolets [10,11]. Cependant, sa sensibilité au vieillissement et la dégradation de sa surface dans les environnements humides sont des points faibles de le silicone, pour améliorer les propriétés des polymères, des nanoparticules sont ajoutées, contribuant à augmenter la constante d'isolation et ses caractéristiques hydrophobes. De plus, certaines nanoparticules sont connues pour posséder des propriétés photocatalytiques [6].

Il existe de nombreux semi-conducteurs adaptés à une utilisation en tant qu'agents photocatalytiques, tels que l'oxyde de cuivre CuO, l'oxyde de zinc ZnO et l'oxyde de titane TiO₂ [12]. L'oxyde de cuivre a suscité un intérêt particulier en raison de son application dans l'élimination des polluants organiques et inorganiques par photocatalyse sous irradiation solaire. Il est donc considéré comme un photocatalyseur prometteur, grâce à sa large bande interdite, à son faible coût, à sa disponibilité, à sa faible toxicité, à sa grande surface spécifique et à sa stabilité chimique et photocatalytique excellente [13,14]. Avec ces caractéristiques, la saleté présente à la surface s'oxyde rapidement, permettant d'obtenir des surfaces auto-nettoyantes. De plus, l'oxyde de cuivre améliore l'hydrophobie de la surface grâce à la création de rugosité sur celle-ci [15].

Pour réaliser ce travail, la recherche est divisée en trois chapitres :

- Le premier chapitre : un aperçu général des nanomatériaux et des nanoparticules, en particulier l'oxyde de cuivre CuO, les nanocomposites et les isolateurs haute tension.
- Le deuxième chapitre : Il couvre les méthodes et techniques expérimentales utilisées ainsi que les méthodes de caractérisation.
- Le troisième chapitre : présente les résultats d'analyse physico-chimique des nanoparticules obtenus et les caractérisations de notre nanocomposite avec la discussion des tests.
- Enfin, une conclusion générale résumant les principales conclusions obtenues.

Reference:

- [1] Strielkowski, W., et al., Renewable energy in the sustainable development of electrical power sector: A review. *Energies*, 2021.14 (24): p. 8240.
- [2] Ijaz, U., et al., A critical study on detection of pollution level of overhead insulators by measuring pH and conductivity of the contaminants. *Mehran University Research Journal of Engineering & Technology*, 2023. 42(4): p. 64-71.
- [3] Boulanouar, H., Contribution to the study and analysis of silicone insulating materials performance under DC and AC voltages. 2020.
- [4] Maraaba, L., et al., Contamination level monitoring techniques for high-voltage insulators: a review. *Energies*, 2022. 15(20): p. 7656.
- [5] Ahsan, M., et al., Comprehensive Analysis of Insulator Performance in High Voltage Transmission Systems: Implications for Efficient Power Transfer. *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics*, 2024. 115(1) : p. 117-130.
- [6] Madidi, F.Z., Élaboration de revêtements nanocomposites avec des propriétés superhydrophobes, semi-conductrices et photocatalytiques. 2016, Université du Québec à Chicoutimi.
- [7] He, L. and R. Gorur, Source strength impact analysis on insulator flashover under contaminated conditions. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 2016. 23(2): p. 1005-1011.
- [8] Momen, G., M. Farzaneh, and A. Nekahi, Properties and applications of superhydrophobic coatings in high voltage outdoor insulation: A review. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 2017. 24(6): p. 3630-3646.
- [9] Ribeiro, A., et al., Superhydrophobic nanocomposite coatings based on different polysiloxane matrices designed for electrical insulators. *Progress in Organic Coatings*, 2022. 168: p. 106867.
- [10] Sardar, V.B., et al. Developments in silicone material for biomedical applications-A review. In 14th international conference on humanizing work and work environment. Punjab, India. 2016.

- [11] Du, B. and Z. Li, Hydrophobicity, surface charge and DC flashover characteristics of direct-fluorinated RTV silicone rubber. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 2015. 22(2): p. 934-940.
- [12] Kozlov, A.Y., et al., CuO nanowhiskers-based photocatalysts for wastewater treatment. *Nano Hybrids and Composites*, 2017. 13: p. 183-189.
- [13] Sibhatu, A.K., et al., Photocatalytic activity of CuO nanoparticles for organic and inorganic pollutants removal in wastewater remediation. *Chemosphere*, 2022. 300: p. 134623.
- [14] Muthuvel, A., M. Jothibas, and C. Manoharan, Synthesis of copper oxide nanoparticles by chemical and biogenic methods: photocatalytic degradation and in vitro antioxidant activity. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, 2020. 5(2): p. 14.
- [15] Lam, M., V. Migonney, and C. Falentin-Daudre, Review of silicone surface modification techniques and coatings for antibacterial/antimicrobial applications to improve breast implant surfaces. *Acta Biomaterialia*, 2021. 121 : p. 68-88.

Chapitre I

Étude bibliographique

I.1 Introduction :

La nanotechnologie est un domaine de recherche, d'innovation, de développement et d'activité industrielle qui a connu une croissance rapide ces dernières années. Cette technologie englobe de nombreuses disciplines telles que la biologie, l'ingénierie, la physique et la chimie. Elle implique la fabrication et le traitement de matériaux à l'échelle de 100 nm [1].

Les nanocomposites polymères occupent une place particulière en raison de la diversité de leurs applications. La différence entre les propriétés des polymères purs et celles des nanocomposites polymères correspondants est attribuée à l'effet significatif des charges nanométriques sur la matrice polymère. Il est reconnu que les nanocomposites à base de matrice polymère sont des matériaux importants pour des applications telles que les revêtements, les adhésifs, l'industrie automobile, les applications isolantes, et les applications médicales [2].

Dans ce chapitre, nous verrons la partie théorique de notre travail en abordant les concepts généraux des nanoparticules, des nanocomposites et des notions sur les isolateur haute tension.

I.2 Concept de Nano :

Le mot "nano" est dérivé du grec ancien, signifiant "nanos" ou, autrement dit, "très petit". Cependant, dans les contextes contemporains, il a évolué pour décrire des choses qui sont de l'ordre de 10^{-9} mètres, c'est-à-dire qu'il est devenu une unité de mesure équivalente à un milliardième de mètre ou un millionième de millimètre [3,4].

I.3 Nanomatériaux :

I.3.1 Définition :

Les nanomatériaux sont des substances naturelles, manufacturées ou résultant de processus accidentels, qui contiennent des particules libres, qu'elles soient sous forme d'agrégats ou d'agglomérats, ayant une dimension d'un ou plusieurs axes comprise entre 1 et 100 nanomètres [5]. Ces matériaux se distinguent par leur appartenance à une catégorie avancée de matériaux [6]. Dotée de propriétés chimiques et physiques uniques par rapport à leurs homologues à l'échelle macroscopique [7]. Parmi ces propriétés, on trouve une surface spécifique élevée, ce qui les rend plus réactifs chimiquement [6].

I.3.2 Classification de nanomatériaux :

Les nanomatériaux peuvent être classés selon plusieurs critères [8] :

I.3.2.1 Classification par dimensions :

On peut classer les nanomatériaux en quatre familles selon leur dimension :

- a. **Matériaux de dimension 0** : matériaux Composés de grains nanométriques dispersés de manière aléatoire ou organisée au sein d'une matrice. comme dans les cristaux colloïdaux pour l'optique ou les fluides magnétiques [8].
- b. **Matériaux de dimension 1** : matériaux sous forme de nanofibres ou de nanotubes [8].
- c. **Matériaux de dimension 2** : matériaux sous forme de couche mince, comme dans les dépôts d'agrégats ou de revêtements épais obtenus par projection plasma ou voie électrochimique [8].
- d. **Matériaux de dimension 3** : matériaux sous forme compacte comme dans les céramiques et les métaux nanostructures [8,9].

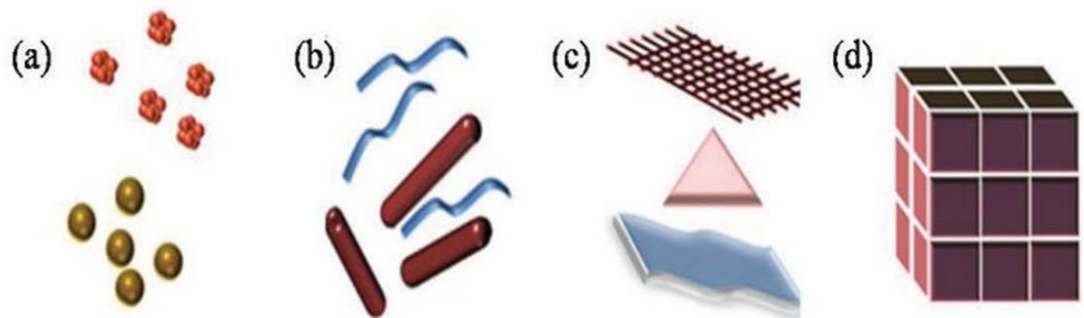


Figure I.1 : Classifications des nanomatériaux (a) 0D sphères et clusters, (b) 1D nanofibres, fils et tiges, (c) 2D filmes, plates, et réseaux, (d) 3D nanomatériaux [10]

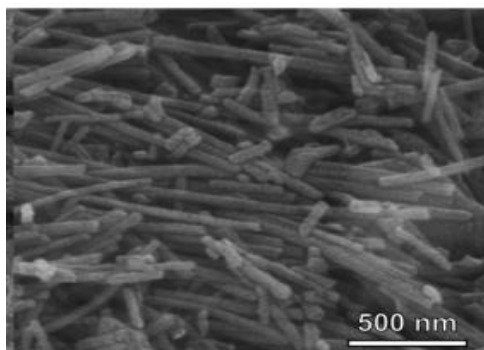
I.3.2.2 Classification par familles :

Il existe deux grandes familles de nanomatériaux [11] :

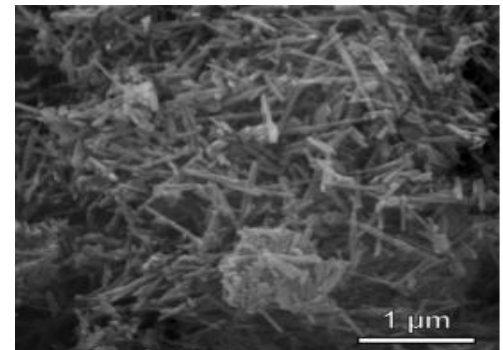


Figure I.2 : Classification des nanomatériaux selon leur taille [12].

- **Nano-objets**, qui sont des matériaux dont une, deux ou trois dimensions externes se situent à l'échelle nanométrique. Cette famille comprend trois catégories sont discernées [11] :
- Nanoparticules, qui désignent des nano-objets dont les trois dimensions externes se situent à l'échelle nanométrique notamment le dioxyde de titane.
 - Nanofibres, nanotubes, nanofilaments, nanotiges ou nanobâtonnets, qui se rapportent à des nano-objets dont deux dimensions externes similaires sont à l'échelle nanométrique telle que les nanotubes de carbone et dont la troisième dimension est significativement supérieure.



(a)



(b)

Figure I.3 : Images MEB (détecteur BSE) de nanofibres de carbonate de calcium dans la chaux récarbonatée de Low Ham : (a) dans le mortier de chaux ou les déchets de Rutland. (b) et dans les déchets de construction au château de Cēsis [13].

- Nanofeuillets, nanoplats ou nanoplaquettes, qui définissent des nano-objets dont une dimension externe se situe à l'échelle nanométrique notamment les nanofeuillets d'argile et dont les deux autres dimensions sont significativement plus grandes.
- **Matériaux nanostructures** ; Les nanomatériaux sont des matériaux ayant une structure interne ou de surface à l'échelle nanométrique. Parmi ces nanomatériaux, plusieurs familles peuvent être distinguées, notamment [11] :
- **Agrégats et agglomérats de nano-objets** : c'est un assemblage de nano-objets représentés soit de manière individuelle soit sous forme de d'agrégats ou d'agglomérats dont la taille est sensiblement supérieure à 100 nm [11].

Dans les agglomérats, les particules sont faiblement liées entre elles, et la surface de Chaque composant équivaut à la surface externe résultante. En revanche, dans les agrégats, les particules sont fortement liées entre elles. La surface de chaque composant peut être plus grande que la surface externe résultante [14].

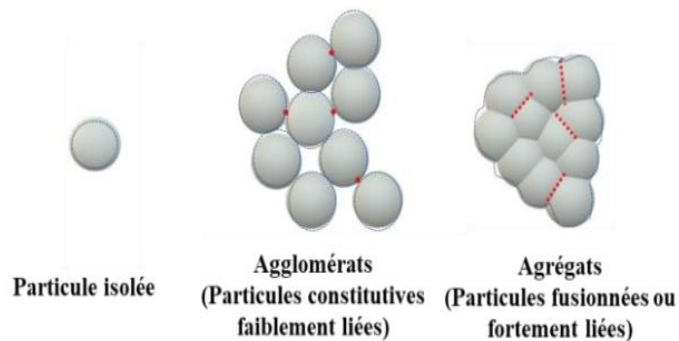


Figure I.4 : Agrégats et agglomérats de nano-objets [12].

- **Matériau nano-poreux** : un matériau nano-poreux est un matériau solide contenant des nano pores. Un nano pore est une cavité dont au moins une dimension est à l'échelle nanométrique et qui peut contenir un gaz ou un liquide [14] .
- **Nanocomposite** : Le terme "nano-composite" désigne un matériau solide composé d'un mélange de deux substances ou plus avec des phases distinctes [14], dans lequel des nano-objets sont introduits en totalité ou en partie, ce qui lui confère des propriétés améliorées à l'échelle nanométrique [11].

I.4 Nanoparticule :

I.4.1 Définition :

Les particules nanométriques sont des particules dont la taille varie entre 1 et 100 nanomètres (10^{-9}). Elles sont constituées de carbone, de métaux, d'oxydes métalliques ou de matériaux organiques. Toutes leurs dimensions sont à l'échelle du nanomètre. Leur petite taille leur confère des surfaces spécifiques beaucoup plus importantes que celles des formes en vrac. Elles présentent des propriétés physiques, chimiques et biologiques uniques par rapport à leurs homologues de plus grande taille [15-17].

Les NPs ne sont pas des simples molécules en soi et sont donc composés de trois couches [18] :

- couche de surface, qui peut être fonctionnalisée avec une variété de petites molécules, d'ions métalliques, de tensioactifs et de polymères.
- couche de coque, qui est un matériel chimiquement différent du noyau dans tous les aspects, etc.
- noyau, qui est essentiellement la partie centrale du NP et désigne généralement le NP lui-même.

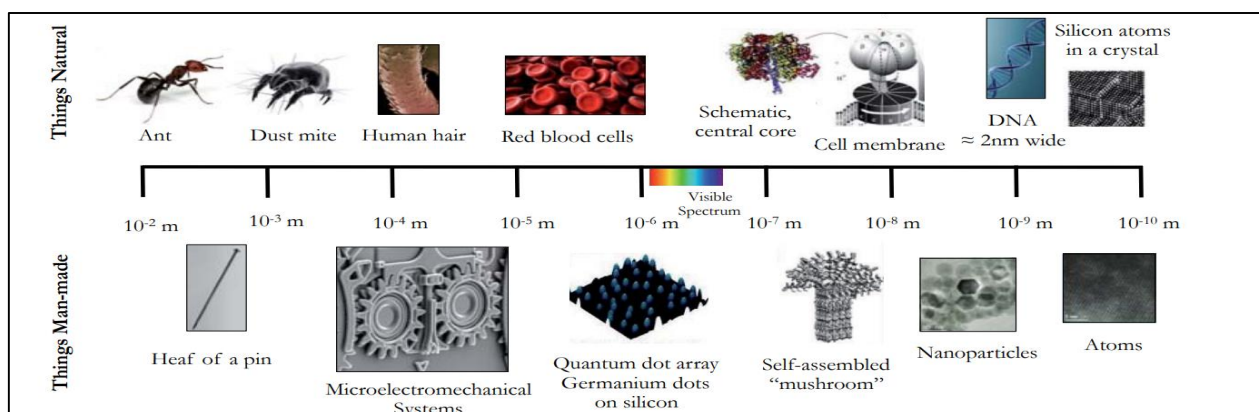


Figure I.5 : Échelle nanoparticules [19].

I.4.2 Méthodes de synthèse pour les nanoparticules :

Il existe deux approches principales couramment utilisées pour préparer les nanoparticules :

1/ l'approche descendante (top down) :

Elle utilise des structures macroscopiques de base, où le procédé commence avec des particules plus grandes qui sont réduites en nanoparticules. Le processus de formation des structures nanométriques est contrôlé de l'extérieur. Ces méthodes comprennent des techniques physiques telles que le broyage, l'irradiation, la gravure, etc... Les principaux inconvénients de ces méthodes sont qu'elles nécessitent des installations de grande taille, nécessitent un capital important et ne sont pas adaptées à la production à grande échelle ; elles sont principalement appropriées pour les expérimentations en laboratoire [20-22].

2/ l'approche ascendante (Bottom up) :

Cette approche implique l'assemblage ou l'intégration d'atomes et de molécules pour générer une variété de nanoparticules [22]. La méthodologie de cette approche est principalement basée sur le principe de reconnaissance moléculaire (auto-assemblage), ce qui signifie que les objets se forment spontanément en raison de leur similitude. Cela inclut des méthodes chimiques et biologiques telles que le dépôt, le sol-gel, etc. [20]

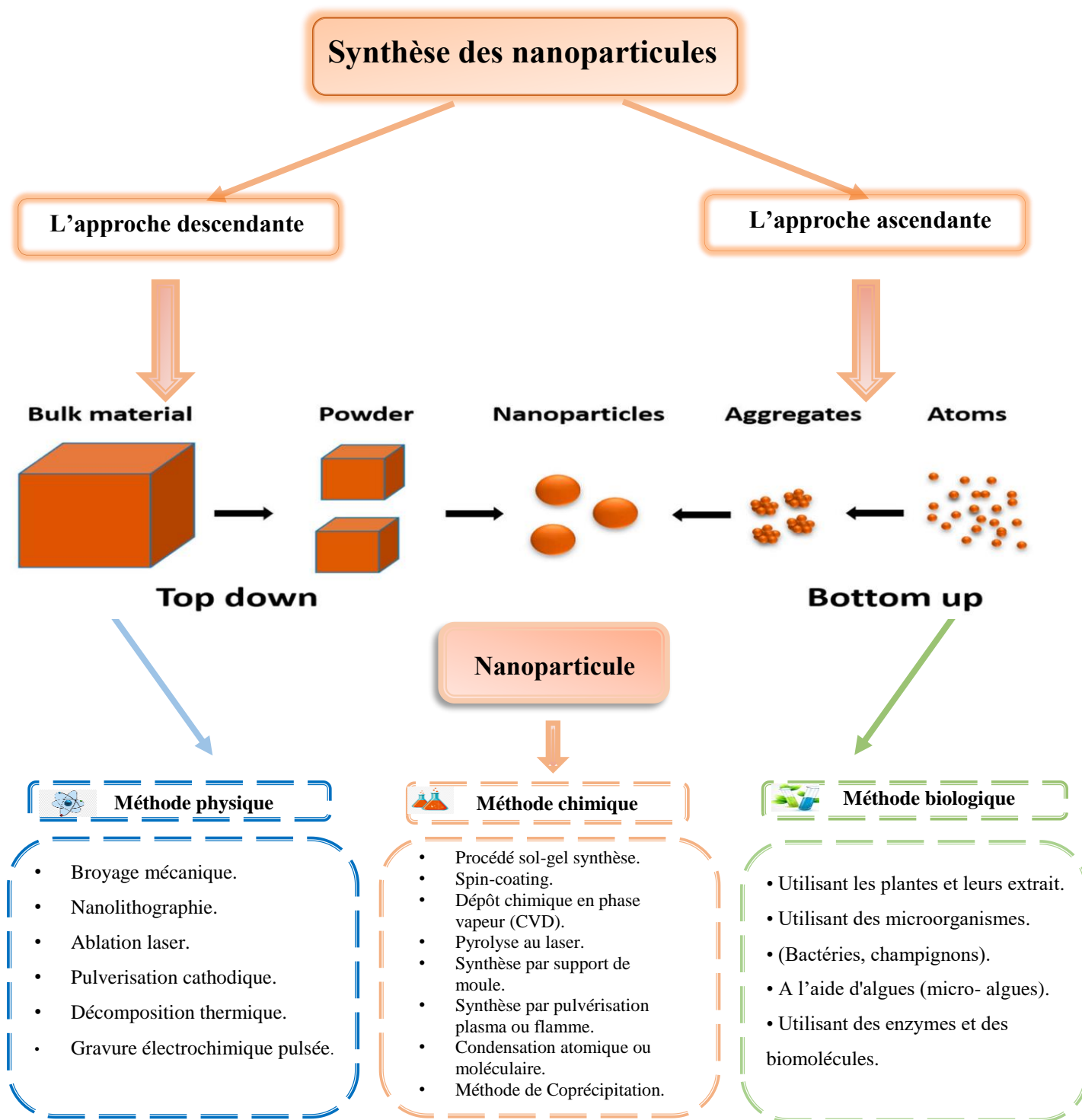


Figure I.6 : Différentes approches et des méthodes des synthèses des nanoparticules [23,24].

I.4.3 Classification de nanoparticule :

Les nanoparticules sont classifiées selon leur composition chimique en trois catégories : nanoparticules organiques, nanoparticules inorganiques et nanoparticules à base de carbone.

a) Nanoparticules organiques :

Ce sont des particules solides composées de composés tels que des graisses, des polymères ou d'autres composés organiques, ayant une taille variant de 100 nm à 1 μm . Parmi les exemples les plus courants de cette catégorie :

dendrimères, les liposomes, les micelles et les complexes de protéines tels que la ferritine.

Ces particules sont écologiques, biodégradables, non toxiques et économiques [23, 25,26].

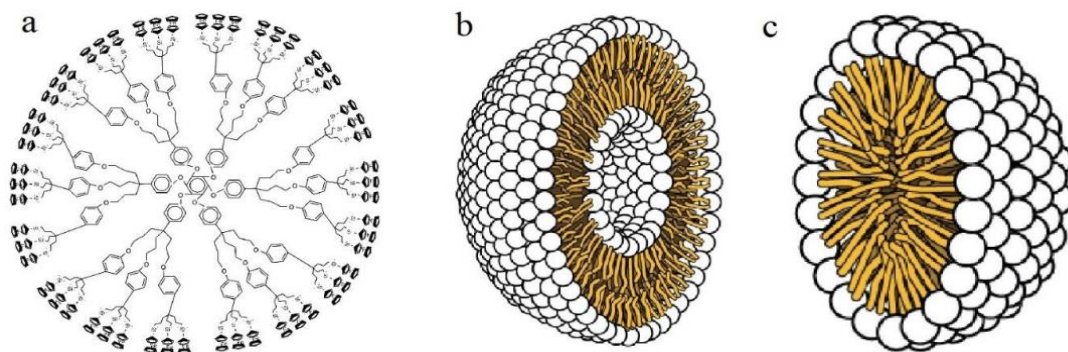


Figure I.7 : Nanoparticules organiques : a - Dendrimères, b - Liposomes et c– micelles [17].

b) Nanoparticules inorganiques :

Cette catégorie est composée de particules inorganiques qui ne sont pas fabriquées à partir de carbone ou de matériaux organiques, et comprend les particules métalliques et les oxydes métalliques [23, 25,26] :

- **Les nanoparticules métalliques** : elles peuvent être obtenues à partir de métaux tels que le cuivre (Cu), l'argent (Ag), l'or (Au), le zinc (Zn), et le fer (Fe), qui sont les métaux les plus utilisés pour la synthèse des nanoparticules métalliques en raison de la présence d'orbitales d partiellement remplies, les rendant plus réactifs à l'oxydation. Leur taille varie entre 10 et 100 nanomètres et elles se présentent sous différentes formes telles que des sphères et des cylindres. Elles exhibent des propriétés inhabituelles telles qu'un rapport surface/volume élevé, une taille de pores, et une structure cristalline ou semi-cristalline.

- **Les nanoparticules métalliques d'oxydes :** Les nanoparticules métalliques peuvent être transformées en leurs oxydes correspondants, qui possèdent des propriétés exceptionnelles par rapport à leurs homologues métalliques. Parmi les oxydes métalliques les plus courants, on trouve : l'oxyde de cuivre (CuO), l'oxyde de zinc (ZnO), l'oxyde de titane (TiO₂), etc.

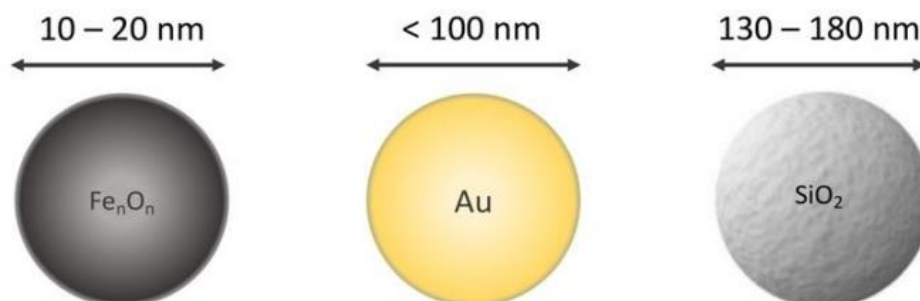


Figure I.8 : Exemples de nanoparticules inorganiques [27].

c) Nanoparticules à base de carbone :

Ce sont des particules constituées de carbone et se présentent sous différentes formes telles que tubulaire, sphérique ou elliptique. Il existe deux catégories principales de nanoparticules de carbone : fullerène et nanotubes de carbone [23].

Les nanoparticules à base de carbone combinent les caractéristiques distinctives des liaisons carbonées hybrides sp² avec des propriétés physiques et chimiques exceptionnelles à l'échelle nanométrique. Cela est dû à leur conductivité électrique unique, leur grande résistance, leur affinité électronique ainsi qu'à leurs propriétés optiques, thermiques et d'absorption [25].

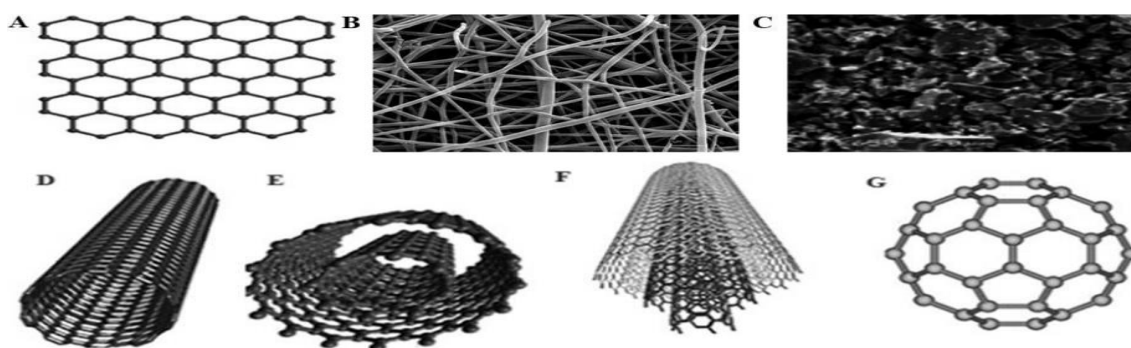


Figure I.9 : Nanoparticules carbonées : A : Graphene, B : Nanofibres de carbone, C : Carbone actif D : SWCNT, E : DWCNT, F : MWCNT, G : fullerène [28].

I.5 L'oxyde de cuivre NPs :

I.5.1 Définition :

Le CuO se présente sous forme de poudre fine de couleur noire, insoluble dans l'eau [29]. Il possède divers états d'oxydation, dont +I et +II, ce dernier étant le plus courant [30].



Figure I.10 : L'oxyde de cuivre [29].

I.5.2 Propriétés de l'oxyde de cuivre CuO :

➤ Les propriétés structurales :

L'oxyde de cuivre (CuO) est également connu sous le nom de "ténorite" [31] et possède une structure cristalline monoclinique avec le groupe d'espace $C2/c$. Les paramètres de la maille cristalline de l'oxyde de cuivre (constantes de la maille) sont : $a = 0,47 \text{ nm}$, $b = 0,34 \text{ nm}$, $c = 0,51 \text{ nm}$, $\beta = 99,54^\circ$, et $\alpha = \gamma = 90^\circ$. Chaque atome de cuivre est entouré de quatre atomes d'oxygène voisins, c'est-à-dire que les atomes de cuivre sont situés au centre d'un rectangle, et chaque atome d'oxygène est coordonné avec quatre atomes de cuivre dans une configuration tétraédrique déformée [29,32].

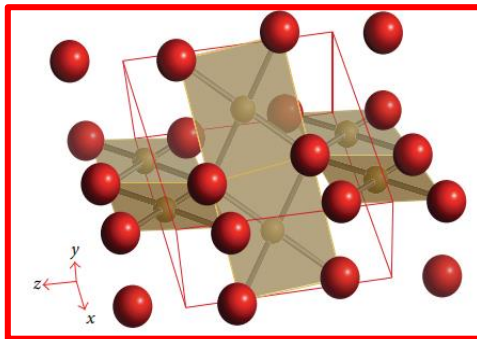


Figure I.11 : Structure cristalline de CuO [32].

➤ **Les propriétés physiques :**

Nous citons certaines des propriétés physiques dans le tableau suivant :

Tableau I.1 : Les propriétés physiques de l'oxyde de cuivre CuO [29, 32,33].

Caractéristiques	Valeur		
Paramètre de maille.	a=4.68 Å	b=3.42 Å	c=5.13Å
Distance interatomique Cu-O.	1.95Å		
Distance interatomique O-O.	2.62Å		
Distance interatomique Cu-Cu.	2.90Å		
Masse molaire.	79.55g/mol		
Masse volumique.	6.4g/cm ³		
Large de bande interdite.	1.2 eV		
Température de fusion.	1330 °C		
Constante diélectrique relative	12,0		
Capacité de chaleur spécifique (Cp)	460 ± 10 J kg ⁻¹ K ⁻¹		
Coefficient thermique d'expansion	12,5 × 10-6 K ⁻¹		
Conductivité thermique (K)	17 17 W K ⁻¹ m ⁻¹		
Apparence solide.	Noire		

➤ **Propriétés électriques :**

Les propriétés électriques des oxydes métalliques sont généralement liées aux défauts dans le réseau cristallin. L'oxyde de cuivre (CuO) est un semi-conducteur de type p avec une bande interdite de 1,45 eV et une bande interdite indirecte. Les variations de la bande interdite peuvent être associées à l'effet de taille quantique dans la structure de CuO [29, 32,34]

➤ **Propriétés optiques :**

L'oxyde de cuivre (CuO) absorbe fortement le spectre visible avec une transparence légèrement plus élevée pour les échantillons de nanostructure ayant une bande interdite plus large. Il absorbe également dans la région ultraviolette [33].

I.5.3 Applications d'oxyde de cuivre :

Photocatalyse :

Le cuivre (CuO) est considéré comme un photocatalyseur prometteur, utilisé dans de nombreux processus chimiques tels que la dégradation des polluants organiques et la séparation de l'eau sous irradiation lumineuse visible en raison de son faible gap énergétique et de son coût bas [31].

Énergie solaire :

Il est utilisé pour convertir l'énergie solaire en électricité grâce à ses nombreuses propriétés, telles qu'un haut coefficient d'absorption, une bande interdite étroite dans la région de la lumière visible, une grande efficacité, une non-toxicité, une stabilité, une fabrication simple et un coût faible [32].

Batteries au lithium :

L'oxyde de cuivre est utilisé dans les batteries au lithium en raison de ses caractéristiques distinctives, telles qu'une capacité théorique élevée, ce qui améliore son efficacité de stockage d'énergie. Il est également économique, disponible en grandes quantités par rapport à d'autres matériaux, et écologique [32].

Capteurs :

Les détecteurs optiques sont des dispositifs importants utilisés dans diverses applications telles que les systèmes d'imagerie thermique, les outils de navigation, les communications en espace libre, les dispositifs de mesure de glucose, etc. L'oxyde de cuivre offre de grandes possibilités pour développer des capteurs sensibles et à faible coût en raison de son gap énergétique relativement petit, de ses propriétés en électronique optique et de sa grande surface spécifique [31 ,32].

Applications médicales de CuO :

Les applications des nanoparticules se sont étendues au domaine médical, où le CuO est utilisé comme agents antimicrobiens, formulations anticancéreuses, agents antifongiques, agents anti-inflammatoires, agents thérapeutiques pour la guérison des blessures et pour la détection des virus dans le corps humain [35,36].



Figure I.12 : Applications d'oxyde de cuivre [31, 32, 35,36].

I.6 Nanocomposites :

I.6.1 Définition :

C'est toute matière composée de deux phases ou plus, une phase organique et une phase inorganique, dont au moins l'une de ces phases a une dimension nanométrique comprise entre 10 et 100 nm. Les nanocomposites constituent une nouvelle catégorie de matériaux. Bien qu'ils aient la même composition que les matériaux composites traditionnels, la différence réside dans la taille des composants. Certaines propriétés (optiques, électriques, mécaniques, barrières, isolantes) n'apparaissent qu'à l'échelle nanométrique en raison du rapport élevé entre la surface et le volume [39-41].

I.6.2 Types de nanocomposite :

Les nanocomposites peuvent généralement être classés en trois catégories selon le type de matrice [42] :

- Nanocomposites à matrice polymère.
- Nanocomposites à matrice céramique.
- Nanocomposites à matrice métallique.

I.6.2.1 Nanocomposite polymère :

I.6.2.1.1 Définition :

Les matériaux composites à base des polymères PNC sont constitués d'une matrice polymère et d'additifs nanométriques (charges) [42,43]. L'incorporation de nanomatériaux dans une matrice polymère permet d'améliorer les propriétés du polymère, telles que la durabilité, la solidité [44], les propriétés optiques, les propriétés barrières et les propriétés isolantes. Ces améliorations sont possibles à condition que les interactions entre les nanoparticules et la matrice soient optimales et que les nanoparticules soient uniformément dispersées dans la matrice, Ces composites permettent ainsi de combiner la facilité de mise en forme des polymères avec la possibilité de moduler leurs propriétés en fonction des applications visées. Divers types de particules, incluant des nanoparticules métalliques, de l'argile, des fibres de carbone ou même d'autres polymères, peuvent être intégrés dans la matrice polymère [38,45].

I.6.2.1.2 Préparation de nanocomposite polymère :

La préparation de nanocomposite polymère PNC peut être divisée en trois catégories principales : mélange en solution, l'état fondu, polymérisation [46]. La méthode appropriée est choisie en fonction du type de polymère, du type de nanocharge et des caractéristiques requises pour le produit final [47].

- 1. Mélange en solution :** Cette méthode consiste à mélanger le polymère et le matériau de renfort dans un solvant commun, dans lequel le polymère ou pré-polymère y est soluble et les nanocharges sont capables de gonfler. Les nanocharges sont d'abord gonflées dans un solvant tel que : l'eau, le toluène. Lorsque le polymère et les nanocharges sont mélangés dans la solution, ils interagissent Les chaînes polymères et déplacent le solvant à l'intérieur des couches Lorsque le solvant s'évapore, les nanoparticules restent réparties

entre les chaînes polymères, Le solvant doit s'évaporer lentement pour éviter la formation de bulles d'air et éviter que les nanoparticules ne se regroupent. L'avantage de cette méthode est qu'elle permet de réduire la viscosité et la température d'application .Elle est cependant adaptée à la synthèse de nano-revêtements. Il ne convient pas à une application industrielle en raison de grandes quantités de solvant nécessaires [47-50].

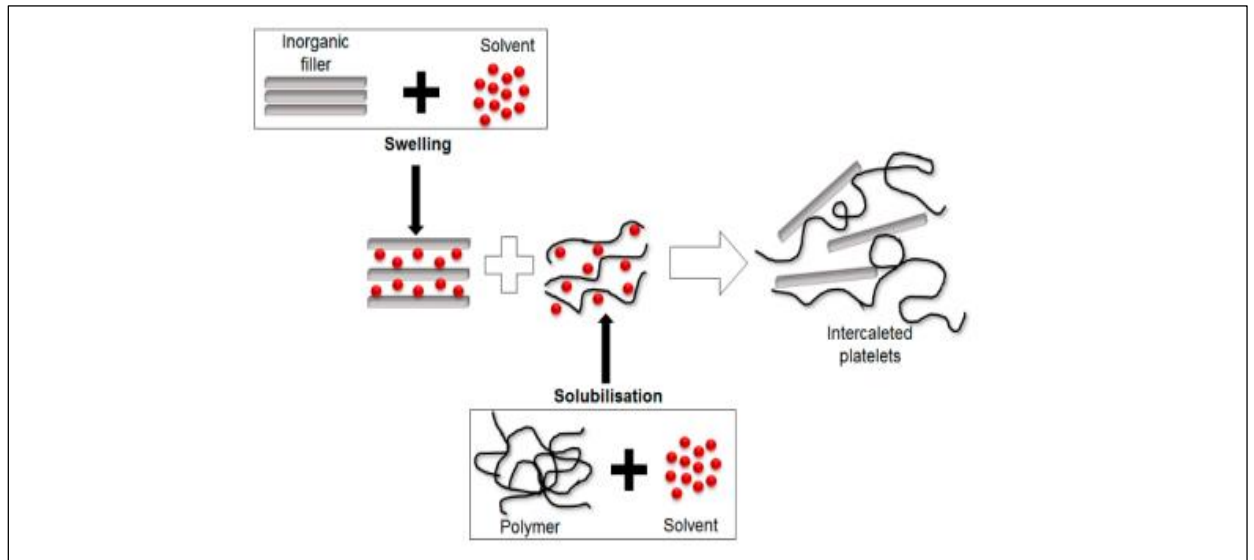


Figure I.13 : Élaboration d'un nanocomposite en solution [51].

2. **Polymérisation in- situ** : Cette méthode est la première à permettre l'obtention de matériaux nanocomposites . Les nanocharges sont directement mélangées avec la solution de monomère et se répartissent au cours de la polymérisation, ce qui réduit le temps de fabrication . Il est essentiel de bien disperser les nanocharges dans la solution de monomère avant de commencer la polymérisation . Le processus se réalise par chauffage ou irradiation . L'un des avantages de cette méthode est la bonne adhésion entre les nanocharges . Cependant, les nanocharges peuvent entraver le processus de polymérisation [46-48,50].

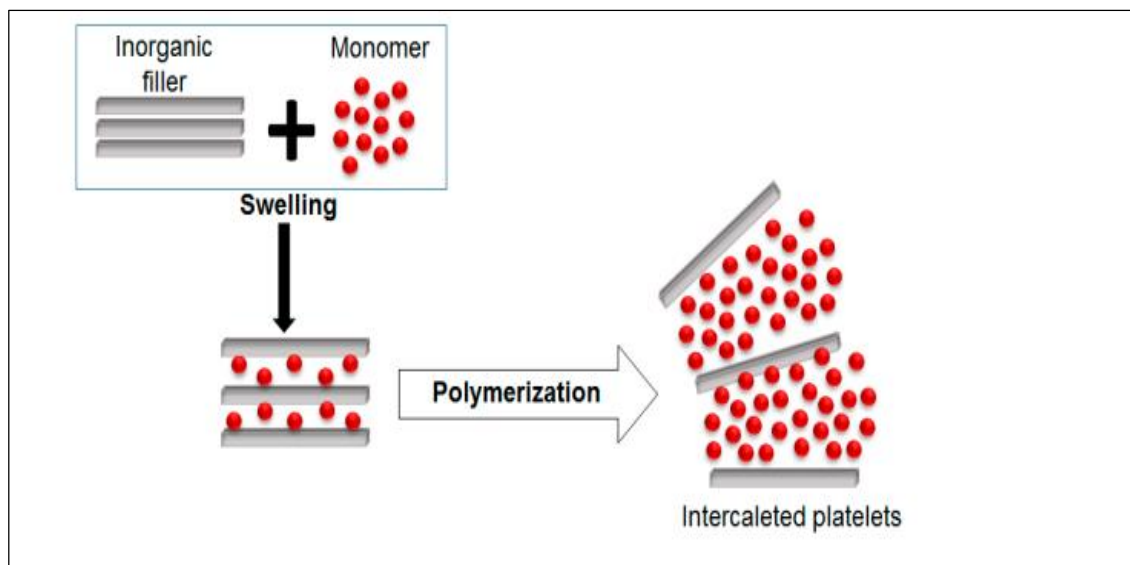


Figure I.14 : Nanocomposite produit par polymérisation d'un monomère in-situ [51].

3. **Mélange à l'état fondu** : Cette méthode est privilégiée pour la préparation des nanocomposites dans l'industrie. Elle consiste à mélanger une matrice polymère avec un nanocharge à l'état fondu, c'est-à-dire à haute température. Cette technique repose principalement sur le temps et la compatibilité chimique entre le polymère et la surface des nanoparticules. Le grand avantage de cette méthode est l'absence de solvants, permettant ainsi l'utilisation de techniques pour le traitement des polymères [47, 48,50].

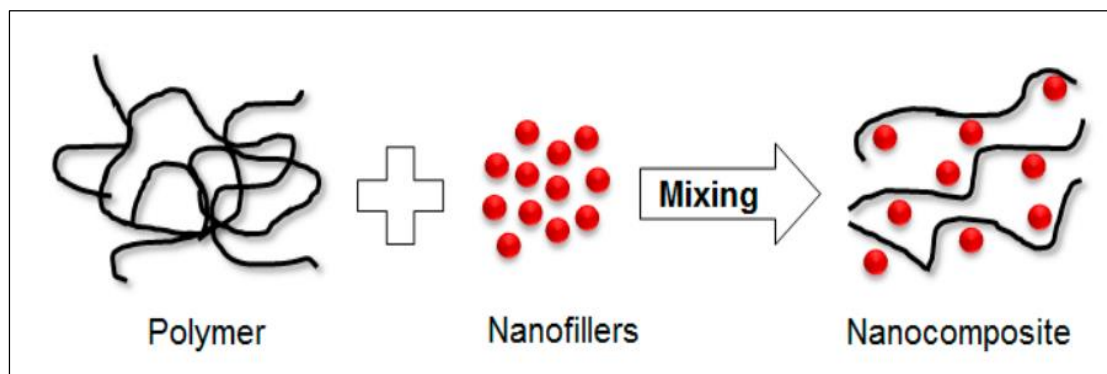


Figure I.15 : Élaboration d'un nanocomposite à l'état fondu [51].

I.6.2.1.3 Applications de nanocomposite polymère :

- **Industrie automobile :**

L'industrie automobile est l'un des plus grands consommateurs de nanocomposés polymères en raison de leurs propriétés améliorées telles que la résistance à la chaleur, la résistance aux chocs, le faible coût, la légèreté et les propriétés mécaniques [52,53]. Ils sont utilisés pour améliorer les performances des technologies actuelles dans des applications telles que : les panneaux de porte, les systèmes de transmission, les systèmes d'échappement, les pneus, les structures et les pièces automobiles, les sièges, les couvertures de moteurs, etc. [52,54].

- **Panneaux solaires :**

Les nanocomposite polymères améliorent l'efficacité des cellules solaires en utilisant des polymères recouverts de métaux nanométriques, ce qui permet une absorption plus efficace de l'énergie solaire. Les composites polymères métalliques agissent comme des structures métalliques isolantes [55].

- **Films minces :**

Actuellement, différentes techniques sont utilisées pour fabriquer des films minces. Les nanocomposés polymères peuvent produire des films de haute qualité [55].

- **Capteurs :**

Les nanocomposés polymères fonctionnent comme des capteurs grâce à l'excitation de la résonance plasmonique de surface, une caractéristique des particules métalliques nanométriques. Le mélange de polymères et de particules métalliques combine plusieurs propriétés, pouvant améliorer l'efficacité des capteurs (détecteurs de virus, capteurs biologiques, détecteurs de molécules de cancer) [55].

- **Emballage alimentaire :**

Ils sont utilisés dans la fabrication de conteneurs et de films d'emballage pour les produits alimentaires [53].

- **Médecine :**

Le domaine médical est le secteur le plus avancé dans l'utilisation des nanocomposés polymères, utilisés dans les bandages, les dispositifs médicaux, la livraison de médicaments, les vaisseaux sanguins, les matériaux antimicrobiens, les implants chirurgicaux, les tissus durs (os), et les tissus mous (peau) [52].

- **Applications maritimes :**

L'industrie maritime a largement utilisé les nanocomposés polymères ces dernières décennies en raison de leurs caractéristiques : force, rigidité, flexibilité de conception, légèreté, réduction des coûts de fabrication et d'entretien, diminution de la consommation de carburant, résistance à la corrosion, blocage de la moisissure, amélioration de l'efficacité, augmentation de la flottabilité, et augmentation de la vitesse. En raison de ces propriétés, les nanocomposés polymères sont largement utilisés dans les équipements internes : pompes, tuyaux, ponts, machines, colonnes de propulsion, composants de moteurs, réservoirs, structures, pales de turbines hydrauliques, etc. [52].

- **Autres applications :**

Tuyaux pour le pétrole et le gaz, revêtements, réservoirs de carburant [53], structures d'avions, armement militaire [52], traitement de l'eau [56].



Figure I.18 : Applications de nanocomposite polymère [52-56].

I.7 Polymère :

Le mot "polymère" est dérivé des deux mots grecs "polus" qui signifie "plusieurs" et "meros" qui signifie "partie". Un polymère est une grosse molécule, organique ou inorganique, constituée de la répétition d'une même unité de base appelée monomère (dérivé du mot grec "monos" qui signifie "un"). Ces monomères sont reliés entre eux par des liaisons covalentes à l'échelle moléculaire, pouvant atteindre plusieurs centaines de nanomètres. La réaction chimique qui transforme [A] en une macromolécule (polymère) $[-A-]_n$ est appelée polymérisation [57].

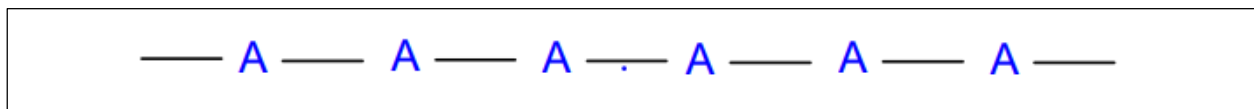


Figure I.16 : Chaîne structure de polymère [58].

I.7.1 Silicone :

I.7.1.1 Définition :

Les silicones sont des polymères synthétiques contenant un composé inactif, constitués d'unités répétitives de siloxane. Les silicones peuvent être fabriquées avec une variété de propriétés et de structures, disponibles dans diverses textures telles que liquide, gel, caoutchouc, plastique dur, etc., en fonction de l'application prévue [59].

I.7.1.2 Composants :

Les silicones sont constituées d'unités répétitives de siloxane, une chaîne d'atomes de silicium (Si) et d'atomes d'oxygène (O), avec des groupes latéraux organiques tels que : méthyle, éthyle, propyle, etc., liés aux atomes de silicium. Elles peuvent être linéaires ou ramifiées. La liaison siloxane dans les silicones est forte mais extrêmement flexible. Les silicones deviennent insolubles dans l'eau lorsqu'on ajoute des groupes méthyle ou des hydrocarbures à chaînes plus longues [59-61].

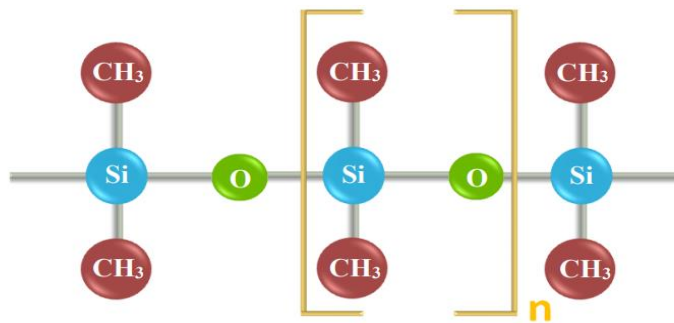


Figure I.17 : Structure chimique du Polydiméthylsiloxane [62].

I.7.1.3 Propriétés :

Le silicone présente de nombreuses propriétés, notamment [59, 63,64] :

- Faible énergie de surface.
- Transparence aux rayons visibles.
- Résistance aux rayons ultraviolets.
- Excellente résistance à la chaleur.
- Résistance à l'eau (hydrophobe).
- Isolation électrique.
- Faible toxicité.

- Bonne stabilité contre l'oxydation.

I.7.1.4 Applications :

La propriété hydrophobe du silicium a été un facteur clé dans son choix pour les applications d'isolateur haute tension, afin de réduire la formation de chemins conducteurs pour l'humidité et les contaminants qui pourraient entraîner des courants de fuite et la défaillance et la détérioration de l'isolant [65].

- Dans l'industrie textile, la technologie du silicium a révolutionné le secteur en jouant un rôle important dans le processus de production des vêtements (tissus haute performance, tissus fonctionnels, tissus répondant aux besoins des consommateurs) [66].
- Les implants en silicone sont les plus utilisés dans les procédures de reconstruction mammaire pour corriger les défauts et les déformations, ainsi que pour la reconstruction du sein après une mastectomie et les opérations de chirurgie esthétique [67], et ils sont également utilisés pour remplacer différentes parties du corps [66].
- Il est également utilisé dans le secteur de la construction, l'industrie automobile, l'électronique, et les matériaux adhésifs [55].

I.8 Isolateurs haute tension. :

I.8.1 Définition des isolateurs :

L'isolateur est un élément utilisé pour fixer ou soutenir les conducteurs ou les parties électriques exposées afin d'empêcher les fuites de courant et les courts-circuits. Il est principalement constitué d'un matériau solide offrant une résistance très élevée au passage du courant électrique, avec une conductivité presque nulle [68].

Les isolateurs sont caractérisés par [68] :

- **Ligne de fuite :**

Elle fait référence à la distance la plus courte le long de la surface de l'isolant entre les deux les électrodes (les parties conductrices).

- **Ligne de contournement :**

Elle désigne la distance la plus courte à travers l'air (ou le gaz) entre les électrodes, plutôt que sur la surface de l'isolant.

Les isolants jouent deux rôles principaux [69] :

Rôle électrique : il consiste à garantir l'intégrité électrique du système sous diverses conditions météorologiques et à résister aux contraintes électriques.

Rôle mécanique : il se concentre sur le maintien de l'intégrité mécanique en résistant aux contraintes liées au poids des conducteurs et à diverses conditions environnementales.

I.8.2 Types des isolateurs :

Les différentes méthodes d'utilisation des isolateurs et les conditions de fonctionnement variées permettent de distinguer plusieurs types d'isolateurs [70]. Ces types peuvent être classés en fonction du matériau isolant utilisé dans leur fabrication, ainsi que de la méthode de fixation employée [71].

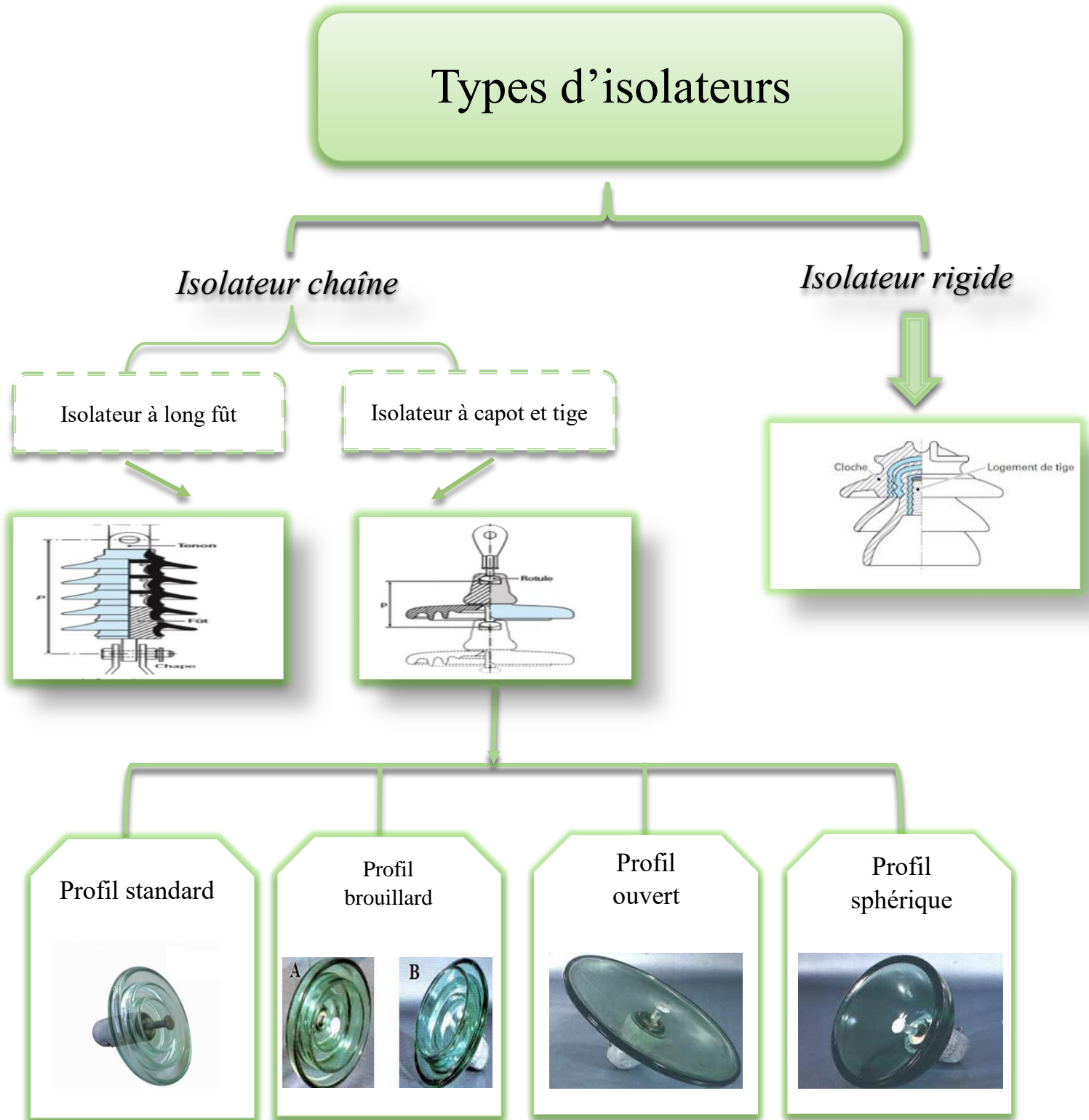


Figure I.19 : Différents types d'isolateurs haute tension [71].

I.8.3 Matériaux isolants utilisés pour la fabrication des isolateurs :

Les isolateurs de haute tension sont fabriqués à partir de différents isolants solides, comme le verre, la céramique et la porcelaine. Mais depuis quelques années, la porcelaine est de moins en moins privilégiée en raison de deux principaux désavantages : le poids lourd des isolateurs et la difficulté de repérer les amorçages. Au cours des dernières années, l'utilisation d'isolateurs en matériaux polymères a connu une augmentation significative de l'intérêt [68].

- ❖ **Céramique :** Le développement et la production des isolateurs en céramique remontent à longtemps en raison de leurs performances exceptionnelles. Pour les isolateurs utilisés dans des endroits où les contraintes mécaniques sont très élevées, il est préférable d'utiliser des céramiques à grains très fins [68].
- ❖ **Verre :** Les isolateurs en verre sont utilisés en Algérie dans les lignes de moyenne et haute tension. Le verre offre de nombreux avantages, tels que son prix bas et la facilité d'observation des défauts. Les isolateurs sont fabriqués à partir de deux types de verre : le verre trempé et le verre recuit [68].
- ❖ **Matériaux synthétiques :** Les isolateurs fabriqués à partir de matériaux synthétiques se composent d'un corps en fibres de verre imprégnées d'une résine et d'un revêtement à ailettes de type élastomère. Ils se distinguent par leur légèreté et leur résistance mécanique élevée, en plus de leurs propriétés hydrophobes, ce qui les rend adaptés à une utilisation dans des conditions de pollution extrême. Cependant, ils souffrent de vieillissement en raison de l'exposition aux contraintes électriques, mécaniques et atmosphériques [68].

I.8.4 Phénomène de pollution des isolateurs :

Les isolateurs à haute tension sont soumis à de nombreuses contraintes, qui peuvent évoluer de manière significative sous l'effet des conditions de pollution. Le type de pollution dépend fortement des facteurs géographiques et climatiques de la région, avec la pollution de l'air étant considérée comme la principale cause des défauts dans les lignes aériennes. La pollution entraîne une dégradation des performances électriques des isolateurs en réduisant leur résistance superficielle. Des couches de pollution s'accumulent sur les isolateurs et,

lorsqu'elles sont partiellement ou totalement humidifiées par le brouillard, les pluies légères ou la neige, un électrolyte conducteur se forme, entraînant l'apparition de courants de fuite à la surface des isolateurs. Dans les zones à forte densité de courant, la couche conductrice s'assèche, ce qui conduit à la formation d'arcs électriques, modifiant ainsi la répartition de la tension et du champ électrique. Dans certains cas, cela peut conduire à un contournement complet de l'isolation [69].

I.8.5 Sources de pollution des isolateurs :

Les types de pollution atmosphérique les plus courants peuvent être classés selon leurs sources comme suit : la pollution naturelle, industrielle et mixte [70].

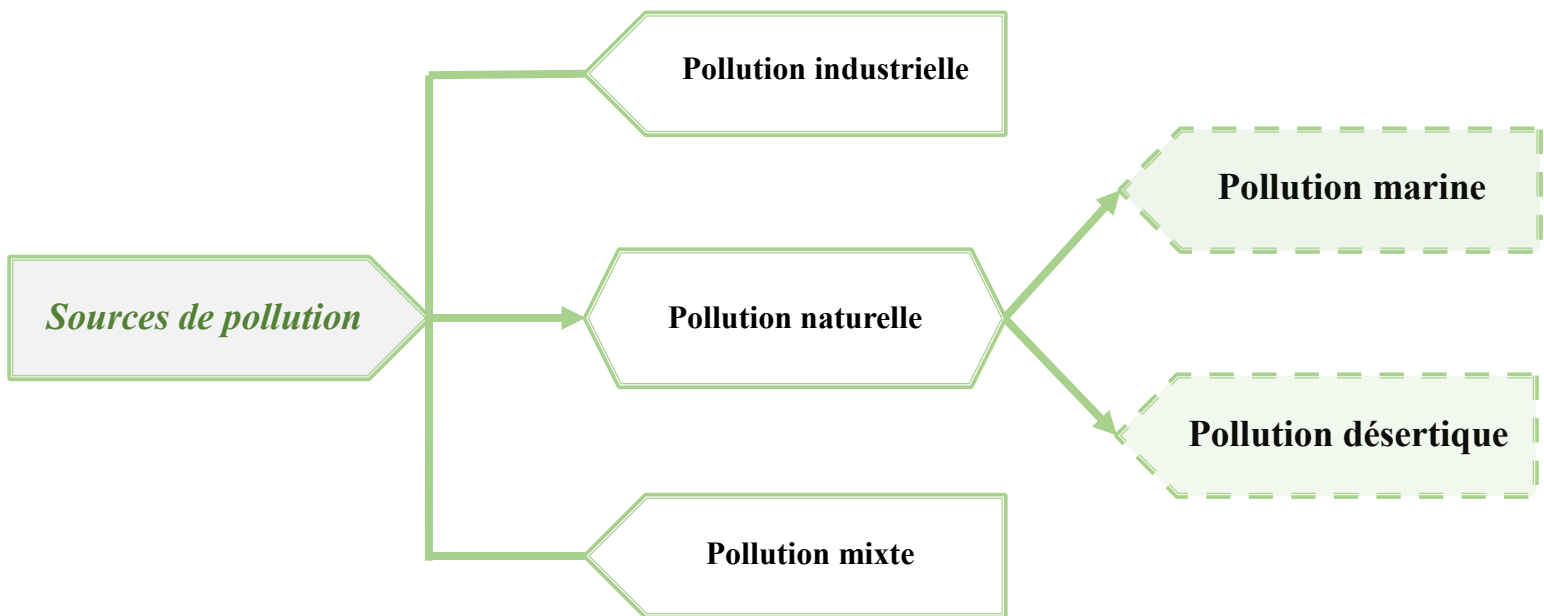


Figure I.20 : Sources de pollution des isolateurs [70].

I.9 Conclusion :

On peut dire que la pollution des isolants est l'une des questions importantes qui affectent directement les performances globales du système d'énergie électrique. La pollution réduit la force d'isolation, ce qui augmente la probabilité de décharges électriques, causant ainsi des pannes graves dans les réseaux électriques. Par conséquent, l'utilisation de technologies modernes telles que les revêtements anti-pollution est nécessaire pour garantir

leur performance et leur fiabilité dans diverses conditions d'exploitation. Dans le prochain chapitre, nous aborderons la résolution de ce problème en fabriquant ce revêtement (hydrophobe) à l'aide de la nanotechnologie.

Référence

- [1] Khan, W.S., N.N. Hamadneh, and W.A. Khan, Polymer nanocomposites–synthesis techniques, classification and properties. Science and applications of Tailored Nanostructures, 2016. 50.
- [2] Das, S. and V.C. Srivastava, An overview of the synthesis of CuO-ZnO nanocomposite for environmental and other applications. Nanotechnology Reviews, 2018. 7(3) : p. 267-282.
- [3] YOUNSI, C., Fonctionnalisation des nanoparticules d'oxydes métalliques pour des applications thérapeutiques. Université de Annaba-Badji Mokhtar, 2024.
- [4] Hayette, M., Etude des propriétés physico-chimiques des poudres nanostructures à base de fer obtenues par broyage à haute énergie, Université Badji Mokhtar-Annaba ,2016
- [5] CHENCHANA, A., Synthèse et caractérisation des nanoparticules à base de Cobalt et de Titanium: Application pour la photodégradation des polluants organiques, 2019.
- [6] BOUCHAALA, A., Elaboration of New Nanomaterials for Spintronic Applications, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 2024.
- [7] LAOURARI, I., Elaboration et caractérisation de nanocomposites et l'étude de leur activité antibactérienne: développement d'un revêtement pour des applications anti-infectieuses, Ecole Nationale Supérieure de Biotechnologie, 2024.
- [8] BOUZIT, F.Z., Synthèse par voie électrolytique et caractérisation des couches minces Co-Ni nanostructurées. 2018.
- [9] Barhoum, A., et al., Review on natural, incidental, bioinspired, and engineered nanomaterials: history, definitions, classifications, synthesis, properties, market, toxicities, risks, and regulations. Nanomaterials, 2022. 12(2): p. 177.
- [10] Oyubu, A.O. and C.A. Nwabueze, NANOTECHNOLOGY: A CONCISE VIEW. Engineering Science & Technology Journal, 2023. 4(2) : p. 18-28.
- [11] Binet, S., et al., Les nanomatériaux manufacturés à l'horizon 2030 en France. 2015, INRS.
- [12] Ghomrasni, N.B., Identification et caractérisation métrologique des nanoparticules en matrices complexes, Université Paris-Saclay, 2021.

Référence

- [13] Canti, M., F. Gherardi, and R. Banerjea, A new source of calcium carbonate nanofibres from recarbonated lime in subsoils at European archaeological sites. *Catena*, 2024. 235 : p. 107661
- [14] Ounoughene, G., Etude des émissions liées à la décomposition thermique de nanocomposites: application à l'incinération, Ecole des Mines de Nantes,2015.
- [15] Ealia, S.A.M. and M.P. Saravanakumar. A review on the classification, characterisation, synthesis of nanoparticles and their application. in *IOP conference series : materials science and engineering*. 2017. IOP Publishing.
- [16] Santos, C.S., et al., Industrial applications of nanoparticles—a prospective overview. 2015. 2(1): p. 456-465.
- [17] Salem, S.S., et al., A comprehensive review of nanomaterials: Types, synthesis, characterization, and applications. 2022. 13(1) : p. 41.
- [18] Bernaoui,C,R., Synthèse et Caractérisation des nanoparticules magnétiques et leur application, Université des Sciences et de la technologie D'oran-Mohamad Boudiaf,Oran,2023.
- [19] Garzón Manjón, A., Synthesis of metal oxide nanoparticles for superconducting nanocomposites and other applications. *Universitat Autònoma de Barcelona*.2016.
- [20] Patil, N., et al., Overview on methods of synthesis of nanoparticles. 2021. 13(2) : p. 11-16.
- [21] Chavali, M.S. and M.P.J.S.a.s. Nikolova, Metal oxide nanoparticles and their applications in nanotechnology. 2019. 1(6) : p. 607.
- [22] Dhand, C., et al., Methods and strategies for the synthesis of diverse nanoparticles and their applications: a comprehensive overview. 2015. 5(127) : p. 105003-105037.
- [23] Kumari, S. and L.J.J.o.S.R. Sarkar, A review on nanoparticles : structure, classification, synthesis & applications. 2021. 65(8) : p. 42-46.
- [24] Remita, H. and I.J.M. Lampre, Synthesis of Metallic Nanostructures Using Ionizing Radiation and Their Applications. 2024. 17(2) : p. 364.

Référence

- [25] Joudeh, N. and D.J.J.o.N. Linke, Nanoparticle classification, physicochemical properties, characterization, and applications: a comprehensive review for biologists. 2022. 20(1) : p. 262.
- [26] Khan, Y., et al., Classification, synthetic, and characterization approaches to nanoparticles, and their applications in various fields of nanotechnology: A review. 2022. 12(11) : p. 1386.
- [27] Hermal, F., Recouvrement et modification de nanoparticules afin d'optimiser leurs propriétés physico-chimiques pour des applications pharmaceutiques. Université de Strasbourg.2019.
- [28] MEDJILI, C., Synthèse et caractérisation des nanocomposites à base de polymères conducteurs et des métaux de transition pour la dégradation des polluants organiques. Ecole Nationale Supérieure de Biotechnologie.2024.
- [29] Kerour, A. and S. Boudjadar, Synthèse écologique des nanoparticules des oxydes de cuivre et application photocatalytique. Université Frères Mentouri-Constantine 1.2018.
- [30] Ameta, R.K., et al., Contemporary Advances in the Plant Resources Mediated Synthesis of Copper Oxide Nanoparticles: Insights on structure-function-workability understanding. 2024 : p. 100065.
- [31] Zoolfakar, A.S., et al., Nanostructured copper oxide semiconductors: a perspective on materials, synthesis methods and applications. 2014. 2(27) : p. 5247-5270.
- [32] Tran, T.H. and V.T.J.I.s.r.n. Nguyen, Copper oxide nanomaterials prepared by solution methods, some properties, and potential applications: a brief review. 2014. 2014(1): p. 856592.
- [33] 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.
- [34] Sagadevan, S., et al., Synthesis and evaluation of the structural, optical, and antibacterial properties of copper oxide nanoparticles. 2019. 125 : p. 1-9.
- [35] Letchumanan, D., et al., Plant-based biosynthesis of copper/copper oxide nanoparticles: an update on their applications in biomedicine, mechanisms, and toxicity. 2021. 11(4) : p. 564.

Référence

- [36] Grigore, M.E., et al., Methods of synthesis, properties and biomedical applications of CuO nanoparticles. 2016. 9(4) : p. 75.
- [37] Hamidouche, F., Elaboration et Caractérisation des Nanocomposites Conducteurs à base de (PPY(CI)/Zeolithe HY/TiO₂), Université M'hamed Bougara –Boumerdes, 2013.
- [38] YAMANI, K., Modification et activation de surface des nanoparticules par un polymère conducteur à base de composé hétérocycliques aromatiques pour la réalisation de nanocomposites multifonctionnels. 2019.
- [39] Euldji, A., Etude comparative de l'action de deux types d'argiles locales sur la synthèse de nanocomposites à matrice polymère. 2016, Faculté de Chimie.
- [40] Ouafa, B., Etude des mécanismes de fonctionnalisation et d'interactions à l'interface nanoparticule-matrice polymère: impact sur les propriétés finales des nanocomposites. 2021.
- [41] Zeggai, F.Z. Synthèse et caractérisation de nanocomposites par différentes polymérisation d'isomères de l' amino benzyl amine et l'aniline dopées par la magnérite échangée, Université DE Mustapha Stambouli –Mascara, 2016.
- [42] Khan, W.S., et al., Polymer nanocomposites—synthesis techniques, classification and properties. 2016. 50.
- [43] Al-Mutairi, N.H., et al., Nanocomposites materials definitions, types and some of their applications: A review. 2022. 3(2) : p. 102-108.
- [44] Hafeez, M., Recent progress and overview of nanocomposites. 2022 : IntechOpen.
- [45] Emmanuel, A., S. Aziz, and G. Serwan, Polymer Nanocomposites. 2014.
- [46] Harito, C., et al., Polymer nanocomposites having a high filler content: synthesis, structures, properties, and applications. 2019. 11(11) : p. 4653-4682.
- [47] de Oliveira, A.D. and C.A.G.J.N.-r.e. Beatrice, Polymer nanocomposites with different types of nanofiller. 2018 : p. 103-104.
- [48] SENED, N., ELABORATION DE MATERIAUX NANOCOMPOSITES A BASE DE BIOPOLYMERES ET OXYDES METALLIQUES. 2024, Khaled EL MILOUDI.

Référence

- [49] Rane, A.V., et al., Methods for synthesis of nanoparticles and fabrication of nanocomposites, in *Synthesis of inorganic nanomaterials*. 2018, Elsevier. p. 121-139.
- [50] Boulerba,D., Nanoparticules de silice fonctionnalisées : Mécanismes de dispersion et distribution dans un nanocomposite à matrice polymère, Université Amar Telidji-Laghouat.2020.
- [51] Pleșa, I., et al., Properties of polymer composites used in high-voltage applications. 2016. 8(5) : p. 173.
- [52] Briki,H., Elaboration de membranes à partir de nanocomposites à base de bentonite et de polymère. Etude des propriétés et applications, Université des des Sciences et de la technologie Houari Boumedienne, 2023.
- [53] Ouassini, M.B.M.J.p.U.d.S.e.d.l.T.d.O., Étude Des Polymères Par Dynamiques Moléculaire. 2015.
- [54] Sardar, V.B., et al. Developments in silicone material for biomedical applications-A review. in 14th international conference on humanizing work and work environment. Punjab, India. 2016.
- [55] Bains, P., S.J.J.o.c. Kaur, and a. surgery, Silicone in dermatology: An update. 2023. 16(1) : p. 14-20.
- [56] Köhler, T., A. Gutacker, and E.J.O.C.F. Mejía, Industrial synthesis of reactive silicones : Reaction mechanisms and processes. 2020. 7(24) : p. 4108-4120.
- [57] Boulanouar, H., Contribution to the study and analysis of silicone insulating materials performance under DC and AC voltages. 2020.
- [58] Gradinariu, A.I., et al., Silicones for Maxillofacial Prostheses and Their Modifications in Service. 2024. 17(13) : p. 3297.
- [59] Zare, M., et al., Silicone-based biomaterials for biomedical applications: antimicrobial strategies and 3D printing technologies. 2021. 138(38) : p. 50969.
- [60] Kamand, F.Z., et al., Self-healing silicones for outdoor high voltage insulation: mechanism, applications and measurements. 2022. 15(5) : p. 1677.

Référence

- [61] Mohamed, A.L., A.G.J.J.o.T. Hassabo, Coloration, and P. Science, Review of silicon-based materials for cellulosic fabrics with functional applications. 2019. 16(2) : p. 139-157.
- [62] Kappel, R.M., A.J. Klunder, and G.J.J.E.J.o.P.S. Pruijn, Silicon chemistry and silicone breast implants. 2014. 37 : p. 123-128.
- [63] Oladele, I.O., T.F. Omotosho, and A.A.J.I.J.o.P.S. Adediran, Polymer-based composites: an indispensable material for present and future applications. 2020. 2020(1) : p. 8834518.
- [64] Hassan, T., et al., Functional nanocomposites and their potential applications: A review. 2021. 28(2) : p. 36.
- [65] Müller, K., et al., Review on the processing and properties of polymer nanocomposites and nanocoatings and their applications in the packaging, automotive and solar energy fields. 2017. 7(4) : p. 74.
- [66] Shameem, M.M., et al., A brief review on polymer nanocomposites and its applications. 2021. 45 : p. 2536-2539.
- [67] Pandey, N., S. Shukla, and N.J.N. Singh, Water purification by polymer nanocomposites: an overview. 2017. 3(2) : p. 47-66.
- [68] Alia, B., Amélioration des performances des chaînes d'isolateurs de haute tension, École Nationale Polytechnique ,Alger, 2016,
- [69] MAADJOU DJ, D., Comportement d'isolateur haute tension sous pollution désertique, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 2020.
- [70] BENGUESMIA, H., Etude du Comportement d'un Isolateur de Haute Tension Soumis à Diverses Conditions de Pollution, Université Mohamed Khider–Biskra,Biskra,2012.
- [71] Doufene, D., Dimensionnement par optimisation d'isolateurs capot et tige pour lignes haute tension, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Alger, 2019.

Chapitre II

Étude expérimentale

II.1 Introduction :

Ce chapitre vise à fournir une description détaillée des différents équipements, produits chimiques utilisés dans l'expérience, ainsi que des méthodes et techniques expérimentales. La partie expérimentale a été réalisée dans le laboratoire N°04 (GP04) de la Faculté des Sciences et de la Technologie de l'Université de Ghardaïa (**Algérie**).

II. 2 Objective de travail :

L'objectif de ce travail est de fabriquer un revêtement superhydrophobe utilisant la nanotechnologie pour l'appliquer sur des isolateur haute tension afin de prévenir l'accumulation de polluants sur leurs surfaces.

- ✚ Préparation des solutions (nitrate de cuivre $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ et Hydroxyde de sodium (NaOH)).
- ✚ Synthèse des nanoparticules d'oxyde de cuivre par une méthode chimique (Coprécipitation).
- ✚ Les nanoparticules biologiques ont été synthétisées à partir de l'extrait de la plante *Pélargonium graveolens*.
- ✚ Fabrication d'un nanocomposite à base de silicone par la méthode mélange en solution, en utilisant des nanoparticules comme renforcement (CuONPs chimie, CuONPs bio).
- ✚ Présentation de la propriété superhydrophobe et l'angle de contact.
- ✚ Explication des méthodes de caractérisation des nanoparticules et du nanocomposite (MEB, EDX, DRX).

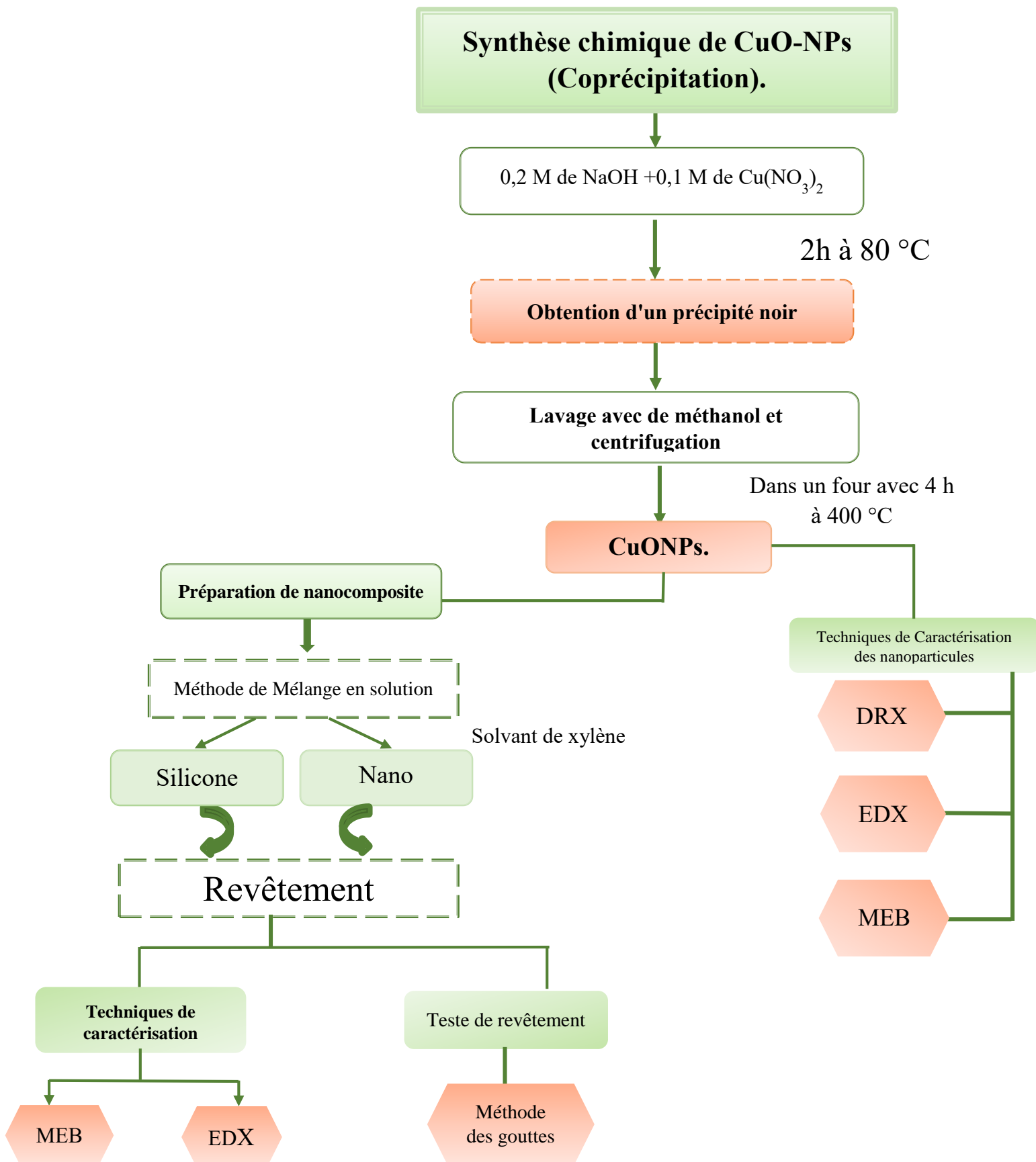







Figure II. 1 : Organigramme descriptif de la méthodologie de travail.

II.3. produits chimiques :

Toutes les solutions aqueuses ont été réalisées avec de l'eau distillée.

Le tableau ci-dessous continue tous les produits chimiques utilisés dans notre expérience :

Tableau II.1 : Tableau des produits.

Produits	
<p>➤ Nitrate de cuivre $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$: (BIOCHEM)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Masse molaire : 187.66 g/mol. ▪ Masse volumique : 30.5 g/cm³. ▪ Pointe de fusion : 114.5 °C. ▪ Pointe d'ébullition : 170 °C. ▪ Soluble dans l'eau. 	<p>➤ Xylène (C_8H_{10}) :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Masse molaire : 106.16 g/mol. ▪ Masse volumique : 0.86 g/cm³. ▪ Pointe de fusion : -47.4 °C. ▪ Pointe d'ébullition : 138.5 °C. 
<p>➤ Méthanol (CH_4O) :(VWR CHEMICALS)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Masse molaire : 32,041g/mol. ▪ Masse volumique : volumique 0,79 g/cm³. ▪ Pointe de fusion : -98 °C. ▪ Pointe d'ébullition : 65 °C. 	<p>➤ Silicone :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Masse volumique : 0.965g/cm³. • Pointe de fusion : -49.9 à -40°C. • Pointe d'ébullition : 200 °C 
<p>➤ Hydroxyde de sodium (NaOH) :(VWR PROLABO)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Masse molaire : 39.997 g/mol. ▪ Masse volumique : 2.13 g/cm³. ▪ Pointe de fusion : 318.4 °C. ▪ Pointe d'ébullition : 1390 °C. ▪ Solubilité dans l'eau. 	

II.4 Mode opératoire :

II.4.1 Synthèse Chimique des nanoparticules de CuO :

Les CuO-NPs ont été préparées par la méthode sol-gel [1]. Dans une synthèse distincte, 0,1 M de nitrate de cuivre a été préparé dans 100 ml d'eau déionisée et agité en permanence jusqu'à obtention d'une solution bleue homogène. Ensuite, 0,2 M de NaOH ont été ajoutés à la solution et agités à 80 °C pendant 2 heures jusqu'à obtention d'un précipité noir, qui a ensuite été refroidi à température ambiante. Une grande quantité de précipité noir a été obtenue. Après précipitation, le précipité a été filtré et lavé avec un excès de méthanol pour éliminer le matériau de départ. Enfin, la poudre a été séchée dans un four à air chaud à 400 °C pendant 4 heures, en vue d'une caractérisation ultérieure [2].

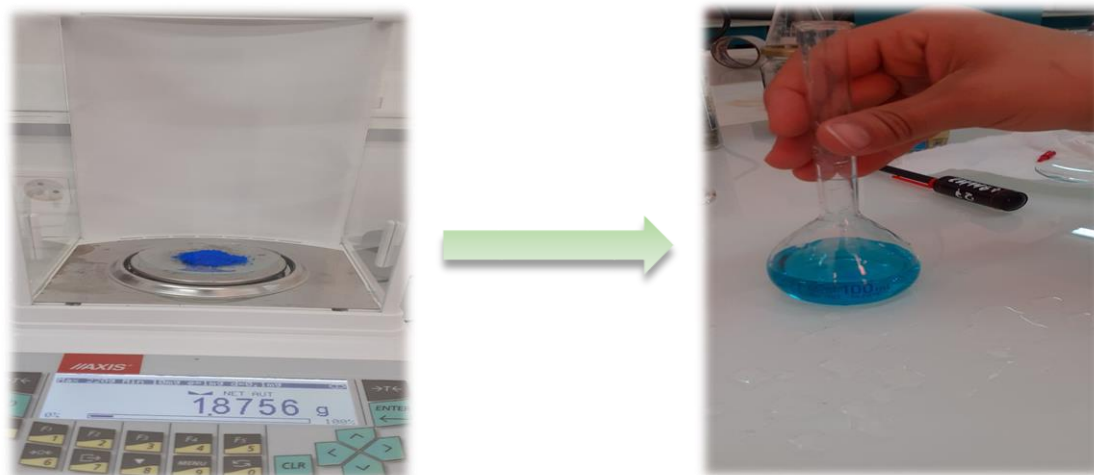


Figure II.2 : Préparation de solution de nitrate de cuivre $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$.



Figure II.3 : Préparation de solution Hydroxyde de sodium (NaOH).



Figure II.4 : L'ajout de la solution de NaOH à la solution de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$.



Figure II.5 : Obtention d'un précipité noir.



Figure II.6 : Lavage et centrifugation, séchage, broyage.



Figure II.7 : Nanoparticule d'Oxyde de cuivre CuONPs.

II.4.2 Préparation de revêtement :

- **Silicone sont préparées comme suite** : Nous dissolvons 1g de silicone dans une quantité de xylène (qui agit comme solvant) sur un agitateur magnétique et chauffant à une température comprise entre 90 et 100°C, en couvrant le mélange pour éviter que le solvant ne s'évapore (température d'ébullition 138.5 °C.), le mélange agité jusqu'à la dissolution totale de polymère.

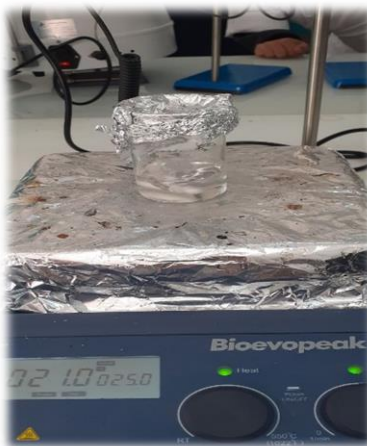


Figure II.8 : Préparation de silicone.

- **Nanocomposite sont préparées comme suite** : nous ajoutons immédiatement les nanoparticules préparées après avoir retiré le couvercle tout en agitation.



Figure II.9 : préparation de nanocomposite.

Après évaporation du solvant, nous versons le mélange sur une lame de verre et le plaçons dans une étuve pendant un certain temps à une température de 100 °C.

Cette procédure est répétée à plusieurs reprises afin de préparer le revêtement avec trois proportions différentes : 1 phr, 2 phr et 3 phr.



Figure II.10 : Revêtement de nanocomposite (CuONPs chimique) avec trois proportions différentes.

➤ Nous répétons les mêmes étapes précédentes pour les nanobiologiques.

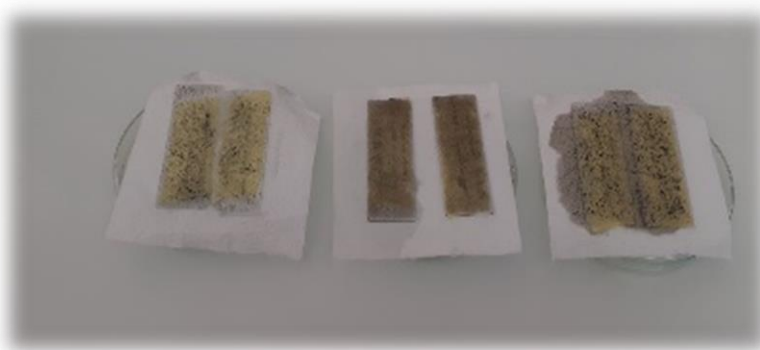


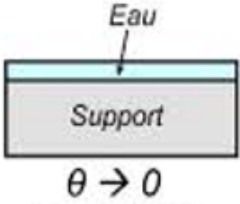
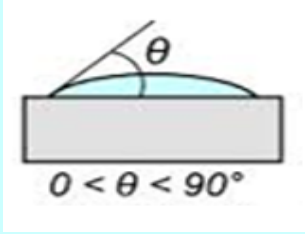
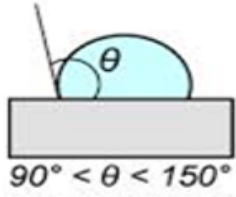
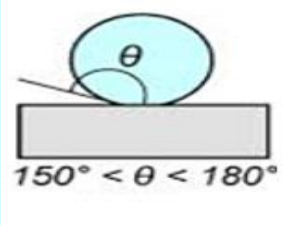
Figure II.11 : Revêtement de nanocomposite (CuONPs biologique) avec trois proportions différentes.

II.5 Propriétés des interactions entre les surfaces et les liquides :

II.5.1 Mouillage :

Le mouillage se réfère à l'étude du comportement d'un liquide déposé sur un substrat solide. Lorsqu'une goutte d'eau est placée sur une surface, elle se répand dans une certaine mesure en fonction des propriétés de cette surface [3]. Traditionnellement, la mouillabilité de la surface est décrite par la mesure de l'angle de contact de la goutte sur la surface [4].

Tableau II.2 : Différents comportements de l'eau selon l'hydrophobie de la surface [5].

<p>Superhydrophile</p>	<p>Liquide mouillant</p>	
<p>Hydrophile</p>	<p>Mouillage partiel</p>	
<p>hydrophobe</p>	<p>Liquide peu mouillant</p>	
<p>Superhydrophobie</p>	<p>Mouillage nul</p>	

II.5.2 Superhydrophobe :

Superhydrophobe est définie comme une surface sur laquelle une goutte d'eau ne reste pas adhérente [6]. Un angle de contact supérieur à 150° caractérise les surfaces superhydrophobes, qui possèdent des propriétés d'auto-nettoyage. Lorsqu'une goutte d'eau roule sur une surface superhydrophobe, elle emporte avec elle la poussière et les contaminants présents sur la surface [7], comme illustré dans la figure.

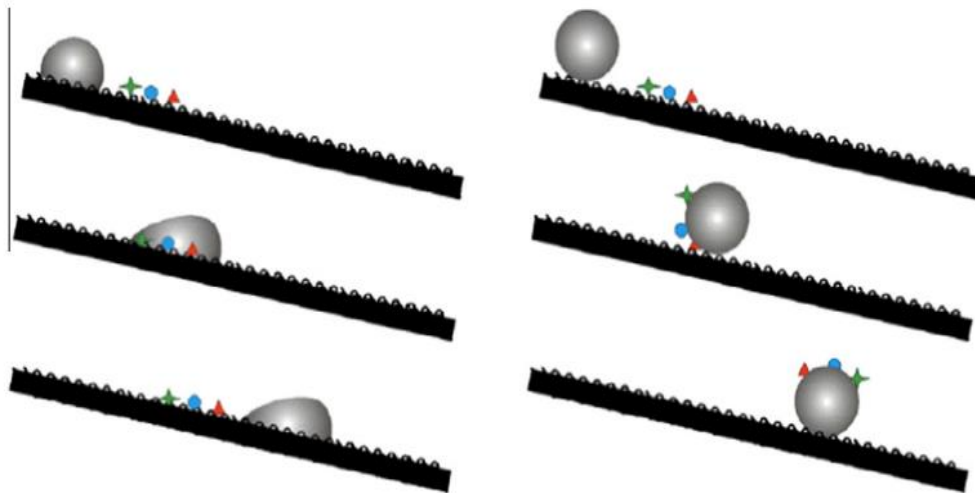


Figure II.12 : Gouttes d'eau roulant sur des substrats avec une surface hydrophobe normale (à gauche) et une surface superhydrophobe auto-nettoyante (à droite) à travers des particules de poussière [7].

II.6 Techniques de caractérisation :

II.6.1 Microscope électronique à balayage (MEB, SEM) :

❖ Définition :

Le microscope électronique à balayage (MEB) ou Scanning Electron Microscope (SEM) en anglais est une forme de microscopie et une technique d'imagerie de surface qui génère des images de haute résolution et de fort grossissement de l'échantillon. Il utilise un faisceau d'électrons concentrés pour balayer la surface de l'échantillon, fournissant des détails sur la morphologie, la topologie et la structure cristalline de l'échantillon. Il est considéré comme une technique non destructive car il ne détruit ni ne modifie l'échantillon, permettant ainsi une analyse répétée. Le

MEB combine un fort grossissement, une profondeur de champ et une bonne précision, ce qui le rend populaire pour des applications de recherche et industrielles [8-11].

❖ **Composants principaux : [8, 10,12].**

- Canon à électrons ou pistolet à électrons : Génère un faisceau d'électrons soit par chauffage, soit par champs électriques, et les accélère vers la colonne.
- Colonne : Dirige les électrons à travers deux ou plusieurs lentilles électromagnétiques.
- Système de balayage : Composé de bobines de balayage.
- Chambre de l'échantillon : Où l'échantillon est placé.
- Détecteur d'électrons : Détecte les électrons rétrodiffusés et les électrons secondaires.
- Système informatique : Inclut un écran pour afficher les images balayées et un clavier pour contrôler le faisceau d'électrons.

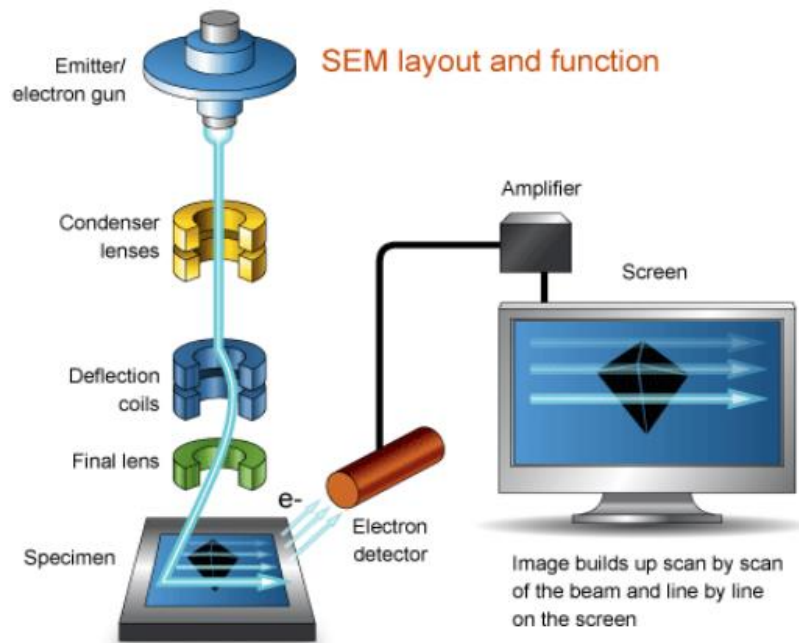


Figure II.13 : Composants du microscope électronique à balayage [12].

❖ **Principe :**

Un faisceau d'électrons incident, chargé négativement, est appliqué, avec une énergie variant entre 30 000 et 100 volts. La taille du spot généré par le canon est grande, c'est pourquoi des lentilles sont utilisées pour réduire la taille du spot et diriger le faisceau vers l'échantillon. Lorsque le faisceau frappe l'échantillon, il pénètre à une profondeur de 1 micromètre, ce qui provoque la génération de signaux dus à l'interaction entre les électrons et les atomes à la surface

de l'échantillon et sous sa surface. Seules les électrons avec une énergie relativement faible, appelées électrons secondaires, sortent de quelques nanomètres de la surface de l'échantillon. Lorsque les atomes excités libèrent leur énergie, ils produisent des électrons Auger. Les électrons (signaux) émis par l'échantillon balayé sont collectés par un détecteur ; les électrons secondaires aident à étudier la topographie de surface de l'échantillon, tandis que les électrons Auger aident à comprendre la composition élémentaire de l'échantillon. Les signaux sont affichés sur l'écran ; une image de l'échantillon est formée point par point en fonction du mouvement des bobines de balayage, qui font se déplacer le faisceau d'électrons vers des positions distinctes sous forme de lignes droites. Le processus dépend du grossissement requis [8, 9, 12,13].

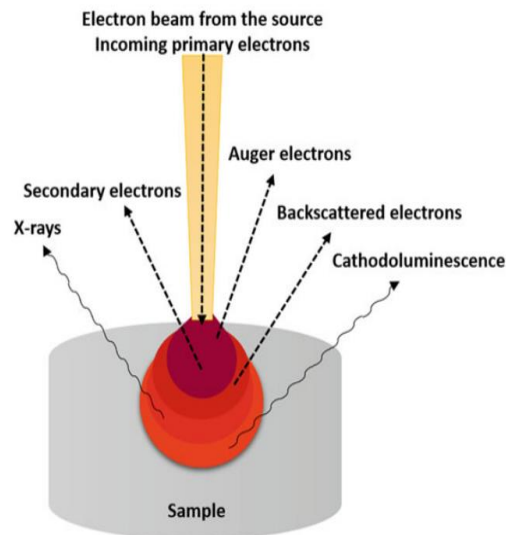


Figure II.14 : L'interaction du faisceau d'électrons avec l'échantillon et le signal émis par celui-ci [10].

❖ Préparation de l'échantillon :

Les matériaux pouvant être utilisés dans un MEB comprennent les matériaux organiques et inorganiques solides, y compris les métaux et les plastiques [12].

Il est d'abord nécessaire de fixer un ruban adhésif double face en carbone sur le porte-échantillon, puis de déposer une fine couche de l'échantillon. L'échantillon doit être électriquement conducteur pour éviter la charge [10]. Par conséquent, il est essentiel de recouvrir les échantillons non conducteurs d'une fine couche de matériau conducteur, comme l'or, pour empêcher

l'accumulation de charge [8]. De plus, il est nécessaire de maintenir le chemin des électrons (colonne) sous vide pour éviter l'interférence des molécules d'air avec le faisceau d'électrons [11].

❖ **Appareillage :**

Le MEB utilisé pour analyser nos échantillons est de marque "SU3500" (Figure II.15), équipé d'un détecteur de rayons X et d'un dispositif énergétique couplé à l'EDX. Le détecteur peut déterminer la composition chimique de l'échantillon. Les échantillons ont été déposés sur des plots d'aluminium métallisés au carbone.



Figure II.15 : Appareille de MEB couplé à l'EDX «SU3500».

II.6.2 Spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX) :

❖ **Définition :**

Le microscope électronique à balayage (MEB) est généralement équipé d'un analyseur de spectre de rayons X (EDX). Il est largement utilisé dans de nombreux domaines de recherche pour déterminer les éléments présents dans l'échantillon, car il fournit des informations précises sur la composition chimique. La composition chimique peut être déterminée de manière qualitative et quantitative [8, 12, 14,15].

❖ **Principe :**

Le principe repose sur les interactions entre les électrons émis et les électrons situés sur les couches atomiques de l'échantillon. La quantité d'énergie produite par le microscope dépend de la couche atomique d'où un électron sera éjecté et de la couche atomique d'où un autre électron viendra remplacer l'électron éjecté. Ainsi, un faisceau d'électrons déplace les électrons de la couche interne de l'atome, et un électron d'une couche supérieure prend sa place, entraînant une perte d'énergie sous forme de photons (rayons X). Ces photons possèdent des énergies caractéristiques des éléments présents dans l'échantillon. L'énergie des photons est convertie en signaux. Les détecteurs permettent de recueillir les signaux sous forme de balayage linéaire ou d'image de la zone souhaitée. Les éléments présents dans l'échantillon sont identifiés à partir des pics d'énergie [12-14].

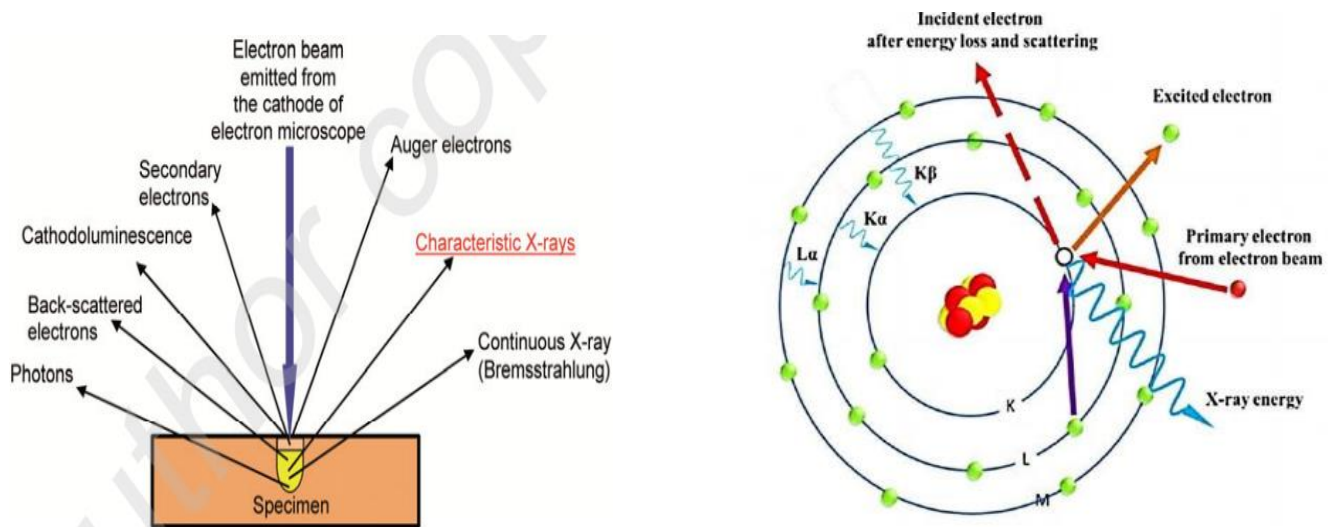


Figure II.16 : Principe d'une spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie [14,16].

II.6.3 Diffraction des rayons X (DRX) :

❖ **Définition :**

Après la découverte de la diffraction des rayons X dans les matériaux cristallins, cette technique non destructive joue un rôle crucial dans la détermination des informations structurales d'une variété de matériaux. Elle est la plus connue pour la détermination de telles informations, telles que : la structure atomique et moléculaire, la distance moyenne entre les couches ou les rangées d'atomes, l'orientation du cristal unique, la mesure du volume et de la forme des régions cristallines. Elle est utilisée sur des matériaux épais et en poudre en raison de sa profondeur de

pénétration et de sa capacité à révéler les propriétés structurales internes du matériau [9,17-19].

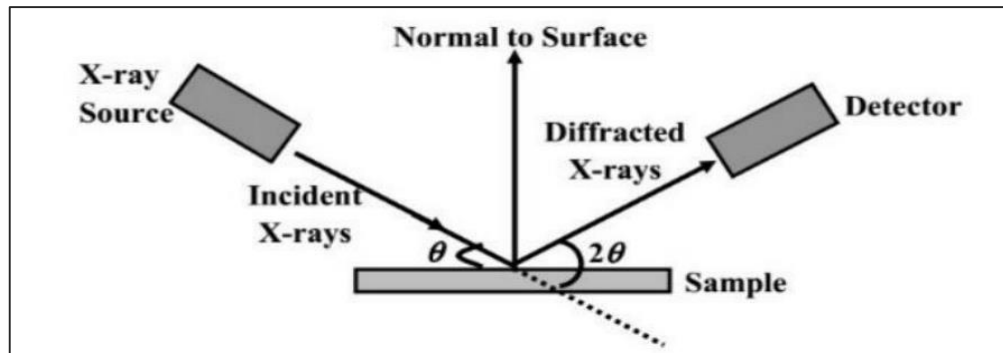


Figure II.17 : Illustration du principe de base de la diffraction des rayons X [19].

❖ Principe :

Le principe de base de la diffraction des rayons X (DRX) repose sur l'orientation des rayons X vers l'échantillon. Ces rayons sont produits par un filament chauffé, dirigé et accéléré vers l'anode métallique, qui est maintenue dans une chambre sous vide pour éviter les collisions entre les particules d'air et le faisceau d'électrons. Lorsque l'échantillon est exposé aux rayons, il génère un motif unique de diffraction, comprenant plusieurs points distincts appelés pics, selon l'équation de Bragg, qui relie la longueur d'onde des rayons X à l'écart entre les atomes, donné par l'équation suivante [9,19] :

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

d : Distance entre les plans cristallins.

λ : Longueur d'onde des rayons X incidents.

n : Nombre entier.

θ : Angle de diffraction.

Les rayons X sont détectés par un détecteur et les signaux sont traités par un microprocesseur [9]. Le motif de diffraction est caractéristique de chaque matériau (chaque matériau cristallin a une structure distinctive), donc il est peu probable qu'un même motif soit produit pour un matériau différent [19].

La diffraction des rayons X (DRX) peut être utilisée pour déterminer la taille des cristaux, en se basant sur les pics principaux à l'aide de l'équation de Debye-Scherrer, formulée comme suit [19] :

$$D = \frac{\lambda \cdot K}{\beta \cdot \cos \theta}$$

D : taille des cristaux.

K : Constante de Scherrer proche de 1 prend en général la valeur 0.9.

λ : longueur d'onde des rayons X (0.15406nm).

β : largeur à mi-hauteur du pic(en rad).

θ : Position du pic(en rad).

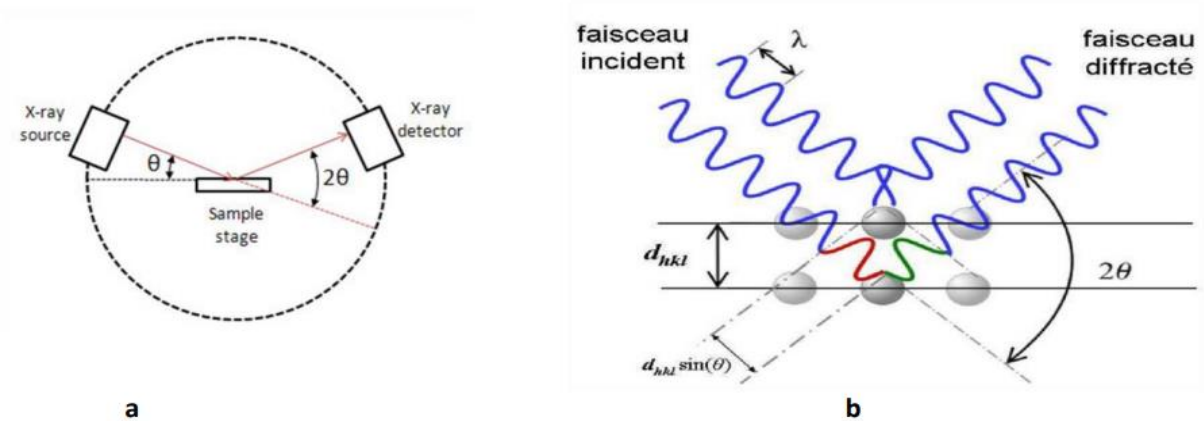


Figure II.18 : (a) Schéma illustrant le principe de fonctionnement d'un diffractomètre à rayon (b) Principe de la diffraction de rayons X par un réseau cristallin [16].

DRX est généralement utile pour les cristaux dont le diamètre est inférieur à [100-200] nm, car l'élargissement du pic est presque nul pour les particules de plus grande taille. Cependant, pour les très petites particules de moins de [2-3] nm l'élargissement du pic devient très important, il est donc impossible de mesurer précisément la largeur du pic ou même de le détecter dans certains cas.

DRX est moins utile pour les particules anisotropes et les particules ayant une distribution non uniforme [9].

❖ **Appareillage :**

Le diffractomètre utilisé pour l'analyse de nos échantillons est de marque «D2 PHASER» (Figure II.18). Les rayons X incidents proviennent de l'émission $K\alpha$ d'une cathode en cuivre, avec une longueur d'onde $\lambda = 1.5406\text{\AA}$.

II.6 Conclusion :

Ce chapitre est dédié à la synthèse des nanoparticules d'oxyde de cuivre par la méthode chimique et à la préparation du revêtement, en mettant en avant la propriété à atteindre superhydrophobe. Dans le chapitre suivant, nous présenterons les analyses réalisées à l'aide des appareils DRX, MEB et EDX, ainsi qu'une discussion détaillée des résultats obtenus.

Référence :

- [1] Dorner L, Cancellieri C, Rheingans B, Walter M, Kagi R, Schmutz P, Kovalenko MV, Jeurgens LPH (2019) Cost-effective sol-gel synthesis of porous CuO nanoparticle aggregates with tunable specific surface area. *Sci Rep* 9:1 Dorner L, Cancellieri C, Rheingans B, Walter M, Kagi R, Schmutz P, Kovalenko MV, Jeurgens LPH (2019) Cost-effective sol-gel synthesis of porous CuO nanoparticle aggregates with tunable specific surface area. *SciRep* 9:1.2019.
- [2] Muthuvel, A., Jothibas, M. & Manoharan, C. Synthesis of copper oxide nanoparticles by chemical and biogenic methods : photocatalytic degradation and in vitro antioxidant activity. *Nanotechnol. Environ. Eng.* 5, 14 (2020). <https://doi.org/10.1007/s41204-020-00078-w>
- [3] Freyssingeas, E., V. Vidal-valerie, and S. Joubaud-sylvain, *Écoulements et instabilités de fluides à travers un orifice.* 2014.
- [4] Jiang, Y. and C.H.J.A.M.I. Choi, Droplet retention on superhydrophobic surfaces: à critical review. 2021. 8(2) : p. 2001205.
- [5] Ahmad, D., et al., Hydrophilic and hydrophobic materials and their applications. 2018. 40(22) : p. 2686-2725.
- [6] Melki, S., *Etude du mouillage de structures fibreuses multi échelles: robustesse de l'hydrophobicité,* Université de Haute Alsace-Mulhouse.2014.
- [7] Mohamed, A.M., A.M. Abdullah, and N.A.J.A.j.o.c. Younan, Corrosion behavior of superhydrophobic surfaces : A review. 2015. 8(6) : p. 749-765.
- [8] Frahm, E.J.E.o.g.S.N., *Scanning Electron Microscopy (SEM).* 2017.
- [9] DJAFRI, D.E., *Élaboration électrochimique et caractérisation des couches minces de Ni (OH)* 2. 2023, Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [10] Akhtar, K., et al., *Scanning electron microscopy: Principle and applications in nanomaterials characterization.* 2018 : Springer.

Référence :

- [11] Hidayanti, F., A.A.J.I.J.o.A.S. Harnovan, and E. Review, Application of scanning electron microscopy: a review. 2020. 1(6) : p. 91-102.
- [12] Mohammed, A. and A. Abdullah. Scanning electron microscopy (SEM) : A review. in Proceedings of the 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics—HERVEX, Băile Govora, Romania. 2018.
- [13] Ali, A., N. Zhang, and R.M.J.A.S. Santos, Mineral characterization using scanning electron microscopy (SEM): a review of the fundamentals, advancements, and research directions. 2023. 13(23): p. 12600.
- [14] Wyroba, E., et al., Biomedical and agricultural applications of energy dispersive X-ray spectroscopy in electron microscopy. 2015. 20(3) : p. 488-509.
- [15] BAROURA, L., Contribution à l'étude des propriétés mécaniques de l'alliage Fe-Cu, Université de Batna 2.2018.
- [16] GHERIB, H., Préparation, Caractérisation et Activité Catalytique de Nanoparticules de Rhodium. 2022.
- [17] Pandey, A., et al., Structural characterization of polycrystalline thin films by X-ray diffraction techniques. 2021. 32 : p. 1341-1368.
- [18] Widjonarko, N.E.J.C., Introduction to advanced X-ray diffraction techniques for polymeric thin films. 2016. 6(4) : p. 54.
- [19] Fatimah, S., et al., How to calculate crystallite size from x-ray diffraction (XRD) using Scherrer method. 2022. 2(1) : p. 65-76.

Chapitre III

Résultats et discussion

III.1 Introduction :

Ce chapitre est entièrement consacré à la présentation et à la discussion des résultats obtenus. Les nanoparticules d'oxyde de cuivre (CuONPs) et le revêtement fabriqué ont été caractérisés à l'aide de différentes techniques de caractérisation, y compris la microscopie électronique à balayage (MEB) couplée à la Spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX), l'analyse par diffraction des rayons X (DRX), ainsi qu'un test visant à évaluer l'efficacité du revêtement obtenu.

III. 2. Caractérisation des nanoparticules CuO Chimiques :

III.2.1 Microscope électronique à balayage (MEB, SEM) :

La morphologie de surface des nanoparticules d'oxyde de cuivre (CuO NPs) préparées par la méthode chimique a été examinée à l'aide du microscope électronique à balayage (MEB) de modèle SU3500. **La Figure III.1** présentée montre l'échantillon avec différents agrandissements à 10 000 et 35 000 fois, permettant ainsi de voir les détails fins des nanoparticules.

Les images révèlent que les nanoparticules de CuO synthétisées ont des formes fleurs très similaires. Il est également possible d'observer que les particules sont des agrégats de manière irrégulière, ce qui suggère la présence d'agglomérations à la surface, probablement dues aux forces de surface élevées entre les particules. Il n'est pas possible de déterminer directement la taille précise des particules à partir des images, mais la majorité des particules de CuO semblent se situer dans la plage nanométrique, ce qui témoigne d'un bon contrôle de la préparation.

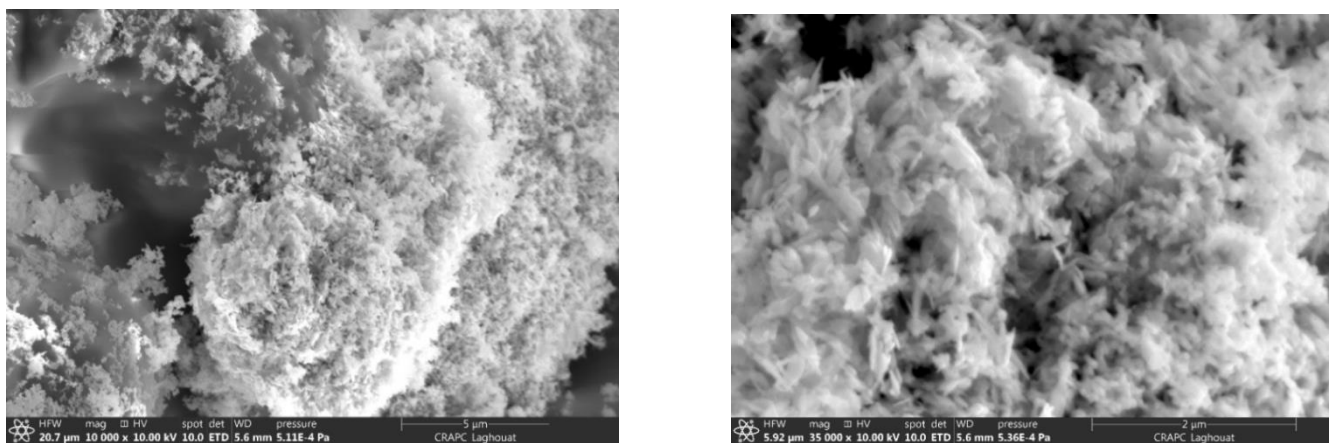


Figure III.1 : Images MEB des nanoparticules CuO synthétisé avec différents agrandissements.

III.2.2 Spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX) :

Pour fournir une vue claire et vérifier la composition chimique des nanoparticules d'oxyde de cuivre (CuO NPs), la Spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX) couplée au microscope électronique à balayage (MEB) a été utilisée. Cette technique permet de déterminer la pureté, les proportions et la distribution des éléments présents dans l'échantillon, ainsi que de vérifier la présence d'éventuelles impuretés ou éléments indésirables. Les résultats obtenus par l'appareil EDX sont présentés dans **laFigure III.2** et le **tableau III.1**.

L'analyse la Spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX) a révélé un pic caractéristique de l'élément Cu, confirmant ainsi la présence de cuivre dans l'échantillon, ainsi qu'un pic élevé d'oxygène (O), qui constitue une partie principale de cet échantillon. D'autres petits pics de sodium (Na) et d'azote (N) ont également été observés, ce qui pourrait être dû à des résidus de la procédure de préparation ou à des facteurs externes.

L'échantillon contenait des proportions variées des éléments O, Cu, Na et N, dans l'ordre suivant : 43.22%, 24.90%, 18.41%, 13.47%.

LaFigure III.2 montre que le spectre caractéristique de l'échantillon contient principalement du CuO avec la présence de quelques contaminants mineurs.

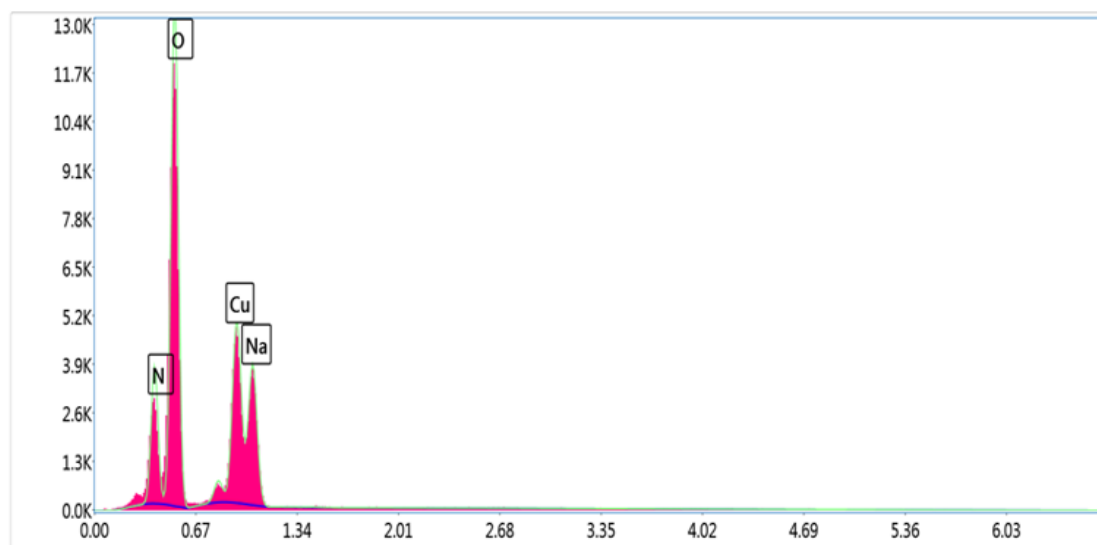


Figure III.2 : Spectre d'analyse EDX des nanoparticules CuO synthétisée.

Tableau III.1 : Compositions chimique d'échantillon synthétisées.

Élément	massique%	Atomique %
Oxygène O (K)	43.22	55.64
Cuivre Cu (L)	24.90	8.07
Sodium Na(K)	18.41	16.49
Azote N (K)	13.47	19.80

III.2.3 Diffraction des rayons X(DRX) :

Les nanoparticules préparées par la méthode chimique ont été caractérisées 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 vérifier que la poudre résultante est constituée de nanoparticules de CuO (CuONPs), et de déterminer la structure cristalline ainsi que la taille des particules obtenues. Les expériences de Diffraction des rayons X fournissent une liste de pics ou de raies de diffraction, où chaque pic reflète une famille de plans cristallins indexés à l'aide des indices de Miller (hkL).

Le diagramme de diffraction pour l'échantillon de CuO NPs préparé par la méthode chimique (**figure III.3**) a montré 6 pics distincts de diffraction correspondant aux angles 2θ à : $35,77^\circ$, $39,06^\circ$, $49,01^\circ$, $61,86^\circ$, $66,44^\circ$, $68,39^\circ$. Ces angles correspondent aux plans cristallins dans l'ordre : (111), (200), (202), (113), (310) et (220). Ce qui indique une structure très spécifique avec une configuration monoclinique du groupe d'espace C2/c (Le paramètre de la maille est $a=4,65 \text{ \AA}$, $b=3,41$, $c=5,1 \text{ \AA}$) de CuO rapporté dans la base de données JCPDS (N°. 01-074-1021).

Les pics nets et distincts indiquent un degré élevé de cristallinité dans les nanoparticules d'oxyde de cuivre CuO préparées. De plus, l'absence de tout pic supplémentaire autre que ceux caractéristiques de l'oxyde de cuivre CuO NPs montre que l'échantillon préparé est exempt de toute impureté dans sa structure cristalline. Concernant l'intensité des pics, il est clairement visible dans les spectres que le pic le plus intense (100%) du composé CuO se situe à $2\theta=35,77^\circ$ dans l'échantillon. Ce pic correspond au plan cristallin (111), ce qui indique que la majorité des cristallites du MgO sont orientées dans cette direction.

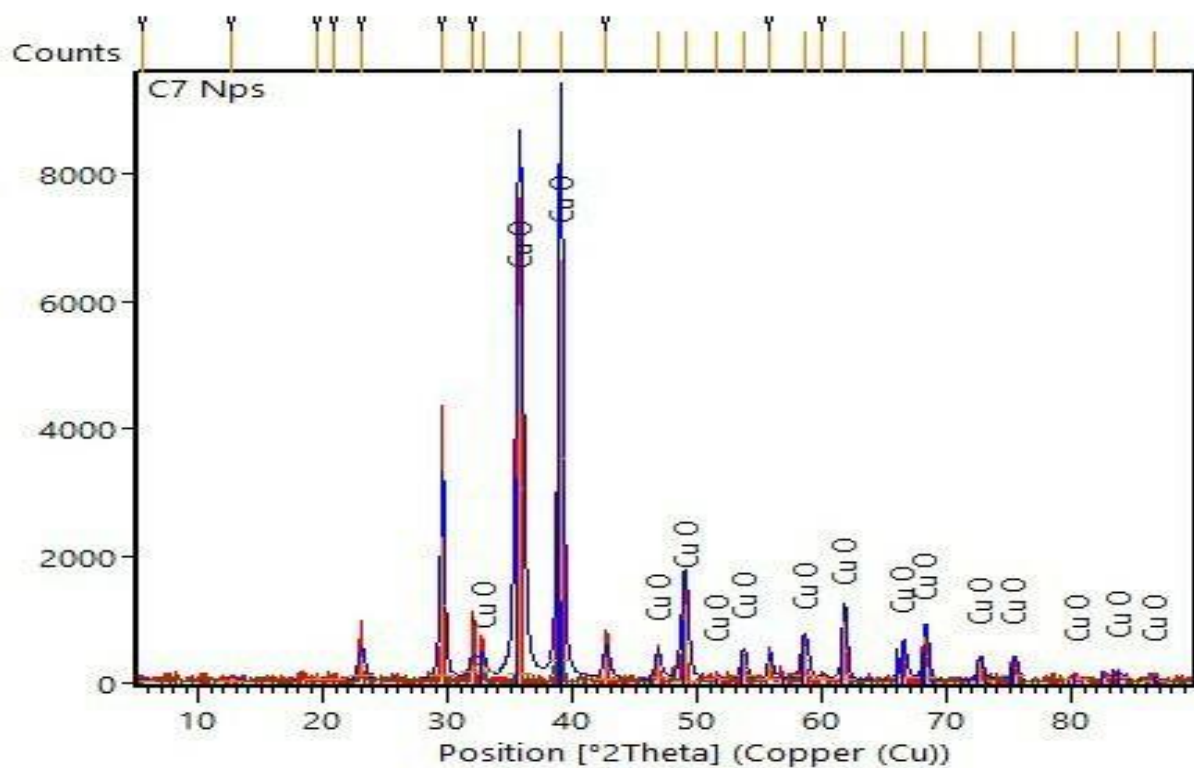


Figure III.3 : diagramme de diffraction des rayons X des nanoparticules de CuO chimiques.

La taille moyenne d'échantillon préparé (CuONPs), est calculé par la relation de Debye-Scherrer [1]. Les résultats obtenus sont représentés dans le **tableau III.2**, nous avons utilisé la relation suivante :

$$D = \frac{\lambda \cdot K}{\beta \cdot \cos \theta}$$

Où :

D : taille des cristaux.

K : Constante de Scherrer proche de 1 prend en général la valeur 0.9.

λ : longueur d'onde des rayons X (0.15406nm).

β : largeur à mi-hauteur du pic(en rad), (FWHM).

θ : Position du pic(en rad).

Tableau III.2 : Taille des nanoparticules de CuO synthétisée.

2θ(°)	β (°)	D (nm)	D moy (nm)
35,77	0,312	24,92	24.27
39,06	0,34	19,07	
49,005	0,427	22,46	
61,86	0,539	25,04	
66,435	0,579	12,74	
68,385	0,596	17,14	

Comme indiqué dans le **tableau III.2**, les tailles moyennes des cristallites d'échantillon CuO-NPs de **24.27nm**.

III. 3. Caractérisation de revêtement :

III. 3.1 Microscope électronique à balayage (MEB) :

➤ Échantillon de PDMS pure :

L'image (**figure III.4**) représente la surface d'un échantillon de PDMS pure sans additifs. À un agrandissement de 1200 fois, la surface apparaît plus lisse et organisée.

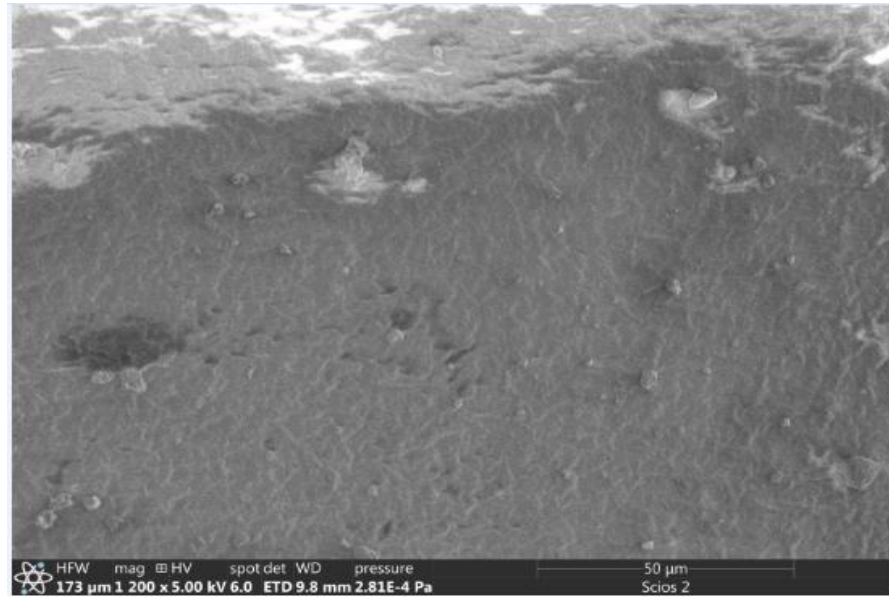


Figure III.4 : Image MEB de PDMS pure.

➤ **Échantillons de revêtement préparé avec des nanoparticules CuO-NPs chimiques à trois proportions différentes :**

Les images a, b, c (**figure III.5**) représentent la morphologie des surfaces d'échantillons de revêtement fabriqué avec de nanoparticules de oxyde de cuivre CuO-NPs chimiques à des proportions différents : 1phr, 2phr, 3phr respectivement.

- L'image a, à un agrandissement de 5000 fois, montre une surface relativement homogène avec des variations dans la morphologie, ainsi qu'une légère accumulation de nanoparticules de CuO dans certaines zones.
- Quant à l'image b, avec un agrandissement de 1500 fois, elle révèle une structure irrégulière et complexe, avec des zones lisses et d'autres rugueuses, contenant de grandes cavités et des agglomérats. Cette variation dans la morphologie peut être interprétée comme un signe d'une distribution incohérente des nanoparticules de CuO à la surface de l'échantillon.
- Concernant l'image c, à un agrandissement de 650 fois, la surface de cet échantillon se caractérise par de grandes zones sombres qui pourraient indiquer l'absence d'agglomérats nanométriques. De plus, les nanoparticules de CuO sont réparties de manière moins uniforme et moins dense.

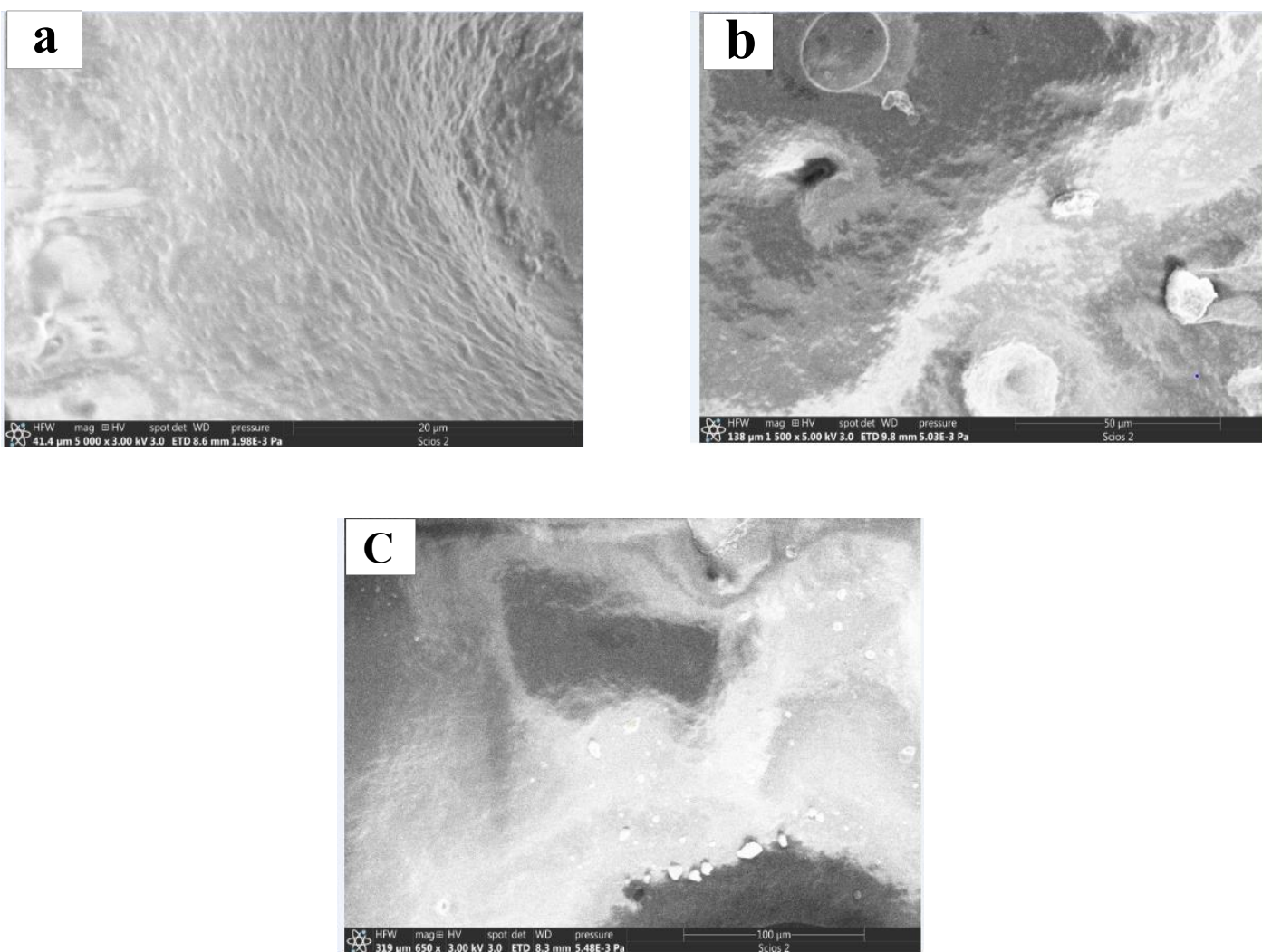


Figure III.5 : Images MEB de revêtement avec des nanoparticules CuO-NPs chimiques à trois proportions différentes (a), (b), (c).

➤ **Échantillons de revêtement préparé avec des nanoparticules CuO-NPs biologique à trois proportions différentes :**

Les images a, b, c (**figure III.6**) représentent la morphologie des surfaces d'échantillons de revêtement fabriqué avec de nanoparticules de oxyde de cuivre CuO-NPs biologique à des proportions différents : 1phr, 2phr, 3phr respectivement.

- image a, sous agrandissement 800 fois, montre une surface moins organisée et homogène, avec des variations la morphologie marquées, indiquant une distribution non uniforme des nanoparticules de CuO. On peut également observer des trous dispersés sur la surface.

- L'image b, également sous agrandissement 1000 fois, révèle une surface incohérente avec des variations entre zones lisses et rugueuses. Ces dernières reflètent des agglomérats de nanoparticules de CuO.
- Quant à l'image c, avec un agrandissement de 650 fois, ce grossissement permet d'observer davantage de détails de la surface. Elle montre une structure complexe, moins organisée et homogène, avec un grand nombre de trous et de petites cavités, ce qui indique une distribution non uniforme des nanoparticules de cuo. On peut distinguer deux types de zones : les zones claires représentant l'accumulation de particules, et les zones sombres reflétant une concentration plus faible de nanoparticules de CuO.

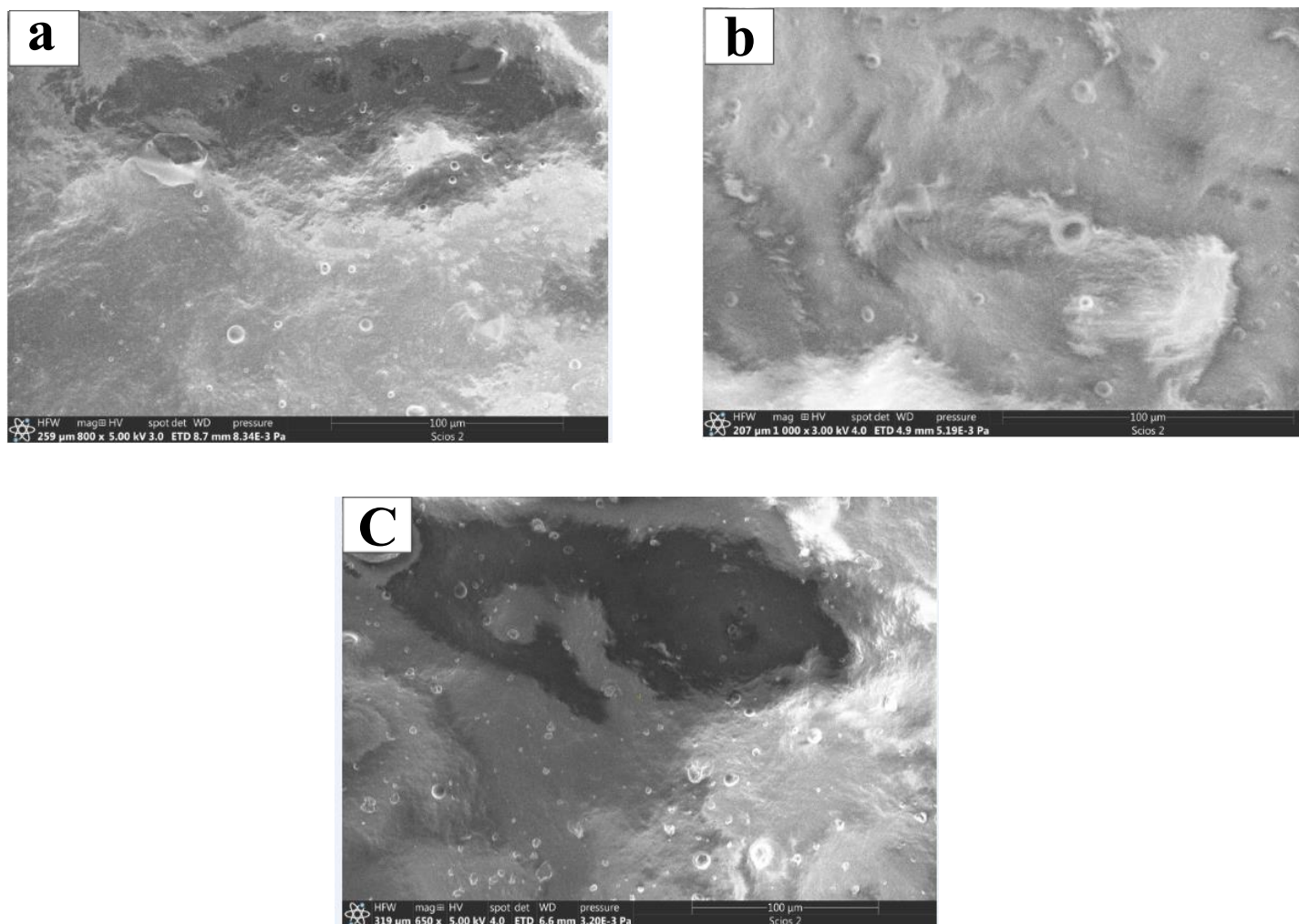


Figure III.6 : Images MEB de revêtement avec des nanoparticules CuO-NPs biologique à trois proportions différentes (a), (b), (c).

➤ **Comparaison entre échantillons :**

L'échantillon de PDMS pure présente une surface beaucoup plus lisse et homogène par rapport aux échantillons de revêtement préparé avec des nanoparticules CuO-NPs . L'ajout de nanoparticules au PDMS entraîne un changement significatif dans la structure de surface de l'échantillon, créant des différences notables dans la, ainsi que la formation d'agglomérats localisés et une variation dans la composition de surface.

Dans les échantillons contenant des nanoparticules chimiques, une meilleure répartition est observée par rapport aux échantillons contenant des nanoparticules biologiques, bien que les deux types présentent des problèmes de distribution inégale et d'accumulation des nanoparticules dans certaines zones.

Cette variation dans la morphologie et la rugosité de surface, ainsi que la complexité dans la distribution des nanoparticules et la texture, peuvent indiquer des propriétés utiles, telles qu'une augmentation de l'angle de contact avec l'eau, ce qui améliore la propriété de déperlance (Hydrophobicité), et peut même atteindre des propriétés superhydrophobes (Superhydrophobicité). Cela rend la surface adaptée aux applications nécessitant des propriétés antiadhésives à l'eau ou une meilleure résistance à la corrosion et à l'usure.. Cela rend la surface adaptée à des applications nécessitant des propriétés hydrophobes ou une meilleure résistance à la corrosion et à l'usure.

III.3.2 Spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX) :

Pour vérifier la composition chimique de PDMS pure et du revêtement préparé en utilisant des nanoparticules de CuO et leur distribution à l'intérieur, nous avons utilisé la technique d'analyse Spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie .Les résultats extraits de dispositif EDX ont été présentés dans **les Figures III.7, III.8** et **les tableaux III. 3 et III.4**.

➤ **Échantillon de PDMS pure :**

L'image présentée montre un graphique représentant la distribution de l'énergie émise par un échantillon de revêtement PDMS (pure) à l'aide de l'analyse Spectroscopie de rayons X (EDX). Les éléments constituant l'échantillon sont identifiés par les pics observés. Nous remarquons un pic élevé pour l'élément carbone (C), ce qui est naturel puisque le polydiméthylsiloxane contiennent des chaînes carbonées. Un pic prononcé pour l'élément

oxygène (O) apparaît également, résultant de la présence de liaisons PDMS, ainsi qu'un pic clair pour l'élément silicone (Si), qui représente l'élément principal de l'échantillon.

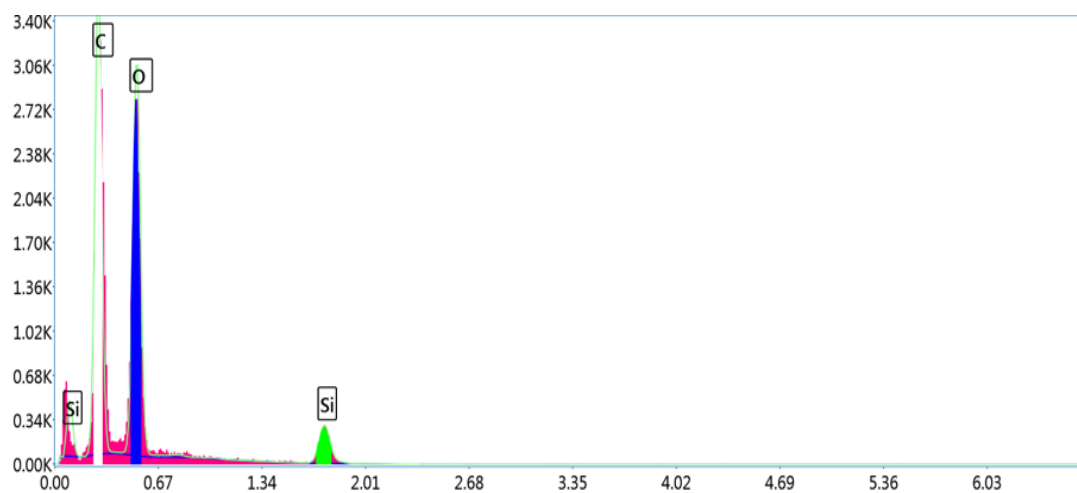


Figure III.7 : Spectre d'analyse EDX de PDMS pure.

Les pourcentages des éléments composant l'échantillon sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III. 3 : Compositions chimique d'échantillon de PDMS pure.

Élément	massique%	Atomique %
Carbone C (K)	50.39	58.31
Oxygène O (K)	45.84	39.82
Silicone Si (K)	3.77	1.87

- **Échantillons de revêtement préparé avec des nanoparticules CuO-NPs chimiques à trois proportions différentes :**

Les images a, b, c présentées dans **la Figure III.8** représentent une analyse Spectroscopiquement d'un échantillon de revêtement en PDMS, avec l'ajout de particules nanométriques d'oxyde de cuivre CuO en différentes proportions 1phr, 2phr ,3phr .

L'image a (1phr) montre un pic élevé pour l'élément carbone (C) ainsi qu'un autre pic élevé pour l'élément oxygène (O). Nous observons également un pic clair pour

l'élément silicone (Si), Avec l'apparence d'un petit pic pour l'élément cuivre (Cu), ceci étant dû au pourcentage de particules ajoutées dans le composé.

En ce qui concerne l'image b (2phr) et l'image (3phr), on peut observer les mêmes pics. La différence réside dans l'augmentation considérable du pourcentage de l'élément cuivre (Cu), cette augmentation étant due à la quantité accrue de nanoparticules ajoutées dans le composé.

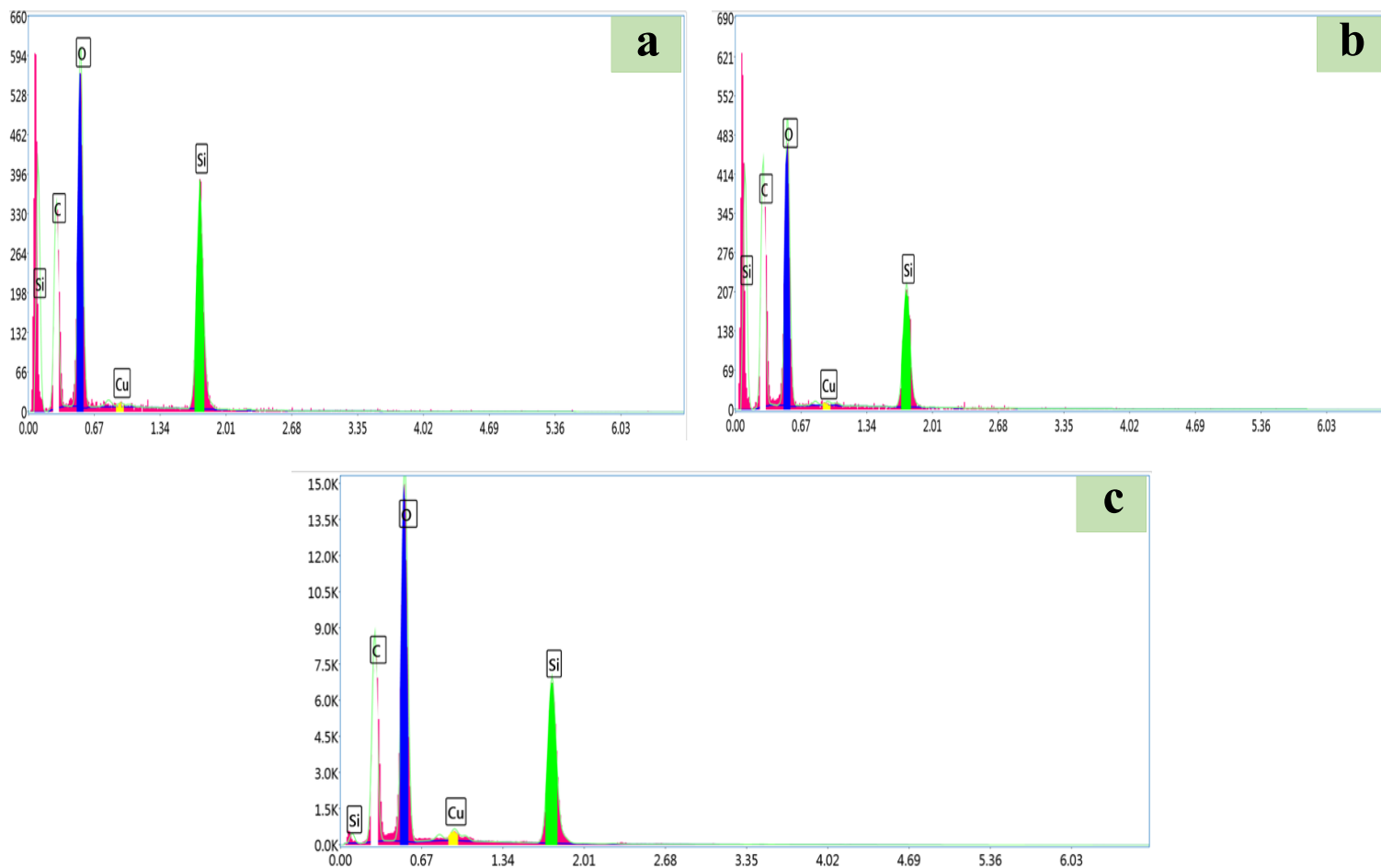


Figure III.8 : Spectre d'analyse EDX de revêtement avec des nanoparticules CuO-NPs chimiques à trois proportions différentes (a), (b), (c).

Les pourcentages des éléments constituant l'échantillon sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III. 4 : Compositions chimique d'échantillons de revêtement avec des nanoparticules CuO-NPs chimiques à trois proportions différentes (a), (b), (c).

	Élément	massique%	Atomique %
Échantillon a	Carbone C (K)	48.53	58.76
	Oxygène O (K)	37.59	34.17
	Silicone Si (K)	13.50	6.99
	Oxyde de cuivre Cu (L)	0.38	0.09
Échantillon b	Carbone C (K)	55.28	64.43
	Oxygène O (K)	35.60	31.14
	Silicone Si (K)	8.71	4.34
	Oxyde de cuivre Cu (L)	0.42	0.09
Échantillon c	Carbone C (K)	37.47	48.07
	Oxygène O (K)	43.71	42.10
	Silicone Si (K)	17.22	9.44
	Oxyde de cuivre Cu (L)	1.60	0.39

III.4 Tests sur le revêtement :

III.3.1 Analyse de L'angle de contact par Méthode des gouttes :

L'image dans la **Figure III.9** montre une expérience visant à tester l'efficacité d'un revêtement résistant à l'eau avec la technique de Méthode des gouttes, où des gouttes d'eau ont été placées sur une surface recouverte de ce revêtement pour évaluer sa capacité à repousser les liquides. Il apparaît sur l'image que les gouttes conservent leur forme sphérique et ne se répandent pas sur la surface, ce qui indique un angle de contact élevé entre les gouttes d'eau et la surface recouverte. Ce phénomène reflète la propriété de "hydrophobie" du revêtement, qui dépend de la réduction de l'interaction entre l'eau et la surface. Lorsque l'angle de contact est important, il devient difficile pour l'eau de pénétrer la surface ou de s'y adhérer, ce qui confirme l'efficacité du revêtement à repousser l'eau et à prévenir son absorption.



Figure III.9 : Image montrant la forme des gouttes d'eau sur la surface du revêtement avec la Méthode des gouttes.

Résultats obtenus pour le revêtement préparé avec des nanoparticules d'oxyde de cuivre chimique :

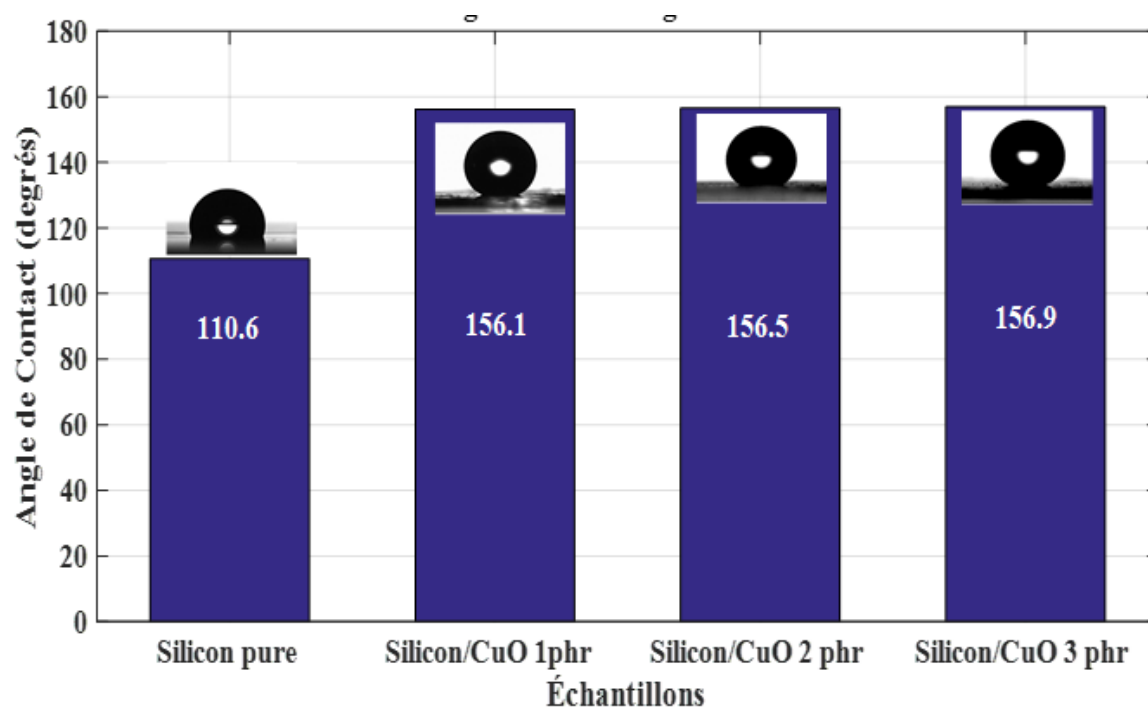


Figure III.10 : Histogramme des Angles de Contact de revêtement par des nanoparticules chimiques.

❖ Commentaire :**1.Échantillon de PMDS pure :**

- L'angle de contact pour cet échantillon est de $110,6^\circ$. Cette valeur indique que la surface possède une propriété hydrophobe modérée. Cet angle de contact étant inférieur à 150° , cela signifie que la surface n'est pas superhydrophobe.

2.Échantillon de PMDS avec 1 phr d'oxyde de cuivre (PMDS/CuO 1 phr) :

- L'angle de contact pour cet échantillon est de $156,5^\circ$. Ce résultat est très similaire à celui de l'échantillon précédent, ce qui suggère que l'augmentation de la concentration d'oxyde de cuivre de 1 phr à 2 phr n'a pas eu un effet significatif sur l'hydrophobie. La surface reste superhydrophobe.

3.Échantillon de PMDS avec 2 phr d'oxyde de cuivre (PMDS/CuO 2 phr) :

- L'angle de contact pour cet échantillon est de $156,5^\circ$. Ce résultat est très similaire à celui de l'échantillon précédent, ce qui suggère que l'augmentation de la concentration d'oxyde de cuivre de 1 phr à 2 phr n'a pas eu un effet significatif sur l'hydrophobie. La surface reste superhydrophobe.

4.Échantillon de PDMS avec 3 phr d'oxyde de cuivre (PDMS/CuO 3 phr) :

- L'angle de contact pour cet échantillon est de $156,9^\circ$, légèrement supérieur à celui de l'échantillon précédent. Cela suggère qu'une augmentation de la concentration à 3phr améliore légèrement l'hydrophobie, mais l'augmentation est faible par rapport aux concentrations plus faibles.

Résultats obtenus pour le revêtement préparé avec des nanoparticules d'oxyde de cuivre biologique :

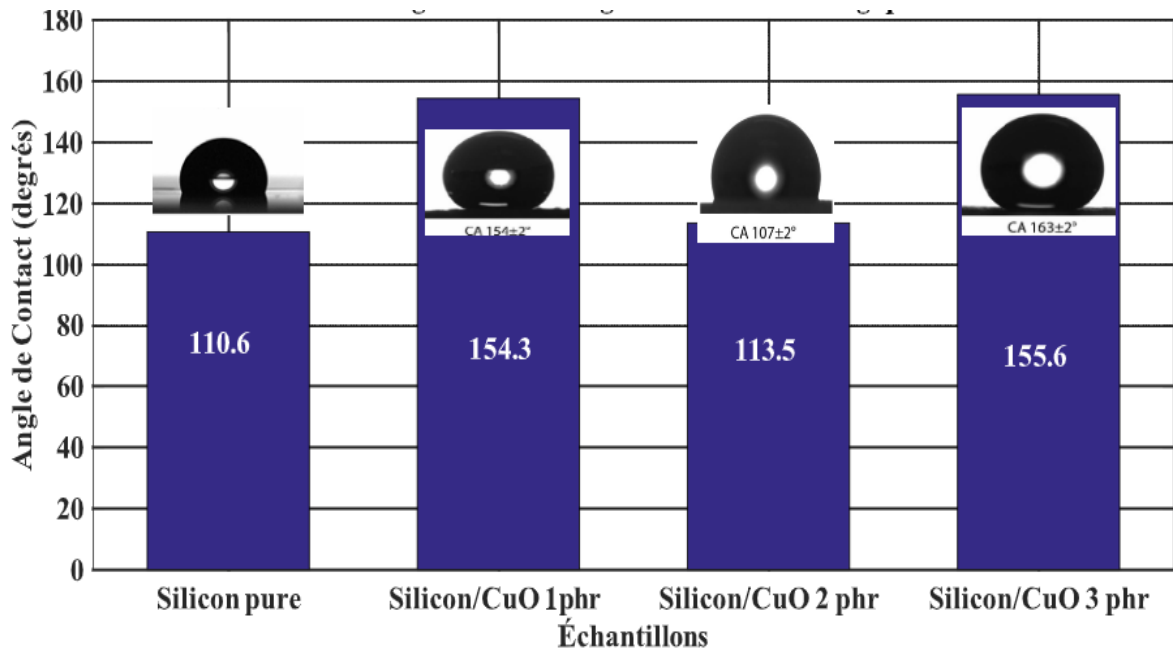


Figure III.11 : Histogramme des Angles de Contact de revêtement par des nanoparticules biologique.

❖ **Commentaire :**

1.Échantillon de PMDS pure :

- L'angle de contact pour cet échantillon est de $110,6^\circ$, ce qui indique que le PDMS pure présente des propriétés hydrophobes. Avec un angle supérieur à 90° mais inférieur à 150° , cela confirme que la surface est hydrophobe sans pour autant être superhydrophobe.

2.Échantillon de PDMS avec 1 phr d'oxyde de cuivre (PDMS/CuO 1 phr) :

- L'angle de contact pour cet échantillon est de $154,3^\circ$. Ce niveau de concentration montre des propriétés superhydrophobe avec un angle de contact supérieur à 150° . Cela indique que l'ajout de 1phr de CuO améliore considérablement les propriétés de répulsion de l'eau de la surface.

3.Échantillon de PDMS avec 2 phr d'oxyde de cuivre (PDMS/CuO 2 phr) :

- L'angle de contact pour cet échantillon est de 113,5°. L'angle de contact ici est inférieur à celui mesuré à 1 phr, ce qui indique une diminution des propriétés hydrophobes. Ce résultat est inattendu car on pourrait s'attendre à ce qu'une concentration plus élevée de CuO augmente l'angle de contact.

Raisons possibles :

- ✓ Distribution non homogène des nanoparticules : Une distribution inégale des nanoparticules pourrait créer des zones de la surface moins efficaces en termes de répulsion de l'eau.
- ✓ Agglomération des nanoparticules : Une augmentation de la concentration à 2 phr pourrait entraîner l'agglomération des particules, réduisant ainsi la surface active et affaiblissant l'effet hydrophobe.
- ✓ Réaction de surface inattendue : Une certaine quantité de CuO pourrait provoquer une réaction défavorable entre les nanoparticules et la surface de la silicone, diminuant ainsi l'angle de contact.

4.Échantillon de PDMSavec 3 phr d'oxyde de cuivre (PDMS/CuO 3 phr) :

- L'angle de contact pour cet échantillon est de 155,6°. Avec une concentration de 3phr, l'angle de contact redevient superhydrophobe .Cela indique qu'une augmentation à ce niveau de CuO améliore à nouveau les propriétés de répulsion de l'eau de la surface.

➤ Comparaison :

En comparant les performances des échantillons de PDMS pure avec ceux contenant des nanoparticules, des différences significatives apparaissent dans les propriétés hydrophobes et superhydrophobes, en raison de l'ajout de nanoparticules, qu'elles soient chimiques ou biologiques.

Avec l'utilisation de nanoparticules chimiques, on observe une augmentation notable de l'angle de contact par rapport à le PDMS pure, dont l'angle de contact est de 110,6°. Lorsque 1phr d'oxyde de cuivre (CuO) est ajouté, l'angle de contact atteint 156,5°, indiquant une transition de la surface de l'hydrophobie modérée à la superhydrophobie. Cette performance

stable se maintient avec une augmentation de la concentration à 2 phr et 3 phr, soulignant l'effet positif de la répartition des nanoparticules chimiques sur la surface.

En revanche, avec l'ajout de nanoparticules biologiques, bien que la surface atteigne un angle de contact de $154,3^\circ$ à une concentration de 1 phr, similaire aux nanoparticules chimiques, on observe une diminution notable de l'angle de contact à $113,5^\circ$ à une concentration de 2 phr, proche de celui du PDMS pure. Cette régression peut être attribuée à une répartition inégale et à l'agglomération des nanoparticules biologiques. Cependant, à une concentration de 3phr, l'angle de contact revient à $155,6^\circ$, restaurant ainsi la superhydrophobie de la surface.

Comparé au PDMS pure, qui présente des propriétés hydrophobes modérées, l'ajout de nanoparticules, qu'elles soient chimiques ou biologiques, améliore considérablement l'angle de contact, rendant la surface plus résistante à l'eau. Toutefois, les nanoparticules chimiques montrent des performances plus cohérentes et maîtrisées par rapport aux nanoparticules biologiques, qui souffrent de problèmes de distribution inégale, affectant négativement la performance à certaines concentrations.

Référence

[1] Fatimah, S., et al., How to calculate crystallite size from x-ray diffraction (XRD) using Scherrer method. 2022. 2(1) : p. 65-76.

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude s'est concentrée sur le développement et la fabrication d'un revêtement nanocomposite présentant des propriétés de superhydrophobicité, offrant une fonctionnalité d'auto-nettoyage pour prévenir la pollution des surfaces des isolateurs haute tension. Ces isolateurs jouent un rôle crucial dans les systèmes électriques en assurant l'efficacité du transport et de la distribution de l'énergie électrique. Ils protègent également les équipements contre la corrosion et les dommages liés aux hautes tensions, prolongeant ainsi la durée de vie des appareils électriques et réduisant les coûts de maintenance. En outre, ils contribuent à la sécurité en réduisant le risque d'électrocution et en maintenant la stabilité des réseaux électriques, éléments essentiels pour l'infrastructure énergétique, notamment dans les centrales électriques et les lignes de transmission haute tension.

La première étape de la fabrication de ce revêtement a consisté à synthétiser des nanoparticules d'oxyde de cuivre (CuO-NPs) par une méthode chimique de coprécipitation. Les échantillons ont été caractérisés par microscopie électronique à balayage (MEB), spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX) et diffraction des rayons X (DRX), fournissant des informations sur la structure, la taille des particules et leur morphologie. Les nanoparticules synthétisées se sont révélées de forme fleurs, proches les unes des autres, avec des agglomérats à leur surface, ayant une taille moyenne de 24,27 nm. Un nanocomposite a ensuite été préparé en intégrant des nanoparticules de CuO chimiques et biologiques avec le silicone. Le silicone a fourni une base flexible et résistante, tandis que le CuO a amélioré les propriétés du Si-O, augmentant la rugosité de la surface et rendant cette dernière plus hydrophobe, ce qui a conféré au revêtement une capacité d'auto-nettoyage. De plus, les CuO-NPs ont montré des propriétés photocatalytiques prometteuses, renforçant leur capacité à dégrader les salissures présentes sur la surface.

L'analyse morphologique de la surface du revêtement réalisée par MEB et EDX a révélé que l'ajout de nanoparticules induit des changements notables dans la structure de surface, avec des agrégats localisés et une variation de composition. Les échantillons contenant des nanoparticules chimiques ont montré une meilleure distribution par rapport à ceux contenant des nanoparticules biologiques. Ces modifications de la forme et de la rugosité ont conduit à une augmentation de l'angle de contact avec l'eau, améliorant ainsi l'hydrophobicité, atteignant des niveaux de superhydrophobicité. Les tests d'efficacité du revêtement ont montré que le PDMS pure présentait des propriétés hydrophobes moyennes, tandis que l'ajout de nanoparticules, qu'elles soient

Conclusion générale

synthétisées chimiquement ou biologiquement, a permis d'atteindre un angle de contact supérieur à 150°, rendant la surface superhydrophobe. Cependant, les nanoparticules synthétisées chimiquement ont montré une performance plus stable et uniforme, contrairement à celles synthétisées biologiquement, qui souffraient d'une distribution inégale, impactant négativement leur performance dans certaines proportions.

En conclusion, le revêtement à base de silicone renforcé par des CuO-NPs, qu'elles soient synthétisées chimiquement ou biologiquement, présente une capacité remarquable à améliorer l'hydrophobicité, contribuant ainsi à la fiabilité des isolateurs haute tension. Cette étude ouvre de nouvelles perspectives pour le développement de revêtements nanocomposites superhydrophobes, offrant une multitude d'applications au-delà des isolateurs haute tension, dans des domaines nécessitant des surfaces auto-nettoyantes, efficaces pour repousser l'eau et les saletés.

Annexes

Annexes

Annexes 01 : Tableau des matériels utilisée dans l'expérience :

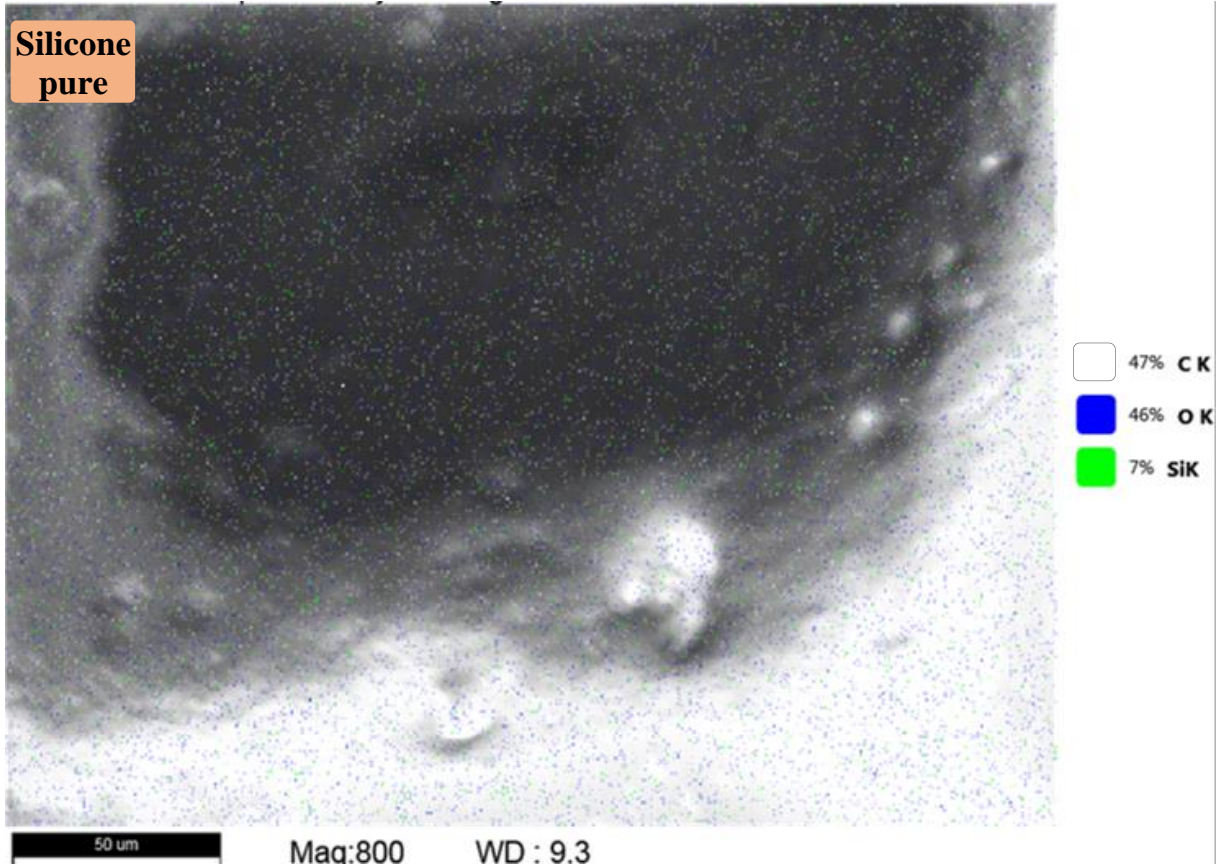
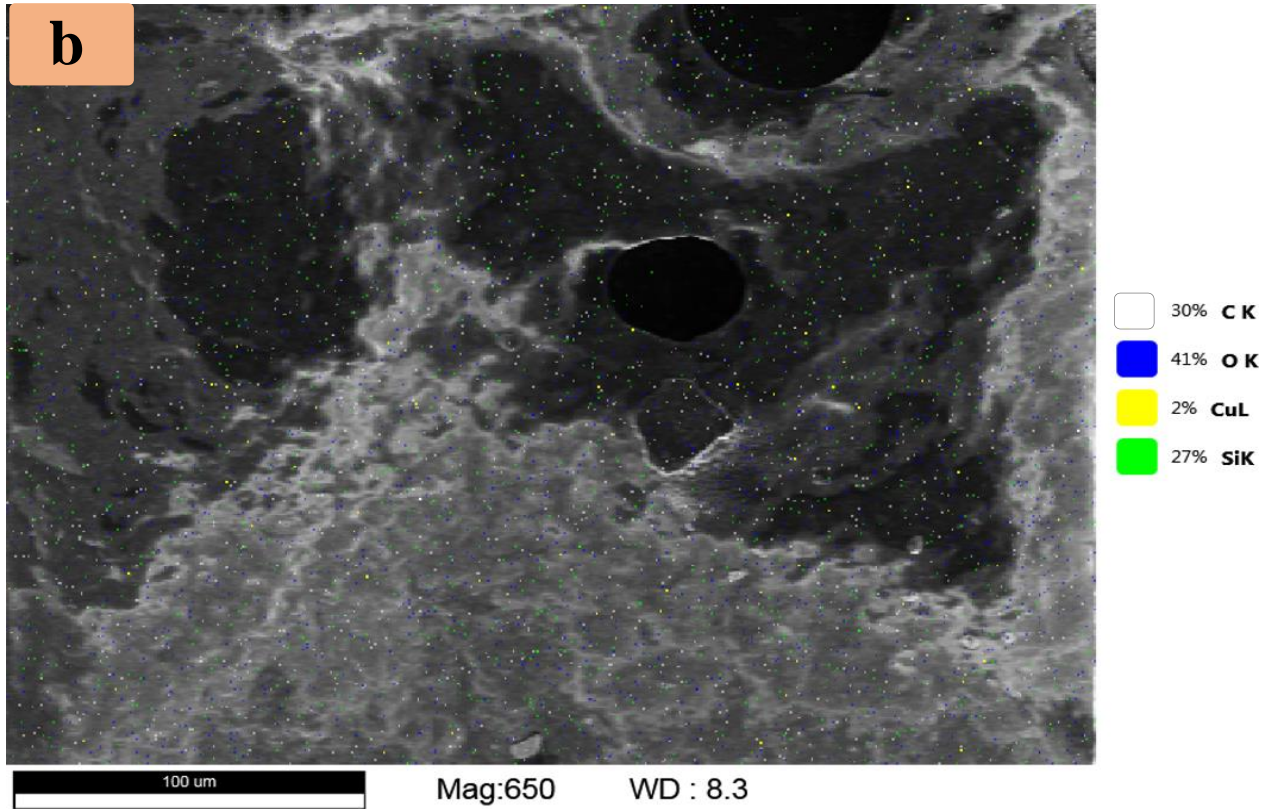
<p>Étuve</p> 	<p>Vortex (SA8)</p> 
<p>Balance analytique</p> 	<p>pH mètre</p> 
<p>Centrifugation</p> 	<p>Four</p> 

Annexes

Annexe 02 : quelques images présentes la distribution des éléments chimiques, prises à partir de dispositif Spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie EDX pour des échantillons de revêtement préparé avec des nanoparticules CuO-NPs chimiques à proportions différentes : 1phr, 2phr, dans l'ordre a, b, et le PDMS pure.



Annexes



Annexes

Annexe 03 : Une image montrant la forme des gouttes sur une surface superhydrophobe testée avec la Méthode des gouttes.





الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
كلية العلوم والتكنولوجيا
جامعة غرداية
عنوان المشروع:



*Développement d'un revêtement nano
composite superhydrophobe appliquée
sur les isolateurs haut tension*

مشروع لنيل شهادة مؤسسة ناشئة في إطار القرار الوزاري 1275



الاسم التجاري:

NHK SELF-CLEANING

الموسم الجامعي:

2023 – 2024

بطاقة المعلومات:

فريق الاشراف:

المشرف الرئيسي	التخصص
بوخاري حامد	كهروتقني

فريق العمل:

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

المحور الثاني : ...

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								
		1	2	3	4	5	6	7		
السنوات	1		الدراسات الاولية: اختيار موقع وحدة الانتاج واعداد 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

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

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 :تُستخدم 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 ويمنح 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.

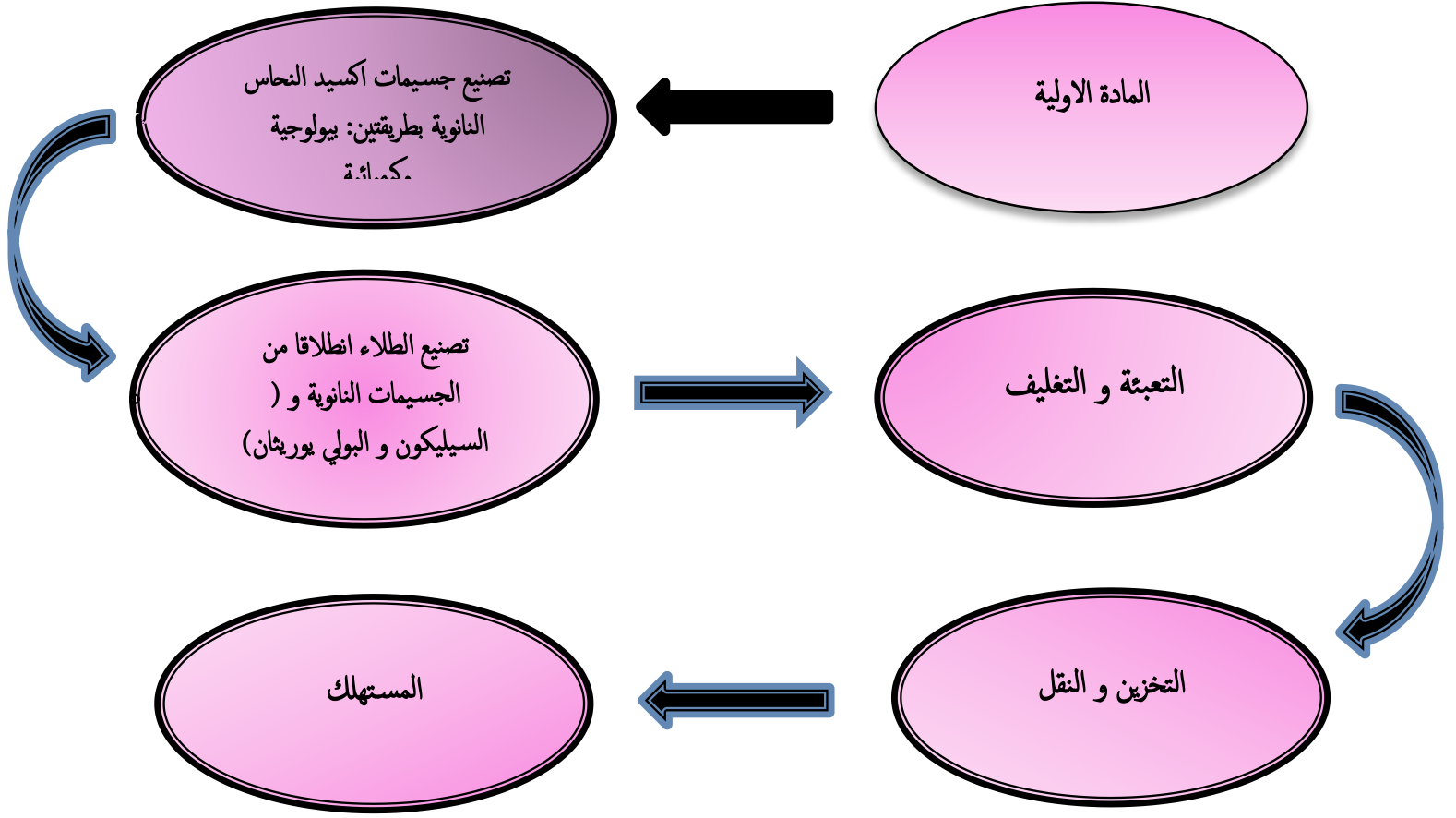
الخطوة الثانية : في هذه المرحلة يتم تصنيع الطلاء اعتمادا على الجسيمات النانوية المصنعة و

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 :



2. التموين :

من اجل تصنيع الجسيمات النانوية لأكسيد النحاس نشترى 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 وضمان الاستمرارية.

3. اليد العاملة :

يلعب العمال دورًا أساسيًا في إنجاز المشروع، بما في ذلك إنتاج مواد تكنولوجيا النانو الذكية و تصنيع الطلاء. يتطلب المشروع فريقًا ماهرًا قادرًا 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	2	مهندس كيمياء

لصناعية		
يقوم بصيانة وإصلاح المعدات والآلات المستخدمة لضمان استمرارية الإنتاج	1	عامل الصيانة
يقوم بتعبئة وتغليف المنتج بشكل مناسب للتوزيع والتخزين	2	عامل التعبئة و التغليف
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	2	محاسب

دور في إدارة التدفقات النقدية.		
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

• إعداد الخطة المالية

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 منتجاتنا والوصول إلى أعلى مستوى من العائد المالي.
- توقيع عقود واتفاقيات مع شركات نقل و توزيع الكهرباء لتزويدهم بمنتجاتنا واستخدامه بشكل حصري، مما يضمن تدفقاً مستمراً للعائد المالي.
- رسوم تأجير المعدات.

المحور السادس : النموذج الاولي

• *المحور السادس*

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.

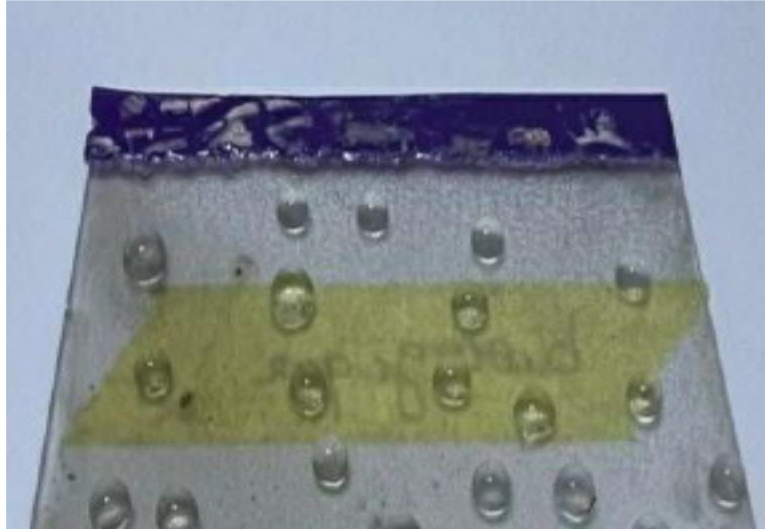
المنتج النهائي:



المنتج النصف النهائي:

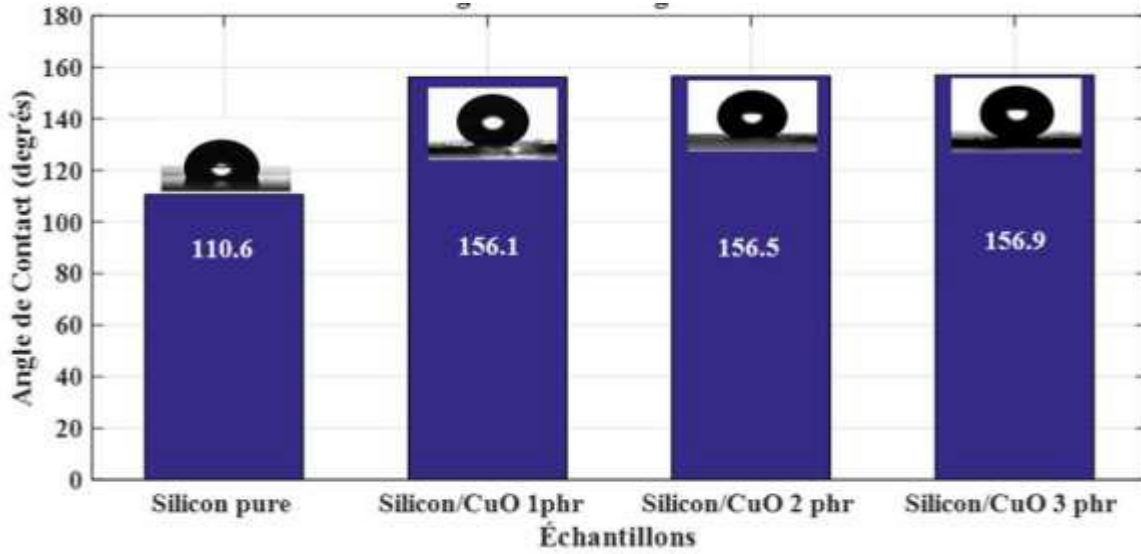


✓ اختبار فعالية الطلاء في صد الماء:

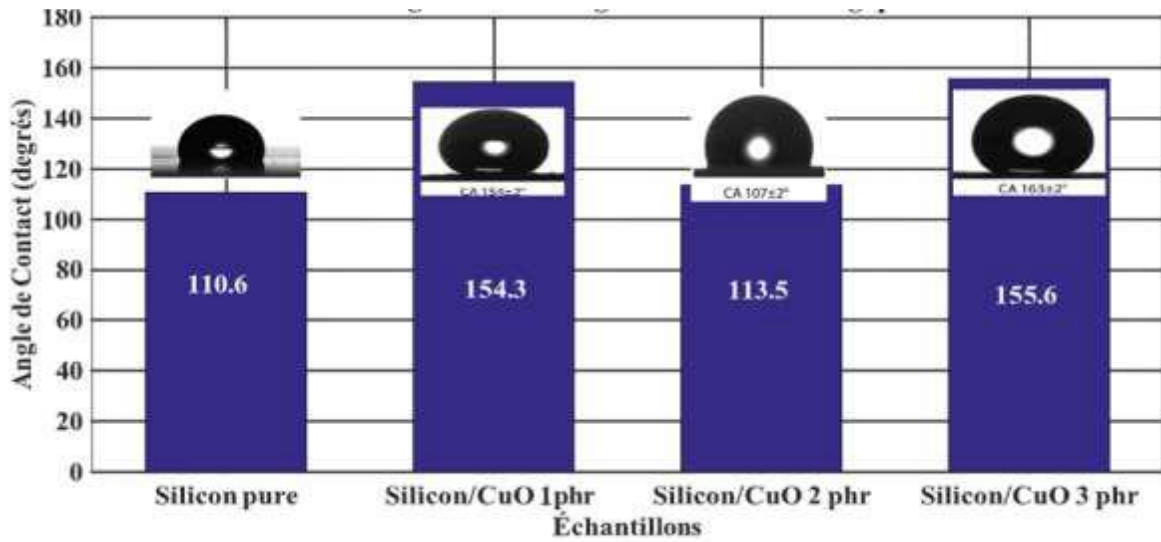


✓ تقييم فعالية المنتج عن طريق قياس زاوية التلامس :

✚ جسيمات أكسيد النحاس بالطريقة الكيميائية:



✚ جسيمات أكسيد النحاس بالطريقة البيولوجيا:



<p>الشركاء الرئيسيون:</p> <ul style="list-style-type: none"> • موردو المواد الاولية. • موردو المواد اولية لتعبئة و التغليف. • حاضنة الاعمال. 	<p>الانشطة الرئيسية:</p> <ul style="list-style-type: none"> • تحضير الجسيمات النانوية. • تصنيع الطلاء الكاره للماء. • التعبئة و التغليف في احسن الشروط. • الشحن و التوصيل. • تطوير المنتج و استخدامه في تطبيقات أخرى. 	<p>القيم المقترحة:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 . 	<p>العلاقة مع العملاء:</p> <ul style="list-style-type: none"> • يوفر موظفونا خدمة مميزة مع الزبائن من خلال التواصل المباشر معهم فتقديم المساعدة و كسب رضاهم اولويتنا. • تقديم أسعار تنافسية ومغرية. • خيار الشحن المجاني و توفير خدمات اشتراكية للتوصيل الدوري. • تقدم شركتنا لعملائها منصة للتعبير عن آرائهم حول المنتج. • مشاركة في الحملات ترويجية والمعارض والمسابقات التي تقيمها شركة سونلغاز . 	<p>شراخ العملاء:</p> <ul style="list-style-type: none"> • شركة سونلغاز • شركات توليد الطاقة الكهربائية. • شركات نقل وتوزيع الكهرباء . • المرافق الحكومية والبنى التحتية.
	<p>الموارد الرئيسية:</p> <ul style="list-style-type: none"> • الموارد البشرية: العمال . • الموارد المادية : المواد الاولية, المعدات, الأجهزة ,شحنات التوصيل...إلخ. • الموارد المالية: قرض مالي. • موارد فكرية: افكار تطوير المنتج, التصميم. 	<p>هيكل التكاليف:</p> <ul style="list-style-type: none"> • تكاليف المواد الاولية. • تكاليف العتاد و المعدات. • تكاليف الاجراءات الورقية و القانونية لانطلاق الشركة. • رواتب الموظفين و التأمينات و الضرائب. • تكاليف التصنيع. • تكاليف الماء و الغاز و الكهرباء و الهاتف و الانترنت. • تكاليف الإعلانات . 	<p>مصادر الدخل:</p> <ul style="list-style-type: none"> • بيع المنتج النهائي: الطلاء . • بيع المنتج النصف النهائي: جسيمات أكسيد النحاس النانوية. 	<p>التواتر:</p> <ul style="list-style-type: none"> • B2B • الموقع الالكتروني للشركة و وسائل التواصل الاجتماعي. • إعلانات رقمية عبر محركات البحث . • الدعم الفني وخدمة العملاء عبر الهاتف والبريد الإلكتروني .



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة غرداية
حاضرة أعمال جامعة غرداية



رقم: 18 / ح.أ.ج.ع/غ/2024

شهادة توظيف "مشروع مبتكر وفق قرار 1275"

أنا الممضي أسفله، السيد : د/ مراكشي عبد الحميد

مسير حاضرة الأعمال: جامعة غرداية (بالإنابة) --

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

بتاريخ:

رقم علامة الحاضرة:

طبيعة المشروع: مؤسسة ناشئة

أشهد أن الطالب / الطالبة التالية أسمائهم:

الاسم واللقب	الطور الدراسي	التخصص	الكلية
حويشيتي نجاة	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	أستاذ محاضر أ	الاية و كهروميكانيك	كلية العلوم والتكنولوجيا

تم توظيفه على مستوى حاضرة 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 الحاضرة (بالإنابة)



د/ مراكشي عبد الحميد



Autorisation d'impression finale d'un mémoire de master

	Nom et prénom	Signature
Le président de jury	Dr. Mansouri Khalid	
Examineur 1	Dr. Forest eniche	
Examineur 2	Dr.	
Encadrant	Dr. Boukhari Hamed	

Soussigne Dr :

Président de jury des étudiantes : TAHRI Kaoutar - Khouas Hadjer

Filière : Génie des procédés : Spécialité : Génie chimique

Thème : Préparation, caractérisation et application d'un manomériau
à base d'oxyde de cuivre CuO .

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

