



جامعة غرداية

حاضنة الأعمال جامعة غرداية

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم هندسة الطرائق

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

شهادة تخرج – مؤسسة ناشئة / براءة اختراع

بعنوان:

توليف وتوصيف مركب نانوي قائم على أكسيد المغنيسيوم

من إعداد الطالبين:

- كيوص جهاد
- بن قومار كريمة

تحت اشراف:

رئيس	جامعة غرداية	MCB	د. بن الشيخ صلاح الدين
ممتحن	جامعة غرداية	MCB	د. بن طرفة جهاد
مشرف	جامعة غرداية	MCB	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 :

*Synthèse et caractérisation d'un nanocomposite à base d'oxyde
de magnésium*

Par :

- Kiouas Djihad
- Ben Koumar Karima

Devant le jury :

Dr. Bencheikh Salah Eddine	MCB	Univ. Ghardaïa	Président
Dr. Bentarfa Djehad	MCB	Univ. Ghardaïa	Examineur
Dr. Boukhari Hamed	MCB	Univ. Ghardaïa	Encadreur

Année universitaire: 2023/2024

Dédicace

Tout d'abord et avant tout, je remercie Dieu et je Le loue de m'avoir accordé la force et la patience pour relever les défis et mener à bien ce travail.

Cela étant dit, c'est avec fierté et reconnaissance que je dédie ce travail à :

*- **Ma mère**, qui est la lumière de nos vies et la source de mon optimisme et de ma réussite grâce à ses prières et son soutien.*

*- **Mon cher père**, pour qui aucun dévouement ne saurait exprimer l'ampleur de mon amour et de ma gratitude. (Ce travail est le fruit des sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et mon cheminement jusqu'à cette étape de ma vie. Que Dieu vous préserve et vous accorde santé et longévité).*

*- **Mes chères sœurs**, Hadjer et Sarah, qui ont été à mes côtés à chaque étape. Que Dieu vous garde pour moi en tant que soutien et réconfort.*

*- **Mon cher et unique frère** Mouhamed.*

*- **Mon fiancé**, Abdelhak qui a été un véritable soutien et un encouragement dans tous les sens du terme.*

*- **Mes amies** et compagnes de toujours, Rajaa, Djihad, Nadjat, Hadjer, et Kaouthar.*

*- **À mon cher grand-père**, que Dieu ait pitié de lui, dont j'ai toujours souhaité la présence lors de ma cérémonie de remise des diplômes.*

*- **À toute ma famille et tous mes chers amis**, collègues du Master 2 en Génie Chimique 2023/2024*

Karima



اهداء

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

الحمد لله حمدا كثيرا مباركا طيبا حمدا يبلغ منتهاه بفضلته تعالى وتوفيق منه استطعت اتمام هذه المذكرة

اللهم اجعله بداية تحقيق احلامي

اهدي تخرجي الى:

نفسى التي تعبت وسهرت وتكبدت كامل مشقات بالصبر وتفاؤل والأمل

الى من كانت الداعم الأول لتحقيق طموحي الى من كانت ملجأى ويدي اليمنى الى التي ربنتي وسهرت على رعايتي أُمى الحبيبة

الى النور الذي أضاء دربي الى العزيز الذي حملت إسمه فخرا الى معلمي الأول الرجل الذي سعى طوال حياته لأكون مرتاحة أُمى العزيز

الى الراحلة من حياتي الحاضرة في قلبي جدتي ماني الغالية

الى أخواتي الغاليات رفيقات الدرب صفاء هاجر عائشة مروة التي كنا عونن وداعما لي ولاننسى سندي اخوتي محمد وعبد الرزاق

الى صديقات العمر التي قضيت معهم أفضل ايام حياتي فاطيمة أميرة حكيمة

كوثر نجاهه والأخص رفيقات الطفولة وسعادتي المكتملة هاجر وداريين

الى خالي توفيق ومراد وخالتي سمية الأعمام وعائلتي وأقربائي ومعارفي

وكل من أحبهم واعتز بهم

جهاد



Remerciements

باسم الله الرحمن الرحيم

« وآخر دعوانهم أن الحمد لله رب العالمين »

Nous remercions Dieu tout-puissant qui, par sa grâce et sa faveur, nous a permis de réaliser ce mémoire.

*Nous exprimons notre sincère gratitude au **Dr. Boukhari Hamed** pour sa confiance en nous et pour ses efforts déployés à chaque étape du mémoire.*

*Nous tenons à remercier particulièrement **Dr. Khane Yasmine** pour son soutien et ses conseils qui nous ont été bénéfiques dans l'achèvement de ce mémoire, ainsi que pour sa patience durant toute la période de préparation, malgré ses occupations et ses engagements.*

*Nous tenons également à remercier le professeur **Benchaa oualid** pour ses conseils et ses orientations.*

*Nous remercions également Monsieur **Zoukal Abdelhaleem**, Directeur de la plateforme CRAPC (Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyses Physico- Chimiques) de Laghouat pour avoir fourni les analyses nécessaires à notre travail.*

*Et un grand merci à **Swid Câble** pour sa contribution à notre projet.*

*Nous remercions les techniciens de laboratoires **Imane** et **Saliha** pour la mise à disposition des équipements nécessaires à la réalisation de notre travail.*

*Nous tenons à remercier les membres du jury, **Dr. Bencheikh Salah Eddine** et **Dr. Bentarfa Djehad** qu'a accepté d'examiner ce travail.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à tous **nos professeurs** du département de génie des procédés de l'Université de Ghardaïa pour tout ce qu'ils nous ont apporté durant notre parcours académique.*

Merci à tous et à toutes.

Résumé

Dans cette étude, l'accent a été mis sur la fabrication d'un film nanocomposite visant à améliorer les propriétés d'isolation des câbles électriques. Les nanoparticules d'oxyde de magnésium ont été synthétisées par la technique sol-gel à auto-combustion respectueuse de l'environnement, utilisant deux extraits de plantes différents. La plante de *Tazia* (*Asphodelus Tenuifolius Cav*) présente à Ghardaïa et la plante de *Sauge* (*Salvia officinalis*) présente à Blida.

Le composite polymère nanométrique a été préparé en combinant le polyéthylène basse densité avec des nanoparticules d'oxyde de magnésium, afin de créer un matériau aux propriétés d'isolation électrique améliorées. Le matériau composite a été soumis à plusieurs analyses physiques et chimiques pour déterminer ses propriétés et optimiser ses performances.

La formation des nanoparticules d'oxyde de magnésium (MgO) a été confirmée, leur taille et leur forme a été étudiée à l'aide d'un microscope électronique à balayage (MEB), qui a montré que les nanoparticules étaient principalement de forme sphérique. Les spectres de dispersion d'énergie des rayons X (EDX) ont également confirmé la formation de nanoparticules de MgO. La nature cristalline et les tailles de ces nanoparticules ont été analysées par diffraction des rayons X (XRD), et les résultats ont montré que la structure cristalline des particules est un cube centré sur les faces, avec des tailles différentes pour les deux plantes respectivement (30.15 et 59.02) nm.

De plus, le film composite polymérique contenant des nanoparticules d'oxyde de magnésium extraites de la plante *Tazia* a été analysé à l'aide du microscope électronique à balayage. Cette analyse a montré la morphologie de la surface de film et a confirmé la distribution des particules sur la surface du polyéthylène, ce qui a contribué à améliorer les propriétés d'isolation électrique du composite.

Après avoir terminé l'analyse du film nanocomposite, plusieurs tests électriques ont été réalisés pour évaluer les propriétés d'isolation électrique, y compris la constante diélectrique, la résistance volumique, le facteur de perte et la rigidité diélectrique, et les résultats ont montré que les performances étaient bonnes et conformes aux attentes.

Mots-clés : Nanoparticules d'oxyde de magnésium, *Sauge*, *Tazia*, Sol-gel auto-combustion, Polyéthylène basse densité, Nanocomposites, Isolation des câbles électriques

Abstract

In this study, the focus was on the fabrication of a nanocomposite film aimed at enhancing electrical cable insulation properties. The magnesium oxide nanoparticles were synthesized using an environmentally friendly sol-gel auto-combustion technique with two different plant extracts the *Tazia* (*Asphodelus Tenuifolius Cav*) found in Ghardaïa and the *Sauge* (*Salvia officinalis*) found in Blida.

The nanocomposite polymer was prepared by blending low-density polyethylene with magnesium oxide nanoparticles to create a new material with improved electrical insulation properties. The composite material underwent several physical and chemical analyses to determine its properties and optimize its performance.

The formation of magnesium oxide (MgO) nanoparticles was confirmed, on their size and shape was studied using a scanning electron microscope (SEM), which showed that the nanoparticles were mostly spherical. The energy-dispersive X-ray (EDX) spectra also supported the formation of MgO nanoparticles. The crystalline nature and sizes of these nanoparticles were analyzed using X-ray diffraction (XRD), which indicated a face-centered cubic structure, with different sizes for the two plants, respectively (30.15 and 59.02) nm.

In addition, the polymeric composite film containing magnesium oxide nanoparticles extracted from the *Tazia* plant was analyzed using scanning electron microscopy. This analysis revealed the morphology of the sample's surface and confirmed the distribution of the particles on the surface of the film, which contributed to improving the electrical insulation properties of the composite.

After completing the analysis of the nanocomposite film, several electrical tests were conducted to assess the electrical insulation properties, including the dielectric constant, volumetric resistance, loss factor, and dielectric strength, and the results showed that the performance was good and met expectations.

Keywords: Magnesium oxide nanoparticles, *Sauge*, *Tazia*, Sol-gel auto-combustion, Low-density polyethylene, Nanocomposites, Electrical cable insulation.

المخلص

في هذه الدراسة، تم التركيز على صناعة فيلم مركب نانوي بهدف تعزيز خصائص عزل الكابلات الكهربائية. بحيث تم تصنيع جسيمات أكسيد المغنسيوم النانوية من خلال تقنية السول جال ذات الاحتراق التلقائي الصديقة للبيئة باستخدام نوعين مختلفين من المستخلصات النباتية الطازية (*Asphodelus Tenuifolius Cav*) المتواجدة في غرداية والميرامية (*Salvia officinalis*) المتواجدة في البلدية.

تم تحضير المركب النانوي عن طريق دمج البولي إيثيلين منخفض الكثافة مع جسيمات أكسيد المغنسيوم، وذلك لخلق مادة جديدة تمتاز بخصائص عزل كهربائي محسنة .

خضعت المادة المركبة لعدة تحليلات فيزيائية وكيميائية لتحديد خصائصها وتحسين أدائها، بحيث تم تأكيد تكوين الجسيمات النانوية من أكسيد المغنسيوم (MgO) ودراسة حجمها وشكلها باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح (MEB) ، الذي أظهر أن الجسيمات النانوية كانت في الغالب كروية الشكل. كما أكدت أطياف تشتت الطاقة بالأشعة السينية (EDX) تكوين الجسيمات النانوية من MgO وتم تحليل الطبيعة البلورية وأحجام هذه الجسيمات باستخدام نمط حيود الأشعة السينية (DRX)، حيث أظهرت النتائج أن الهيكل البلوري للجسيمات هو مكعب متمركز الوجوه. ، بأحجام مختلفة للنبتين على التوالي (30.15 و 59.02) نانومتر .

بالإضافة إلى ذلك، تم تحليل فيلم المركب النانوي الذي يحتوي على جسيمات أكسيد المغنسيوم النانوية المستخرجة من نبتة الطازية باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح. وقد أوضح هذا التحليل مورفولوجية سطح العينة وأكد توزيع الجسيمات على سطح الفيلم.

بعد الانتهاء من تحليل فيلم المركب نانوي، تم إجراء اختبارات كهربائية متعددة لتقييم خصائص العزل الكهربائي، بما في ذلك الثابت العازل، والمقاومة الحجمية، وعامل الفقد، والصلابة العازلة، والتي أظهرت أن النتائج كانت جيدة وموافقة للتوقعات.

الكلمات المفتاحية: جسيمات النانوية للأكسيد المغنسيوم ، ميرامية ، طازية ،سول-جال الاحتراق التلقائي ، بولي إيثيلين منخفض الكثافة ، المركبات النانوية ، العزل الكهربائي .

Liste des abréviations

MgO	Oxyde de magnésium.
NPs	Nanoparticules
MgONPs	Nanoparticules d'oxyde de magnésium
DRX	Diffraction des rayons X
EDX	Spectroscopie dispersive de Rayons X
MEB	Microscope électronique à balayage
PE	Polyéthylène
LDPE	Low-Density Polyéthylène
CFC	Cubique à faces centrées
nm	Nanomètre
µm	Micromètre
pH	Potentiel d'Hydrogène
θ	Angle de Bragg
Rad	Radian
Phr	Parts per Hundred Rubber

Liste des figures

Chapitre I : Recherche Bibliographique

Figure I. 1: Échelle nanométrique.....	4
Figure I. 2: Classification des nanomatériaux en fonction de la dimension	5
Figure I. 3: Familles des nanomatériaux.....	7
Figure I. 4: Nanocomposites	7
Figure I. 5: Préparation de nanocomposite par méthode de mélange à l'état fondu.....	9
Figure I. 6: Préparation de nanocomposite par méthode de Mélange de solutions	10
Figure I. 7: Polymérisation In-Situ	10
Figure I. 8: Préparation de nanocomposites polymériques.....	11
Figure I. 9: Granulés de polyéthylène.....	13
Figure I. 10: Structure chimique du polyéthylène	13
Figure I. 11: Représentation schématique des structures de différents types de PE.....	14
Figure I. 12: Quelques domaines d'utilisation du polyéthylène.....	15
Figure I. 13: Comparaison à l'échelle nanoparticules entre les structures chimiques et biologiques.....	16
Figure I. 14: Nanoparticules organiques : a - Dendrimères, b - Liposomes et c- micelles	16
Figure I. 15: Nanoparticules inorganiques.....	17
Figure I. 16: Nanoparticules à base de carbone : a-fullerènes, b-graphène, c-nanotubes de carbone.....	17
Figure I. 17: Méthode de synthèse de nanoparticule	18
Figure I. 18 : Le schéma suivant illustre certaines de leurs applications dans différents domaines	20
Figure I. 19 : Forme du poudre MgO.....	21
Figure I. 20 : Configuration électronique des ions Mg^{2+} et O^{2-} et structure cristalline de MgO.	22
Figure I. 21: Les étapes de la méthode sol-gel	26
Figure I. 22: Auto-combustion.....	27

Figure I. 23: Arbre montrant les applications de l'MgO.	29
Figure I. 24: Isolation des câbles électriques a base d'un nanocomposite	31

Chapiter II: Partie pratique

Figure II. 1: Organigramme descriptif de la méthodologie de travail.	35
Figure II. 2: <i>Tazia</i>	39
Figure II. 3 : Lieu de cueillette de la plante <i>Tazia</i>	40
Figure II. 4: La <i>Sauge</i>	42
Figure II. 5: Lieu de cueillette de la plante <i>Sauge</i>	43
Figure II. 6: Séchage	43
Figure II. 7: Découpage	44
Figure II. 8: L'étape d'extraction de la plante.	45
Figure II. 9: L'étape de filtration.	45
Figure II. 10: L'étape de préparation du produit.	46
Figure II. 11: Ajustement du pH.	46
Figure II. 12: L'étape de l'hydrolyse à la polycondensation.	47
Figure II. 13: L'étape d'auto-combustion.	47
Figure II. 14: L'étape d'age à séchage.	48
Figure II. 15: Traitement thermique.	48
Figure II. 16: Préparation de polyéthylène.	49
Figure II. 17: Préparation de nanocomposite.	50
Figure II. 18: Film de nanocomposite.	50
Figure II. 19: Schéma de fonctionnement d'un MEB.	52
Figure II. 20: Photo de Microscope électronique à balayage (MEB) couplé à une analyse par spectrométrie à dispersion d'énergie (EDX).	53
Figure II. 21: Schéma représentant le principe de la spectroscopie de rayons X	54
Figure II. 22: L'image de diffractomètre DRX.	55
Figure II. 23: Illustration la loi de BRAGG.	57

Chapitre III: Résultats et Discussion

Figure III. 1: Analyse des nanoparticules MgO synthétisées avec de l'extrait <i>d'Asphodelus Tenuifolius Cav</i> par DRX	59
Figure III. 2: Analyse des nanoparticules MgO synthétisées avec de l'extrait de <i>Salvia officinalis</i> par DRX.....	59
Figure III. 3: Images MEB des nanoparticules MgO synthétisées avec de l'extrait aqueux <i>d'Asphodelus Tenuifolius Cav</i>	62
Figure III. 4: Images MEB des nanoparticules MgO synthétisées avec de l'extrait aqueux de <i>Salvia officinalis</i>	62
Figure III. 5: Spectre d'analyse EDX des nanoparticules MgO synthétisées avec de l'extrait <i>d'Asphodelus Tenuifolius Cav</i>	64
Figure III. 6: Spectre d'analyse EDX des nanoparticules MgO synthétisées avec de l'extrait de <i>Salvia officinalis</i>	65
Figure III. 7: Image illustrant le mécanisme de synthèse de MgONPS à l'aide d'un extrait végétal.....	67
Figure III. 8: Image du MEB illustrant la surface d'un échantillon de LDPE pur.....	68
Figure III. 9: Image du MEB illustrant la surface d'un échantillon de LDPE/MgONPS (1Phr).	69
Figure III. 10: Image du MEB illustrant la surface d'un échantillon de LDPE/MgONPS (2Phr).	69

Liste des tableaux

Chapitre I : Recherche Bibliographique

Tableau I. 1: Positions des éléments dans la structure MgO	23
Tableau I. 2: Un tableau montrant certaines des propriétés chimiques de MgO	23
Tableau I. 3: L'importance des polymères utilisés dans l'isolation électrique	30

Chapiter II: Partie pratique

Tableau II. 1: Tableau des produits et Matériels.	36
Tableau II. 2: Tableau des désignations de la plante ' <i>Tazai</i> ' en différentes langues.....	37
Tableau II. 3: Tableau des désignations de la plante ' <i>Sauge</i> ' en différentes langues.....	41

Chapitre III: Résultats et Discussion

Tableau III. 1: La Taille des nanoparticules de MgO synthétisées.....	60
Tableau III. 2: Les compositions chimique d'échantillon synthétisées avec de l'extrait d' <i>Asphodelus Tenuifolius Cav</i>	64
Tableau III. 3: Les compositions chimique d'échantillon synthétisées avec de l'extrait de <i>Salvia officinalis</i>	65
Tableau III. 4: Les compositions chimique de nanoparticule MgO avec des déférent l'extraits.	66
Tableau III. 5: Tests diélectriques de différents échantillons de LDPE et LDPE modifiés avec des nanoparticules de MgO.....	71

Sommaire

Dédicace

Remerciements

Résumé

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale..... 1

Références

Chapitre I : Recherche Bibliographique

I.1	Introduction.....	3
I.2	Définition.....	3
I.2.1	Nanotechnologie.....	3
I.2.2	Nanomatériaux.....	4
I.2.2.1	Classification des nanomatériaux.....	4
I.2.2.1.1	Classification par dimensions.....	4
I.2.2.1.2	Classification par familles.....	5
I.2.3	Nanocomposites.....	7
I.2.3.1	Classification des nanocomposites.....	8
I.2.3.1.1	Classification suivant la nature de la matrice.....	8
I.2.3.1.2	Autre classification des nanocomposites.....	8
I.2.3.2	Application des Nanocomposites.....	9
I.2.3.3	Préparation des Nanocomposites.....	9
I.2.3.4	Nanocomposites polymériques.....	11
I.2.4	Polymère.....	11
I.2.4.1	Définition.....	11

I.2.4.2 Type de polymère	11
I.2.4.3 polyéthylène PE.....	12
I.2.4.3.1 Définition	12
I.2.4.3.2 Structure du polyéthylène.....	13
I.2.4.3.3 Différent types du polyéthylène.....	13
I.2.4.3.4 Polyéthylène basse densité (PE-LD).....	14
I.2.4.3.5 Domaine d'utilisation du Polyéthylène (PE).....	14
I.2.5 Nanoparticules	15
I.2.5.1 Définition	15
I.2.5.2 Classification des nanoparticules selon leurs compositions chimiques.....	16
I.2.5.3 Méthode de synthèse de nanoparticule.....	17
I.2.5.4 Application des nanoparticules	19
I.2.6 Oxyde métallique	21
I.2.6.1 Oxyde de magnésium.....	21
I.2.6.1.1 Définition.....	21
I.2.6.1.2 Propriétés	22
I.2.6.1.3 Méthode de synthèse d'MgO.....	23
I.2.6.1.3.1 Méthode Sol-Gel.....	24
I.2.6.1.3.2 Sol-Gel auto-combustion.....	26
I.2.6.1.4 Application de l'oxyde de magnésium.....	27
I.2.7 Isolants pour câbles électriques à base de nanocomposite	29

Références

Chapiter II: Partie pratique

II.1	Introduction.....	33
II.2	Objective du travail.....	33
II.3	Matériels utilisés	36
II.3.1	Matériels et produits chimiques.....	36
II.3.2	Matériel végétale.....	37
II.3.2.1	Présentation la plantes de <i>Tazia</i>	37
II.3.2.1.1	Classification scientifique de cette plante.....	38
II.3.2.1.2	Description de la plante	38
II.3.2.1.3	Récolte du Matériel végétale	40
II.3.2.2	Présentation la plantes de <i>Sauge</i>	40
II.3.2.2.1	Classification scientifique de cette plante	41
II.3.2.2.2	Description de la plante.....	41
II.3.2.2.3	Récolte du Matériel végétale.....	42
II.4	Mode opératoire.....	43
II.4.1	Préparation de l'extrait des plantes (<i>Sauge</i> et <i>Tazia</i>)... ..	43
II.4.1.1	Lavage.....	43
II.4.1.2	Séchage	43
II.4.1.3	Découpage	44
II.4.1.4	Préparation de l'extrait	44
II.4.1.5	Filtration	45
II.4.2	Biosynthèse de Nanoparticules de MgONPs (Sol-Gel auto-combustion)	46
II.4.3	Préparation de polyéthylène.....	49
II.4.4	Préparation de Nanocomposite	49
II.5	Caractérisation des Nanoparticules et des Nanocomposites	50
II.5.1	Microscope électronique à balayage (MEB).....	50

II.5.1.1	Définition.....	50
II.5.1.2	Composants principaux.....	51
II.5.1.3	Principe.....	51
II.5.2	Spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX).....	53
II.5.2.1	Définition.....	53
II.5.2.2	Principe.....	53
II.5.3	Diffraction des rayons X (DRX).....	54
II.5.3.1	Définition	54
II.5.3.2	Composants principaux.....	55
II.5.3.3	Principe.....	55
II.6	Conclusion.....	57

Rèferences

Chapitre III: Résultats et Discussion

III.1	Introduction.....	58
III.2	Caractérisation des nanoparticules MgO	58
III.2.1	Diffraction des rayons X(DRX).....	58
III.2.2	Microscope électronique à balayage (MEB)	61
III.2.3	Spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX) :	63
III.3	Mécanisme réactionnel	66
III.4	Caractérisation de film de nanocomposite (MgO _{NPS} /LDPE).....	67
III.4.1	Microscope électronique à balayage (MEB)	67
III.4.2	Tests diélectriques.....	70
III.4.2.1	Définition.....	70
III.4.2.2	Rèultats.....	71

Rèferences

Conclusion Générale	74
----------------------------------	----

Introduction

Générale

Introduction générale

L'électricité est une ressource énergétique indispensable dans le monde actuel, en raison de son importance et de sa nécessité pour assurer de manière continue toutes les activités économiques, industrielles et autres [1].

Ces dernières années, la demande en électricité a connu une croissance significative, notamment en été. L'Algérie a enregistré un nouveau pic historique le 21 juillet 2024, atteignant 19 500 MW, selon les déclarations de la Société Sonelgaz - Transport - Électricité et Gestionnaire du Système. Cette forte augmentation de la demande résulte du changement des habitudes des consommateurs visant à améliorer leur qualité de vie [2].

Ainsi, cette forte consommation pose des défis en matière d'augmentation de l'intensité du courant pour fournir l'énergie nécessaire aux besoins des consommateurs. Cela peut entraîner une incapacité du câble de transport à supporter cette augmentation, provoquant des étincelles susceptibles de causer des dommages graves tant pour les citoyens que pour l'entreprise. De plus, la haute température ambiante peut affecter la qualité du polymère utilisé dans l'isolant et le câble, ce qui pourrait être un facteur supplémentaire ou additionnel conduisant à cet incendie [3].

Il est donc clair que l'isolant est l'une des causes des problèmes auxquels le câble est exposé, jouant un rôle crucial dans le passage du courant et le maintien de son intensité de manière correcte.

Les matériaux polymères sont largement acceptés par les ingénieurs en conception d'isolants électriques en raison de leurs multiples propriétés (propriétés isolantes, facilité de moulage, etc.) [4]. Cependant, ces matériaux ont une durée de vie limitée, dépendant de leur composition et des conditions d'exploitation (température, humidité, pollution, corrosion chimique,...etc.) [5].

Avec l'avancée de la technologie des nanomatériaux des isolants nanométriques ont émergé comme une solution prometteuse pour améliorer les propriétés globales des matériaux isolants à base de polymères, connus sous le nom de nanocomposites, qui sont composés de charges nanométriques avec des dimensions allant de 1 à 100 nm, dispersées dans une matrice polymère [6].

L'oxyde de magnésium nanométrique est l'un des composés inorganiques prometteurs, en raison de ses excellentes propriétés (grande surface spécifique, stabilité thermo-chimique [7],

résistance au feu [8], résistance à la corrosion, conductivité thermique élevée, faible conductivité électrique [9], capacité d'absorption de l'humidité, ... etc.) [10]. L'ajout d'une petite quantité de ces nanoparticules dans les matériaux polymères peut considérablement améliorer les propriétés électriques [11].

Pour produire ces nanoparticules, les méthodes traditionnelles ont été utilisées pendant de nombreuses années, mais des recherches ont montré que la synthèse verte est plus efficace, car elle utilise des sources naturelles (plantes, algues, bactéries, ... etc.) pour produire des particules plus fines, de manière sûre et économique. L'utilisation des extraits naturels de différentes parties des plantes est la méthode la plus couramment employée pour produire ces particules, car elle est facile à obtenir et à utiliser [12,13].

La méthode sol-gel par auto-combustion est une méthode facile, rapide et moins coûteuse utilisant la chimie verte pour produire des poudres d'oxydes métalliques pures et homogènes. Cette méthode repose sur des réactions d'oxydation/réduction, utilisant des nitrates métalliques comme agent oxydant et du carburant organique comme agent réducteur (les extraits de plantes agissent comme substituts du carburant organique). Cette méthode se distingue par son approvisionnement automatique en énergie sous forme de chaleur [14,15].

Dans cette étude, nous fabriquons un nanocomposite polymère à base d'oxyde de magnésium pour améliorer l'efficacité de l'isolant des câbles électriques en utilisant la synthèse verte par la méthode sol-gel par auto-combustion.

Pour mener à bien cette étude, cette recherche est divisée en trois chapitres :

* Chapitre 1 : Il s'agit d'une revue bibliographique divisée en 5 parties. La première partie traite de la nanotechnologie et des nanomatériaux en général, la deuxième des nanocomposites, la troisième partie est consacrée aux polymères et au polyéthylène et ses types, la quatrième partie concerne les nanoparticules et leurs méthodes de synthèse, et la cinquième partie traite des isolants pour câbles électriques.

* Chapitre 2 : Il est consacré à la partie expérimentale et aux méthodes et techniques utilisées dans cette étude.

* Chapitre 3 : Il présente les résultats liés à la préparation des nanocomposites et aux tests électriques des câbles, ainsi que leur discussion.

Enfin, cette étude se termine par une conclusion générale qui résume les principaux résultats obtenus

Références

- [1] وسيلة, الطاقة الكهربائية في الجزائر: محاولة التوقع بالإنتاج دراسة حالة الشركة الوطنية للكهرباء و بوفنش الغاز. 2018.
- [2] للمرة الخامسة في أسبوع. سونلغاز تسجل رقما قياسيا تاريخي جديد في استهلاك الكهرباء. " 21 يوليو 2024. " المصدر
- [3] Betie, A., Contribution à l'amélioration de l'interprétation des techniques de diagnostic des transformateurs de puissance par Spectroscopie diélectrique. 2012: Université du Québec à Chicoutimi.
- [4] Paramane, A.S. and K.S. Kumar, A review on nanocomposite based electrical insulations. Transactions on electrical and electronic materials, 2016. 17(5): p. 239-251.
- [5] Douar, A., Recherche de matériaux isolants pour la conception d'une nouvelle génération de connecteurs électriques haute tension: influence de la pollution sur les phénomènes de décharges partielles du contournement et de claquage. 2014, Ecole Centrale de Lyon.
- [6] Adnan, M., et al., Polypropylene-based nanocomposites for HVDC cable insulation. IET Nanodielectrics, 2021. 4(3): p. 84-97.
- [7] Vidaarth, T.N., et al., Surface chemistry of phytochemical enriched MgO nanoparticles for antibacterial, antioxidant, and textile dye degradation applications. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 2024. 448: p. 115349.
- [8] Perera, H., et al., Magnesium oxide (MgO) nanoadsorbents in wastewater treatment: A comprehensive review. Journal of Magnesium and Alloys, 2024.
- [9] Nguyen, N.T.T., et al., A critical review on the bio-mediated green synthesis and multiple applications of magnesium oxide nanoparticles. Chemosphere, 2023. 312: p. 137301.
- [10] Fernandes, M., et al., Recent applications of magnesium oxide (MgO) nanoparticles in various domains. Advanced Materials Letters, 2020. 11(8): p. 1-10.
- [11] Peng, S., et al., Influence of functionalized MgO nanoparticles on electrical properties of polyethylene nanocomposites. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2015. 22(3): p. 1512-1519.
- [12] Patil, P.V., et al., Terminalia bellirica (Gaertn.) Roxb. extract-mediated green synthesis of magnesium oxide nanoparticles for multifunctional applications. Plant Nano Biology, 2024. 8: p. 100069.

- [13] Hii, Y.S., J. Jeevanandam, and Y.S. Chan, Plant mediated green synthesis and nanoencapsulation of MgO nanoparticle from *Calotropis gigantea*: Characterisation and kinetic release studies. *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, 2018. 48(12): p. 620-631.
- [14] Tharani, K., et al., Fabrication of Magnesium oxide nanoparticles using combustion method for a biological and environmental cause. *Chemical Physics Letters*, 2021. 763: p. 138216.
- [15] Tagreed M, Al-Saadi, et al , Preparation and Characterization Particles of magnesium oxide nanoparticles using different plant extracts , université baghdad , 2016.

Chapitre I:

Recherche Bibliographique

I.1 Introduction

Les nanotechnologies a provoqué une grande révolution dans les industries à travers le monde [1].de nombreux chercheurs consacrant leur temps au développement de nouvelles applications. En effet, elle améliore la fonction et l'efficacité des éléments, ce qui permet d'améliorer les propriétés et de réduire les coûts de Synthèse [2]. Ainsi, l'étude des nanocomposites est devenue de plus en plus importante car elle permet de développer de nouveaux matériaux pour des applications avancées et des opportunités commerciales dans divers secteurs industriels tels que l'électricité, l'électronique, etc., qui se caractérisent par un niveau élevé d'intégration et de connexion. De plus, ces matériaux sont considérés comme respectueux de l'environnement. Parmi les nombreux types de nanocomposites, les nanomatériaux à base de polymères sont particulièrement importants en raison de leurs caractéristiques uniques, car ils combinent un polymère avec un matériau ayant une, Dimension à l'échelle nanométrique tels que les oxydes métalliques ou les argiles...etc [3].

I.2 Définition

I.2.1 Nanotechnologie

La technologie a été définie comme un domaine de recherche interdisciplinaire [4], allant de l'ingénierie médicale à la biologie, visant à exploiter les propriétés présentes à l'échelle nanométrique par manipulation de la matière (compréhension, mesure, assemblage, contrôle, fabrication) [5] à l'échelle atomique et moléculaire [6].

La définition la plus large de la technologie des nanosciences englobe tous les phénomènes et processus qui se produisent à l'échelle nanométrique, ce qui donne lieu à l'émergence de techniques [7] et d'innovations [4] permettant de concevoir, caractériser, produire et appliquer des structures, dispositifs, systèmes et machines en contrôlant la forme et la taille de ces matériaux. En fin de compte, la nanotechnologie des nanosest considérée comme une technologie avancée capable de transformer des théories en applications utiles dans un large éventail de domaines [5], tout en tenant compte de la durabilité environnementale [4] et des coûts de fabrication [2].

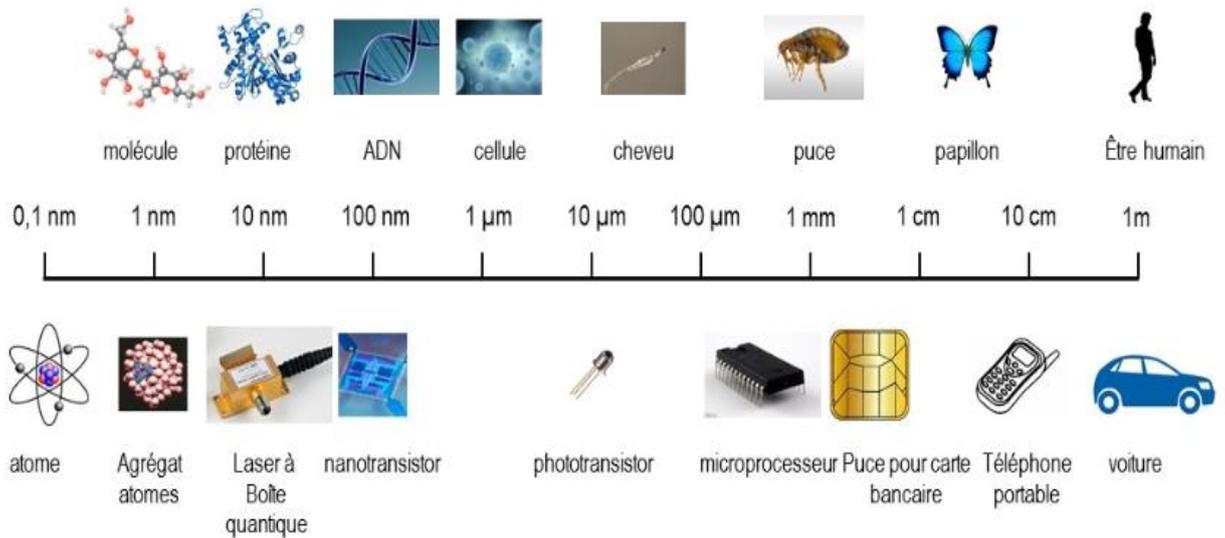


Figure I. 1: Échelle nanométrique [E1].

I.2.2 Nanomatériaux

C'est une matière solide, naturelle ou fabriquée, qui possède une structure interne ou de surface avec trois, deux ou une dimension à l'échelle nanométrique, allant de 1 à 100 nm. Les propriétés physiques et chimiques des nanomatériaux dépendent de leur composition précise, de leur forme et de leur taille. La production de nanomatériaux conduit à des caractéristiques structurelles et fonctionnelles nouvelles et spécifiques par rapport aux molécules de base ou aux matériaux de plus grande taille. L'une de leurs caractéristiques est la grande surface spécifique [8-13].

I.2.2.1 Classification des nanomatériaux

Les nanomatériaux prennent de nombreuses formes. Chacune d'entre elles a une composition, des propriétés et des applications spécifiques, classées en fonction de leurs dimensions dans l'espace [14].

I.2.2.1.1 Classification par dimensions

- **Les nanomatériaux de dimension zéro (0D) :**

Les matériaux de dimension zéro (0D) sont classifiés comme des matériaux ayant toutes leurs dimensions externes à l'échelle nanométrique, comme les points quantiques [14,15].

- **Les nanomatériaux unidimensionnels (1D) :**

Les matériaux unidimensionnels (1D) sont classifiés comme des matériaux ayant deux dimensions externes distinctes à l'échelle nanométrique, tels que les nanotubes, les nanofils, les nanofibres, ...etc [15,16].

- **Les nanomatériaux bidimensionnels (2D) :**

Les matériaux bidimensionnels (2D) sont classifiés comme des matériaux ayant une seule dimension externe à l'échelle nanométrique [15], caractérisés par leur faible épaisseur et leurs couches minces, tels que les nanofilms, les couches minces, les nanorevêtements...etc [16].

- **Les nanomatériaux tridimensionnels (3D) :**

Les matériaux tridimensionnels (3D) sont classifiés comme des matériaux ayant des caractéristiques internes à l'échelle nanométrique, mais dont les dimensions externes dépassent 100 nm, tels que les nanocomposites, ...etc [15,16].

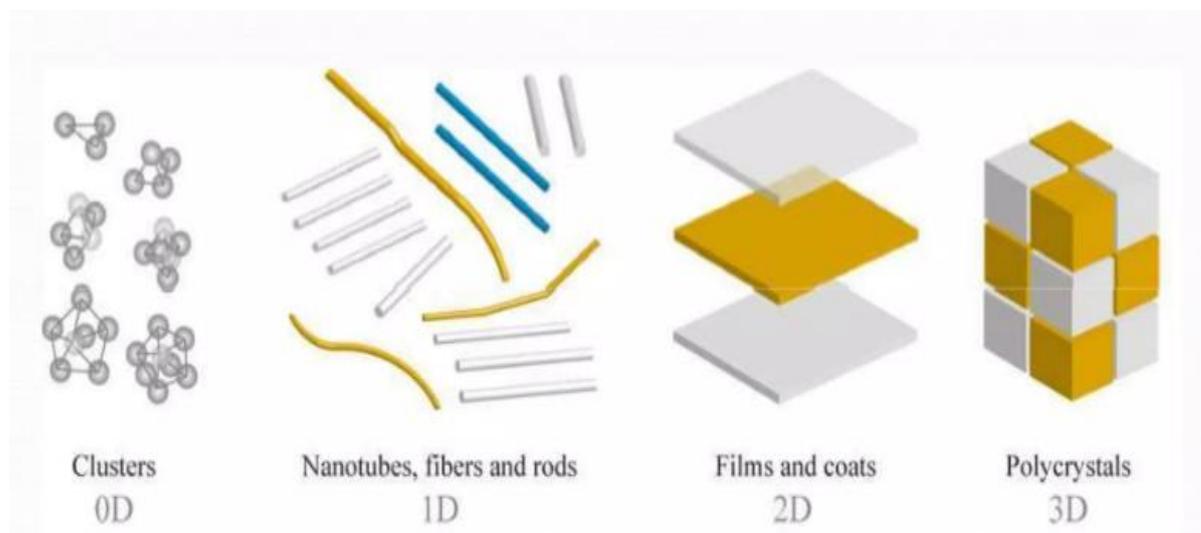


Figure I. 2: Classification des nanomatériaux en fonction de la dimension [E2].

I.2.2.1.2 Classification par familles

Il existe deux types de nanomatériaux :

a) **nano objets :**

Ce sont des matériaux ayant une, deux ou trois dimensions externes [9] à l'échelle nanométrique [17].

- **Nanoparticule :**

C'est un agglomérat de milliers d'atomes formant une particule [17] dont les trois dimensions sont à l'échelle nanométrique [9].

- **Nanofibres - nanotubes - nanofils, etc...**

Ce sont des matériaux ayant deux dimensions externes inférieures à 100 nm [9].

- **Films minces – nano-feuillets – nanoplats, etc....**

Ce sont des matériaux ayant une seule dimension externe inférieure à 100 nm [9].

b) matériaux nanostructurés :

Ce sont des matériaux ayant une structure interne ou de surface à l'échelle nanométrique [17].

- **Agrégats et agglomérats de nano-objets :**

Il est important de faire la distinction entre agglomérats et agrégats :

Agglomérats :

Dans les agglomérats, les particules sont faiblement liées entre elles. Les surfaces spécifiques de chaque composant sont équivalentes à la surface externe [9].

Agrégat :

Dans les agrégats, les particules sont fortement liées entre elles. Les surfaces spécifiques de chaque composant peuvent être plus grandes que la surface externe [9].

- **Nanocomposite :**

C'est un matériau solide composé d'un mélange de deux matériaux ou plus ayant une ou plusieurs structures à l'échelle nanométrique [9], ce qui peut améliorer les propriétés du matériau [17].

- **Nano poreux :**

Ce sont des matériaux solides contenant des pores et des cavités d'au moins une dimension à l'échelle nanométrique, pouvant contenir un gaz ou un liquide [9,17].

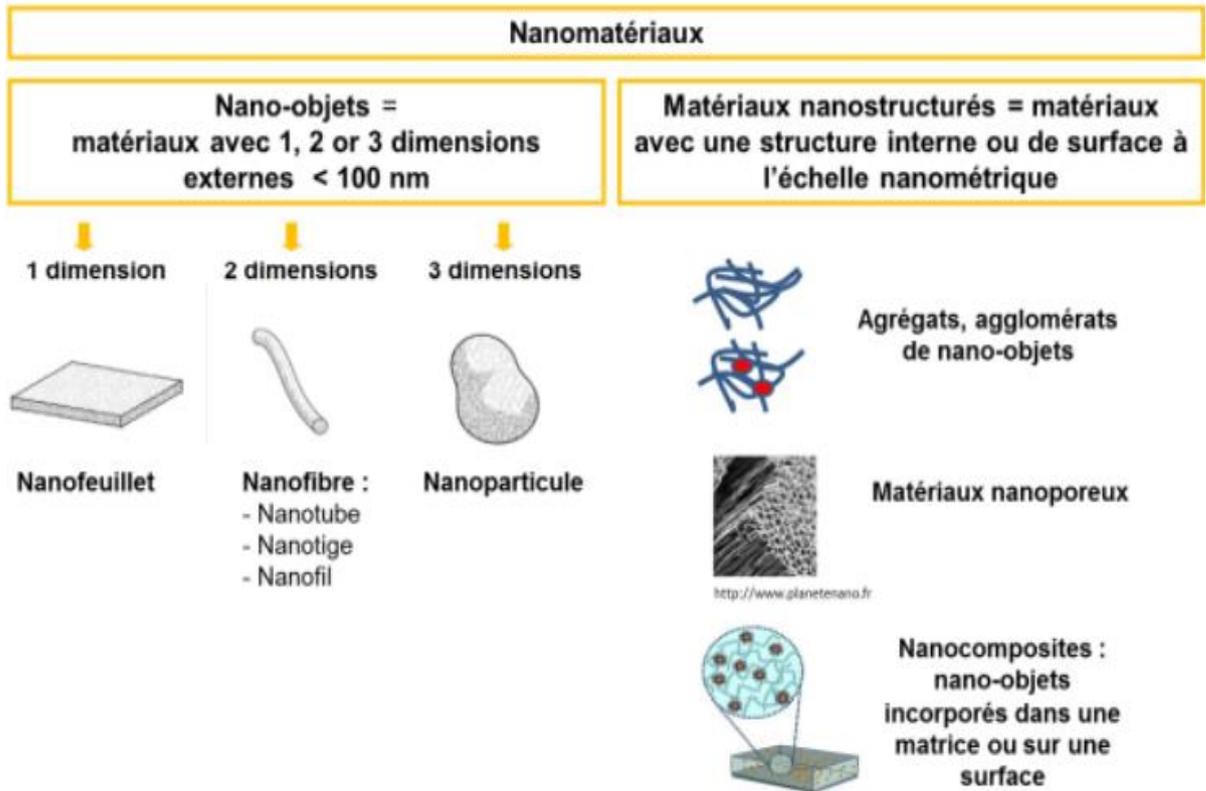


Figure I. 3: Familles des nanomatériaux [18].

I.2.3 Nanocomposites

Les nanocomposites sont constitués de différents matériaux fusionnés de telle sorte qu'au moins un de ces matériaux a une taille nanométrique et est appelé nanocharge [19].

Les nanocharges sont incorporées dans une matrice céramique, métallique ou polymère afin d'obtenir des propriétés améliorées ou nouvelles qu'aucun composant ne possède seul [20,21].

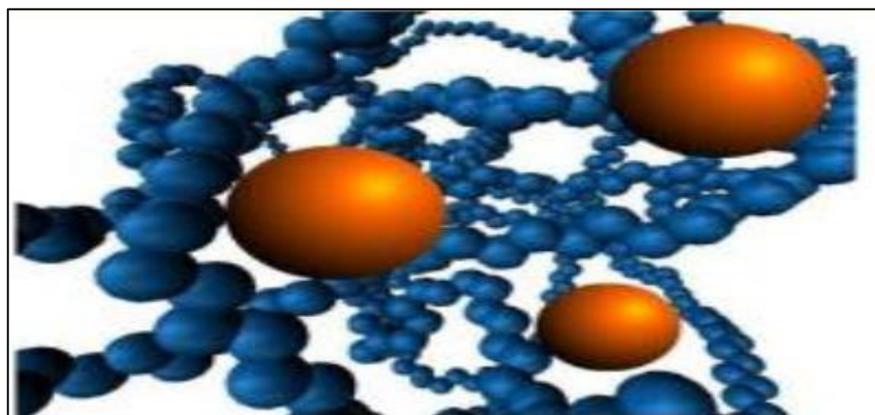


Figure I. 4: Nanocomposites [22].

I.2.3.1 Classification des nanocomposites

I.2.3.1.1 Classification suivant la nature de la matrice

Classiquement, les nanocomposites sont classés en fonction de la nature de la matrice, selon un ordre croissant de température d'utilisation [23].

a) Composites à matrice polymère :

Ce sont des matériaux composés d'une matrice polymère dans laquelle sont dispersées des nanoparticules appelées charges. Cependant, les concentrations massiques en nanocharges sont très faibles (entre 1 et 5 %). Ces composés organiques ne peuvent être utilisés que dans une plage de température de 200 à 300°C [23,24].

b) Composites à matrice métallique :

Ces composites sont constitués d'une matrice minérale renforcée de nanoparticules. Ils sont utilisés dans des applications à haute température jusqu'à 600 °C telles que les pièces de moteurs d'avion, les freins,... etc [23, 25].

c) Composites à matrice céramique :

Les composites à matrice céramique sont utilisés dans des applications nécessitant des températures élevées pouvant atteindre 1000 °C, telles que les oxydes, les carbures et les nitrures. L'utilisation des matériaux céramiques est particulièrement déterminée par leur résistance à la rupture et leur résistance à la fatigue et aux chocs thermiques [23].

I.2.3.1.2 Autre classification des nanocomposites

Les nanocomposites peuvent être classés en deux catégories : les nanocomposites non à base de polymère et les nanocomposites à base de polymère [26].

a) les nanocomposites non à base de polymère : Les nanocomposites non polymères sont des composites composés d'une matrice inorganique et d'une charge inorganique présentant au moins une dimension nanométrique [26].

b) les nanocomposites à base de polymère : Les nanocomposites à base de polymère sont des composites comprenant une matrice polymère et une charge ayant au moins une dimension inférieure à 100 [26].

I.2.3.2 Application des Nanocomposites

Bien que les nanocomposites aient un grand potentiel dans la recherche, leur transition vers des applications commerciales se fait lentement. Cependant, certains domaines commencent à montrer des applications qui contribuent à accélérer ce processus, notamment dans les industries automobiles, d'emballage, et de lutte contre les incendies. La plupart de ces applications sont liées aux matériaux composites à base de polymères, où les processus de fabrication sont largement contrôlés et les coûts sont bas [23]. Ainsi, les composites polymères ont joué un rôle important dans une variété d'applications telles que les fournitures de construction, les batteries, les matériaux de transfert thermique, l'équipement aéronautique, et la protection contre les interférences électromagnétiques [27]. Ils sont également largement utilisés dans l'industrie électrique et électronique [23].

I.2.3.3 Préparation des Nanocomposites

Il existe plusieurs méthodes pour préparer des nanocomposites :

- **Mélange à l'état fondu** : Le polymère et les nanomatériaux sont mélangés sous l'influence de la chaleur. Le principal avantage de cette méthode est qu'elle n'implique pas l'utilisation de solvants et qu'elle permet l'application des techniques traditionnelles de transformation des polymères. Ce processus a généralement la cote auprès des industriels en raison de son coût relativement bas en comparaison avec d'autres processus et en raison également de son côté écologique [28].

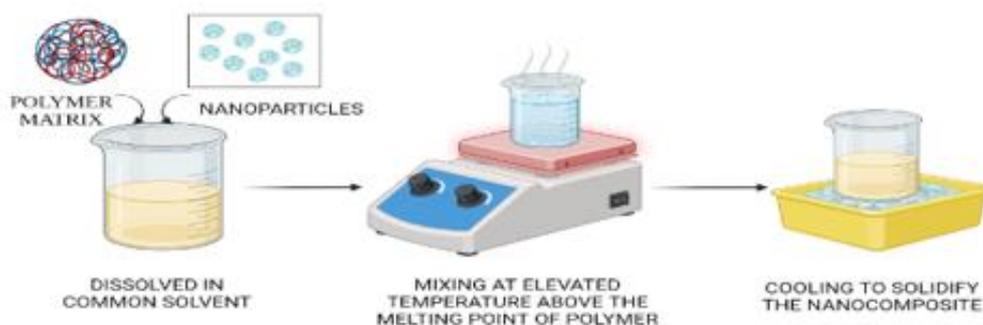


Figure I. 5: Préparation de nanocomposite par méthode de mélange à l'état fondu [E3].

- **Mélange de solutions** : Les nanoparticules sont d'abord dispersées dans un solvant organique dans lequel le polymère a été préalablement dissous. Le nanocomposite est obtenu par évaporation du solvant [28].

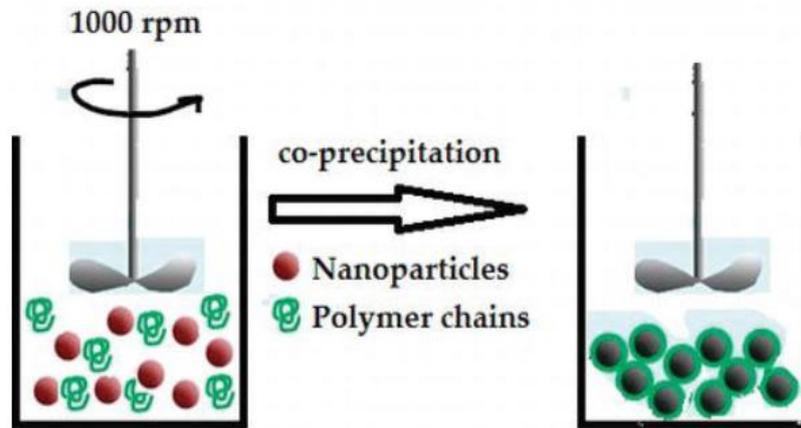


Figure I.6: Préparation de nanocomposite par méthode de Mélange de solutions [29].

- **Polymérisation In-Situ** : les nanoparticules sont dispersées dans les monomères, avec ou sans solvant, puis la réaction de polymérisation est amorcée pour obtenir le nanocomposite. La polymérisation in situ est avantageuse par rapport aux deux autres techniques en raison de la préparation des nanocomposites polymère-charge avec une fraction de charge élevée. En outre, grâce aux monomères de taille nanométrique, cette méthode garantit une dispersion uniforme de la charge dans la chaîne polymère [28].

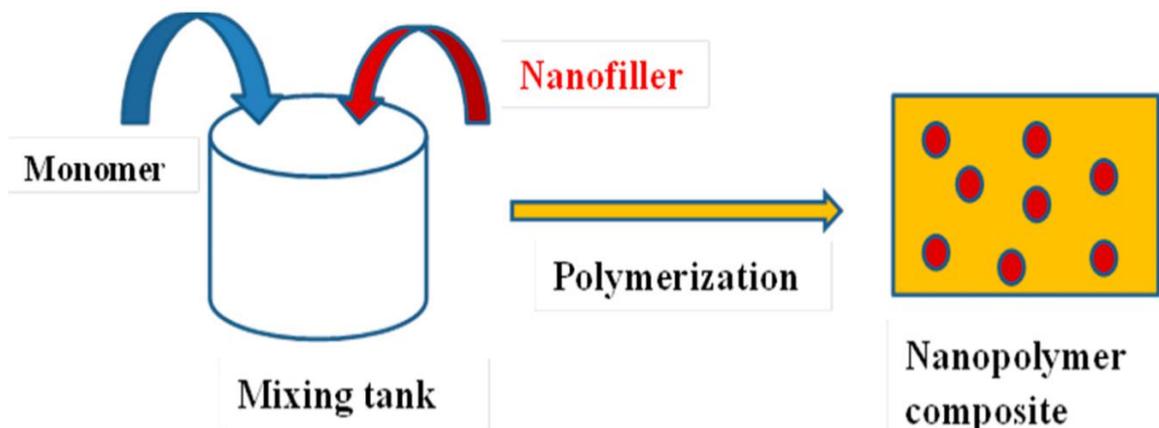


Figure I. 7: Polymérisation In-Situ [30].

I.2.3.4 Nanocomposites polymériques

Au cours des dernières années, les nanocomposites polymères ont attiré une grande attention en tant que nouvelle classe de matériaux aux propriétés remarquables. Ces propriétés comprennent des caractéristiques mécaniques améliorées, une meilleure capacité de barrière, une stabilité thermique accrue, des propriétés ignifuges et un module de flexibilité élevé. Ces avantages sont principalement dus à l'interaction forte entre la matrice polymère et le renforcement nanométrique. Ces caractéristiques permettent la fabrication de polymères légers, polyvalents, faciles à former et multifonctionnels [28 ,31].

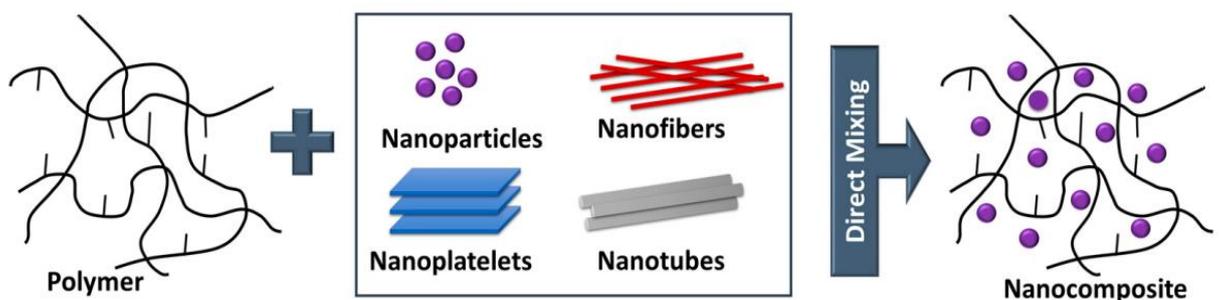


Figure I. 8: Préparation de nanocomposites polymériques [32].

I.2.4 Polymères

I.2.4.1 Définition

Les polymères sont des matériaux moléculaires de grande taille produits par l'assemblage de matières premières appelées monomères. Les monomères sont liés ensemble par des liaisons covalentes pour former une chaîne polymère, Il est composé principalement de carbone et d'hydrogène [33].

I.2.4.2 Type de polymère

a) Naturel :

Polymères naturels ou polymères à base de plantes obtenus à partir de la nature ou par les organismes vivants, comme les protéines végétales ou animales (amidon et laine) [34].

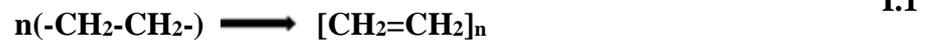
b) Synthétique :

Il est obtenu à partir de monomères par réactions chimiques en laboratoire (par polymérisation macromoléculaire de monomères). Il existe une large gamme de ces polymères, dont (le polyéthylène, le polypropylène, le polyuréthane) [34,35]

Parmi les méthodes de fabrication des polymères, nous avons :

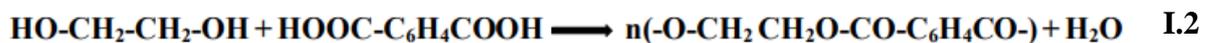
- **La polyaddition** : est une réaction chimique dans laquelle les monomères se lient les uns aux autres de manière séquentielle (un à un) sans produire de petites molécules comme sous-produits [33].

Exemple : polyéthylène.



- **La polycondensation** : est une réaction chimique impliquant la réaction de monomères pour produire des polymères, avec libération de petites molécules comme sous-produits, par exemple, l'eau [33].

Exemple : Polyéthylène Terephthalate, (PET).



I.2.4.3 polyéthylène PE

I.2.4.3.1 Définition

Le polyéthylène est un polymère thermoplastique semi-cristallin soluble dans certains solvants, appartenant à la famille des polyoléfinés [36]. Le polyéthylène présente des propriétés remarquables, étant à la fois résistant et flexible, avec une sensation cireuse. De plus, il est résistant aux produits chimiques et aux champignons, et possède d'excellentes propriétés d'isolation électrique. Le polyéthylène a rapidement été utilisé comme isolant pour les câbles sous-marins, ainsi que comme isolant dans les équipements radar en cours de développement [37].



Figure I. 9: Granulés de polyéthylène [38].

I.2.4.3.2 Structure du polyéthylène

Le polyéthylène est obtenu par polymérisation de l'éthylène (C_2H_4), qui a un poids moléculaire de 28 g/mol [37]. Il est composé d'une longue chaîne de carbone où chaque atome de carbone est lié à une paire d'atomes d'hydrogène. Les deux extrémités de cette chaîne carbonée contiennent un groupe méthyle. Ce polymère est considéré comme le plus simple en termes de structure parmi tous les polymères [36].

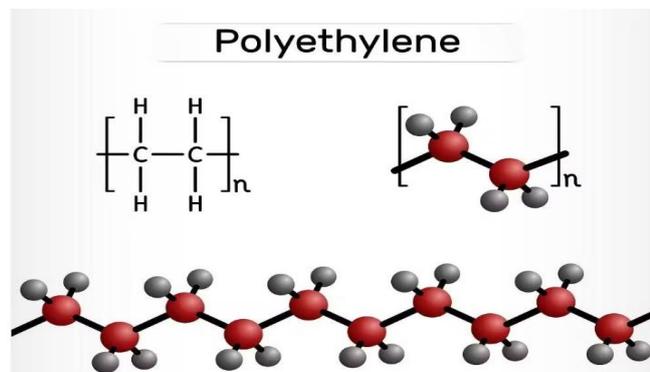


Figure I. 10: Structure chimique du polyéthylène [E4].

I.2.4.3.3 Différents types du polyéthylène

Il existe différentes classifications pour les types de polyéthylène basées sur leur densité, dépendant du nombre et de la longueur des ramifications dans les chaînes moléculaires, on peut citer [39] :

- ✓ Polyéthylène à haute densité (PE-HD).
- ✓ Polyéthylène à masse molaire très élevée (PE-UHPM) : polyéthylène à masse
- ✓ (UHMWPE, ultrahigh molecular weight polyethylene).

- ✓ Polyéthylène réticulé (PE-R).
- ✓ PE-RHD: Polyéthylène réticulé à haute densité (HDXLPE, high density crosslinked polyethylene).
- ✓ PE-MD : polyéthylène à moyenne densité (MDPE, medium-density polyethylene).
- ✓ PE-TBD: polyéthylène à très basse densité (VLDPE, very low-density polyethylene).

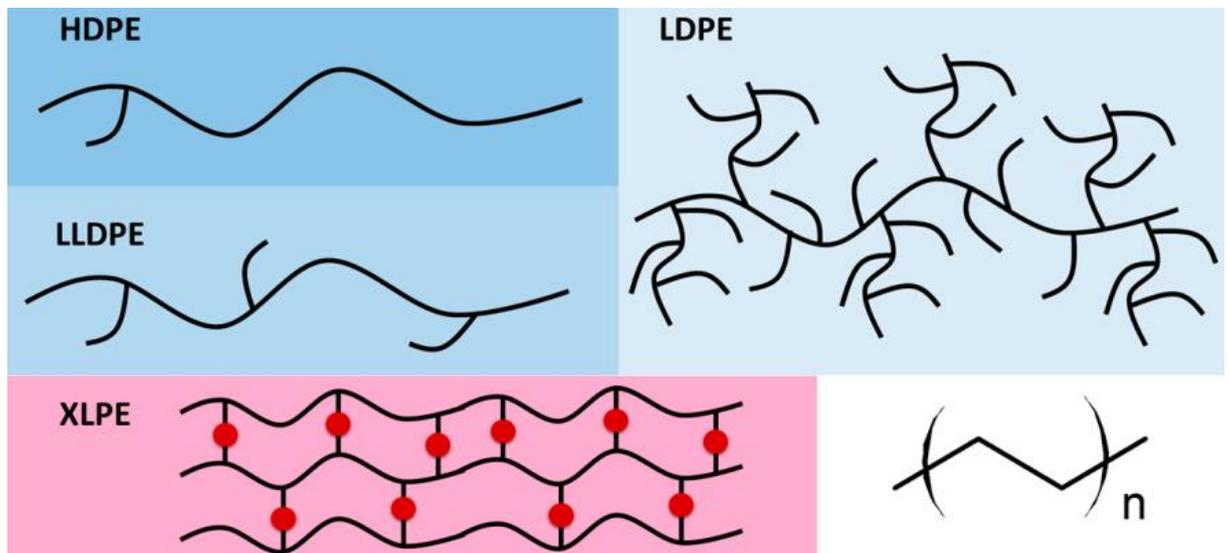


Figure I. 11: Représentation schématique des structures de différents types de PE [32].

I.2.4.3.4 Polyéthylène basse densité (PE-LD)

(PE-LD) est un polymère thermoplastique obtenu par polymérisation radicalaire de l'éthylène (ou éthène) sous haute pression (supérieure à 50 MPa) à environ 300 °C [40]. Le PE-LD est disponible en formes transparentes ou opaques, il est relativement souple et solide. Le PE-LD est largement utilisé dans la fabrication de nombreux contenants, bouteilles de distribution, bouteilles de lavage, tubes, sacs en plastique pour des composants informatiques et divers équipements de laboratoire. Son utilisation la plus répandue est dans les sacs en plastique [41].

I.2.4.3.5 Domaines d'utilisation du Polyéthylène (PE)

Les propriétés d'isolation électrique du polyéthylène en ont fait un matériau de choix dans la fabrication de câbles pour la communication sous-marine [41]. Il s'agit d'un polymère synthétique largement utilisé, notamment dans la fabrication de la moitié des emballages plastiques tels que les films alimentaires, les applications agricoles, les sacs plastiques, ... etc.

- **Les principales applications du HDPE** : sont les produits solides tels que les bouteilles, les flacons, les feuilles d'eau, les réservoirs de carburant pour voitures, etc. [41]
- **Quant aux principales applications du LDPE** : elles se trouvent dans les produits flexibles tels que les sacs, les films, les sacs poubelle, les contenants souples, etc [41].

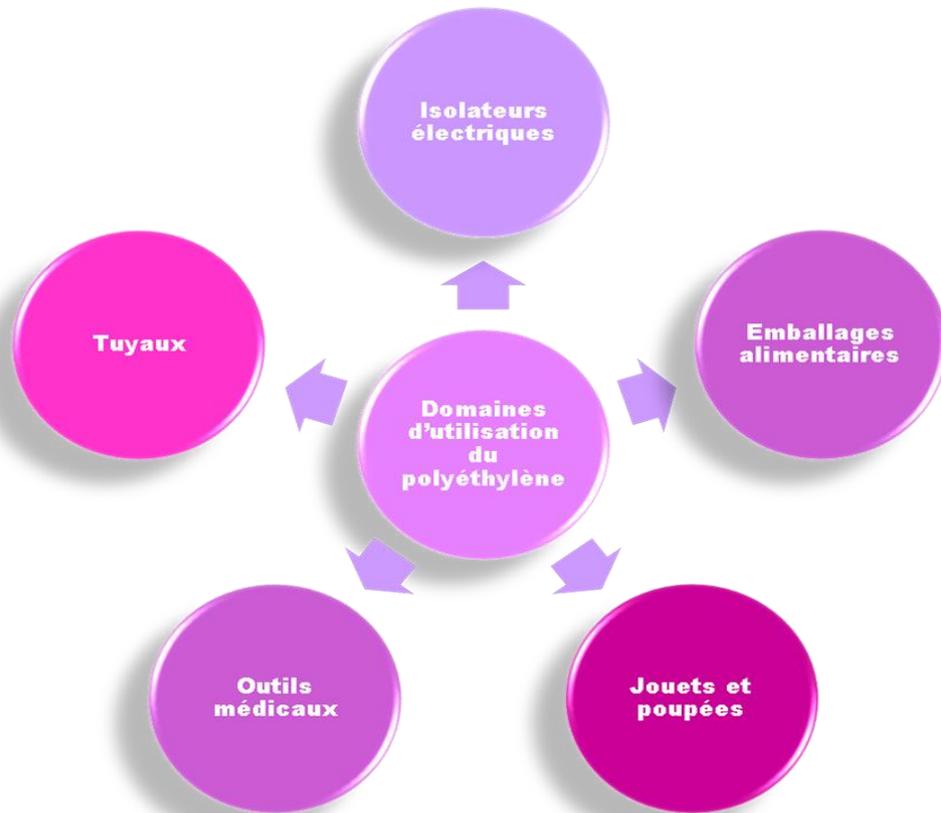


Figure I. 12: Quelques domaines d'utilisation du polyéthylène.

I.2.5 Nanoparticules

I.2.5.1 Définition

Les nanoparticules sont considérées comme l'élément fondamental de la nanotechnologie. Ce sont de petites particules [42] avec des zéro dimensions [43] de 1 à 100 nm. Elles se forment à partir d'un ensemble d'atomes, allant de quelques centaines à plusieurs milliers [44], et possèdent des propriétés physiques et chimiques améliorées grâce à leur grande surface spécifique. Leur petite taille [42] leur confère une large gamme d'applications [45]. Elles se présentent sous diverses formes, tailles et structures, pouvant être sphériques, cylindriques, tubulaires, planes, etc... [46].

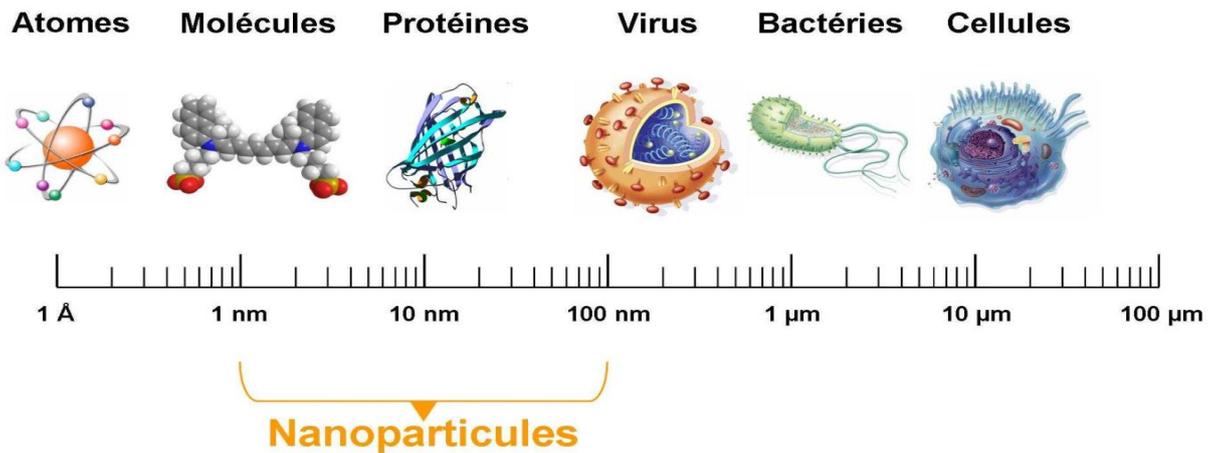


Figure I. 13: Comparaison à l'échelle nanoparticules entre les structures chimiques et biologiques [47].

I.2.5.2 Classification des nanoparticules selon leurs compositions chimiques

Les nanoparticules sont principalement classées en différentes catégories en fonction de leur forme, taille,...etc. Elles peuvent être des nanoparticules organiques, inorganiques, ou à base de carbone [42].

- **Organique :**

Les nanoparticules organiques ou polymériques sont des particules solides caractérisées par leur non-toxicité, leur biodégradabilité, leur sensibilité aux radiations thermiques, électriques et magnétiques, ainsi que leur coût économique et leur respect de l'environnement. Elles sont également considérées comme un choix idéal pour la livraison de médicaments [42,48].

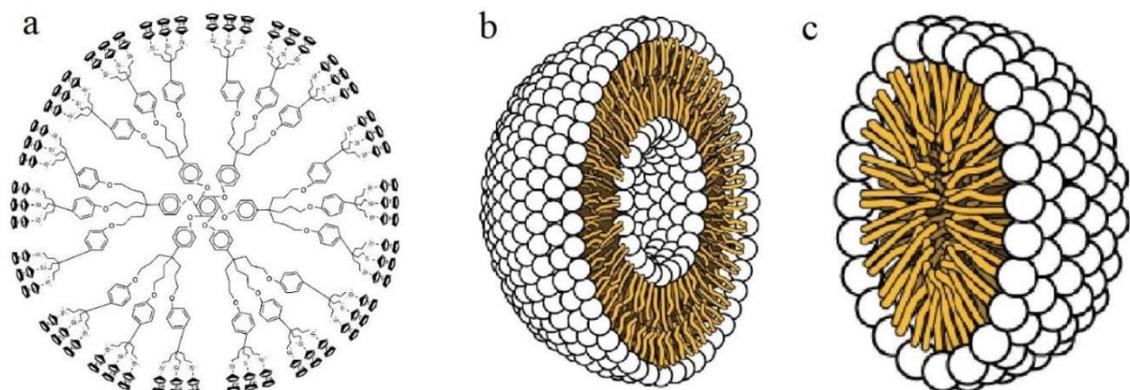


Figure I. 14: Nanoparticules organiques : a - Dendrimères, b - Liposomes et c- micelles [46].

- **Inorganique :**

Les particules ne contenant pas de carbone, caractérisées par leur non-toxicité et leur stabilité Ce sont des particules accumulées [48]. Elles se classifient en particules métalliques (Cu, Fe, Ag, ...etc.) et en oxydes métalliques [42] (MgO, ZnO, NiO) [49].



Figure I. 15: Nanoparticules inorganiques.

- **À base de carbone :**

Ce sont des particules basées sur le carbone, pouvant se présenter sous diverses formes telles que le noir de carbone, les nanotubes, les sphères, etc... [42]

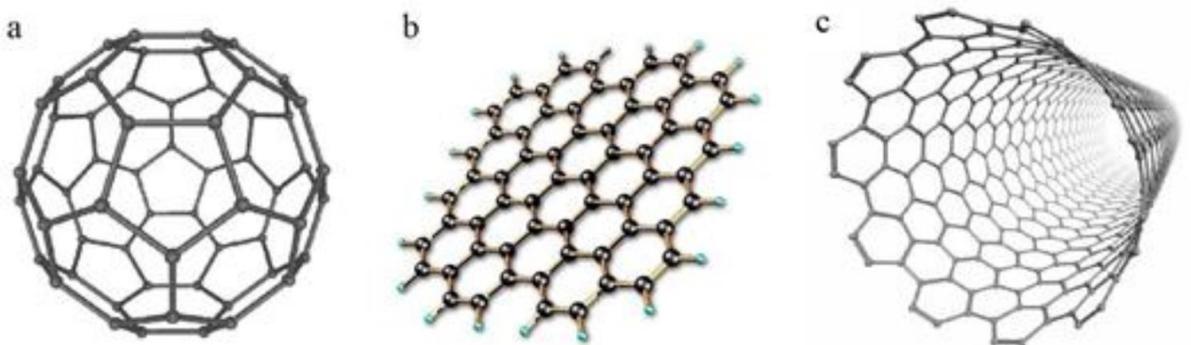


Figure I. 16: Nanoparticules à base de carbone : a-fullerènes, b-graphène, c-nanotubes de carbone [46].

I.2.5.3 Méthode de synthèse de nanoparticule

Il existe deux méthodes connues pour la préparation des nanoparticules [6] :

- **L'approche ascendante « bottom-up »** : La méthode d'approche ascendante, ou méthode de construction [46], consiste à former des nanoparticules à partir de molécules plus

petites [50]. Les atomes se regroupent pour former des blocs, puis des nanoparticules. Les atomes peuvent être sous forme de gaz ou de liquide et passent par des transformations atomiques ou une condensation moléculaire [6].

- **L'approche descendante « top-down »** : La méthode d'approche descendante, ou méthode de destruction [46], consiste à convertir un matériau massif en particules de petite taille [50] en appliquant une force externe à un matériau solide, telle qu'un choc, une pression, un frottement, etc., ce qui conduit à sa fragmentation en particules plus petites [6].

Les méthodes de synthèse des nanoparticules se divisent généralement en trois catégories : physiques, chimiques et biologiques [51].

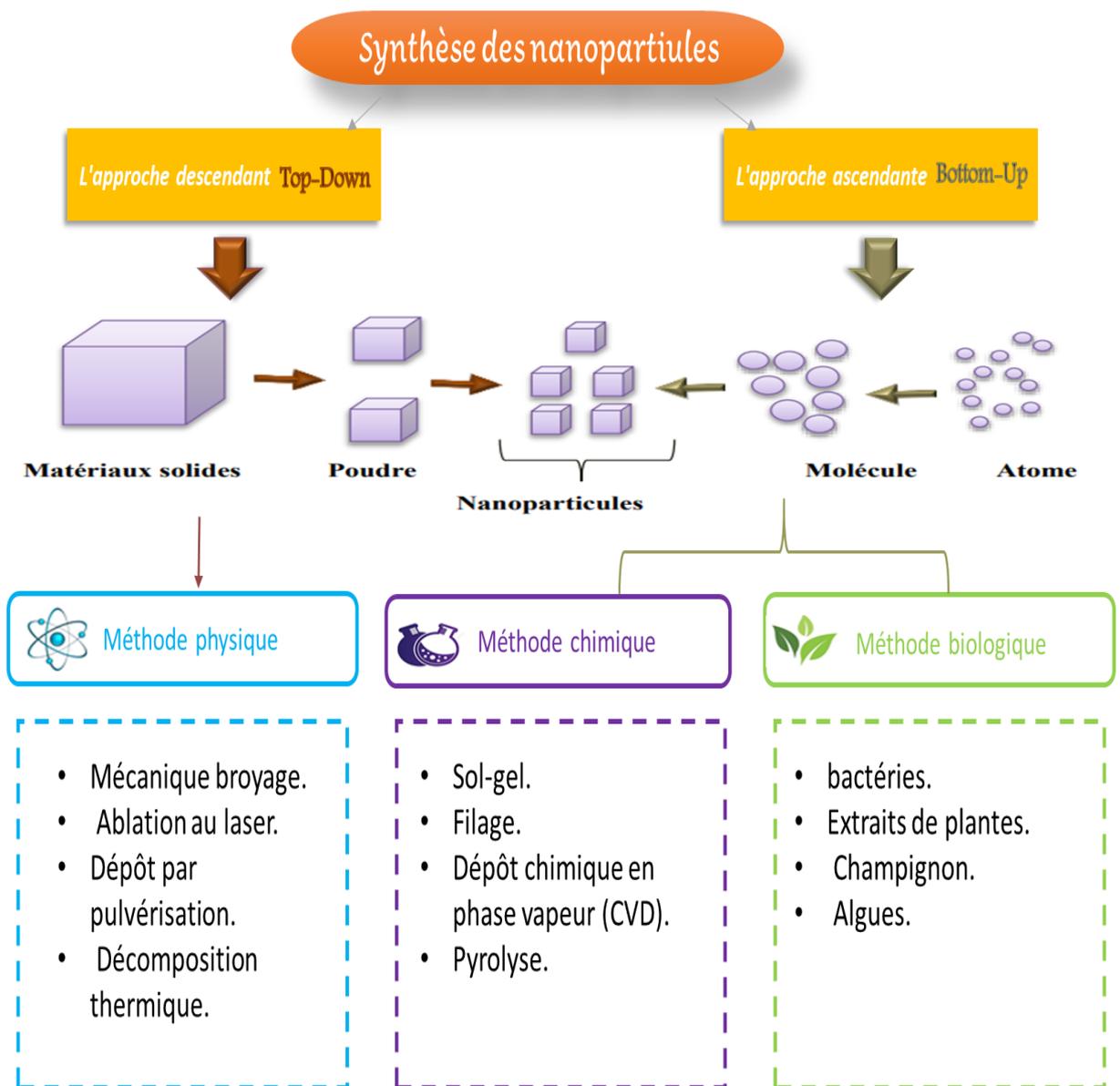


Figure I. 17: Méthode de synthèse de nanoparticule [46,52].

I.2.5.4 Application des nanoparticules

Les nanoparticules possèdent des propriétés physiques, chimiques, biologiques, mécaniques, électriques et magnétiques uniques [46], ce qui leur confère de nombreuses applications dans divers secteurs industriels [53].



Figure I. 18: Le schéma suivant illustre certaines de leurs applications dans différents domaines [54,55].

I.2.6 Oxyde métallique

Les oxydes métalliques sont considérés comme l'un des composés naturels les plus stables, formés par la réaction entre un oxygène électronégatif et un métal électropositif. Ils se caractérisent par leurs liaisons fortes [56]. L'objectif de leur synthèse est de modifier les propriétés des particules métalliques elles-mêmes afin d'augmenter leur réactivité, leur efficacité, ...etc [48]. Quelques exemples de nanoparticules d'oxydes métalliques : MgO, ZnO, CuO, NiO [49].



I.2.6.1 Oxyde de magnésium

I.2.6.1.1 Définition

L'oxyde de magnésium est un des oxydes métalliques de base [57]. Il s'agit d'une substance solide [58] sous forme de poudre blanche, inodore et non toxique. Il se distingue par sa haute pureté, sa solidité, son point de fusion élevé [59], sa grande surface spécifique [60], ...etc, c'est un matériau à faible coût [57].



Figure I. 19 : Forme du poudre MgO [E5] [61].

I.2.6.1.2 Propriétés

- **Propriétés Structure :**

L'oxyde de magnésium est un matériau hautement ionique et cristallin avec une unité cubique à faces centrées [62].

Il se caractérise par une structure chimique simple, cristallisant dans une structure cubique de type NaCl, similaire à celle du chlorure de sodium [58] avec un paramètre de maille de 4,21 Å [63].

La liaison chimique dans le MgO repose principalement sur la liaison ionique, avec les ions Mg^{2+} et O^{2-} étant fortement liés par des interactions électrostatiques, où les ions Mg^{2+} attirent les ions O^{2-} [63].

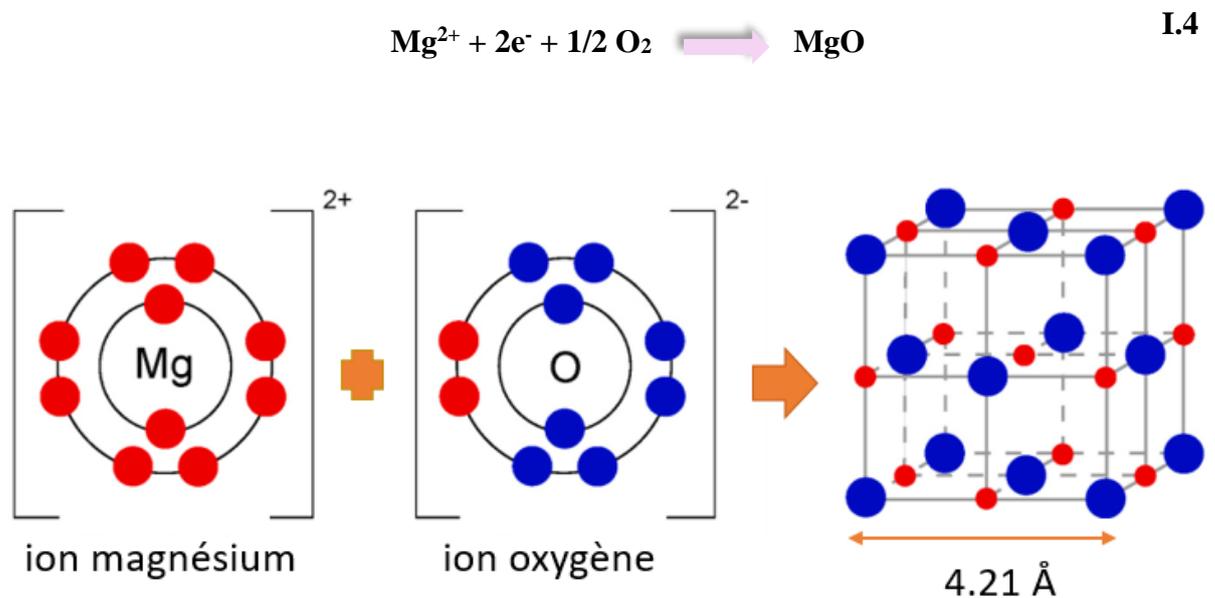


Figure I. 20: Configuration électronique des ions Mg^{2+} et O^{2-} et structure cristalline de MgO [63].

La base est formée par un atome d'Oxygène O et un atome de Magnésium Mg séparés par une demi diagonale de cube [63] de sorte que chaque atome de Mg est entouré par six atomes de O et vice versa.

Les positions des atomes de Mg et d'O dans le réseau cristallin du MgO sont présentées dans le tableau suivant [61].

Tableaux I. 1: Positions des éléments dans la structure MgO [61].

Mg	(000)	(0 1/2 1/2)	(1/2 0 1/2)	(1/2 1/2 0)
O	(1/2 1/2 1/2)	(1/2 0 0)	(0 1/2 0)	(0 0 1/2)

- **Propriétés chimique :**

Tableau I. 2: Un tableau montrant certaines des propriétés chimiques de MgO

Propriétés	La valeur
Masse molaire	40.31 g/mol [63]
Densité	3.58 g/cm ³ [63]
Point de fusion	2892 °C [64]
Point d'ébullition	3600 °C [64]

- **Autres propriétés :**

Il existe de nombreuses propriétés :

Non-volatilité, stabilité, réactions élevées, non-toxicité [57], surface élevée, résistance électrique, résistance à la flamme [60], stabilité, résistance à la corrosion, indice de réfraction élevé, conductivité thermique élevée, faible conductivité électrique [65], bande interdite élevée 7,7ev [62], Poids léger, comestibilité, point de fusion élevé, faible densité, absorption de l'humidité, recyclage, autonettoyage et activité biodégradable [66].

I.2.6.1.3 Méthode de synthèse d'MgO

Le processus traditionnel de synthèse par méthodes physiques et chimiques est coûteux et dangereux pour l'environnement et la santé humaine, ce qui a suscité des préoccupations concernant la sécurité et les aspects économiques. Les efforts scientifiques actuels se concentrent sur le développement de méthodes durables pour produire des nanoparticules, et la synthèse biologique se distingue comme une approche clé, car elle est considérée comme moins coûteuse et plus respectueuse de l'environnement par rapport aux méthodes physiques et chimiques [65,67].

- **Méthode chimique :**

L'utilisation de matériaux toxiques produit des sous-produits dangereux et menaçants pour la vie, rendant cette méthode non sécurisée [65,67].

- **Méthode physique :**

Elle nécessite une utilisation excessive d'énergie et de temps, ainsi que l'utilisation d'équipements et de machines coûteux, ce qui entraîne des coûts de fabrication élevés et une perte d'énergie, rendant cette méthode coûteuse [65,67].

- **Méthode biologique :**

La synthèse verte est une méthode écologique et économe en énergie, et rapide. Elle utilise des sources naturelles telles que : les plantes, les champignons, les bactéries, les algues, ...etc, pour produire des nanoparticules plus précises avec des formes spécifiques [65,67].

Les plantes sont la méthode la plus courante et sont faciles à obtenir et à utiliser des extraits naturels provenant de différentes parties de la plante, telles que : les feuilles, les racines, les fleurs, les fruits, ...etc. Les extraits de plantes agissent comme des agents de stabilisation et de réduction, empêchent l'agglomération et assurent une répartition homogène de la taille des nanoparticules [65,67].

Le processus de synthèse est influencé par divers facteurs (pH, sources et nature de l'extrait, température, concentration de l'extrait), ce qui affecte la forme, la taille, la surface spécifique et la stabilité des nanoparticules [65,67].

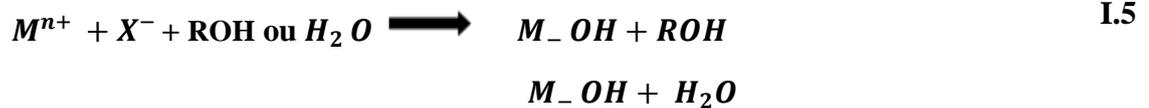
I.2.6.1.3.1 Méthode Sol-Gel

La méthode sol-gel est l'une des méthodes les plus courantes pour la synthèse de nanoparticules [14] inorganiques [68] les oxydes métalliques, les composés d'oxydes métalliques [69] ou les céramiques [70], en transformant un matériau de l'état liquide à l'état solide. Cela se fait en rassemblant les atomes dans une solution pour former des poudres homogènes avec une structure cristalline, tout en contrôlant la taille, la forme et la surface de ces particules [68]. Cette méthode commence par la dissolution des précurseurs et leur transformation en une solution colloïdale ressemblant à un liquide (sol), qui se transforme progressivement en gel, pour finalement obtenir un matériau solide [14].

Le processus sol-gel passe par plusieurs étapes :

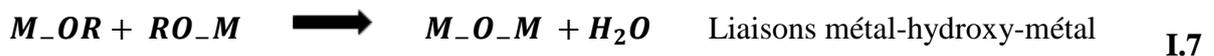
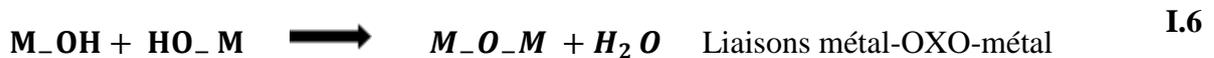
1. Hydrolyse (Hydrolysis) :

La phase initiale consiste à dissoudre les précurseurs, tels que les sels métalliques ou les alkoxydes, dans un alcool ou un solvant aqueux. Les molécules (ROH ou H₂O) se transforment en hydroxy (OH⁻) ou en oxo (O₂⁻), ce qui conduit à la formation d'hydroxyde de métal [71].



2. Réaction de polycondensation (Polycondensation) :

La solution d'hydroxyde se condense pour former un réseau tridimensionnel [69] (formation du gel) avec des liaisons métal-oxo-métal ou métal-hydroxy-métal [70] via des réactions d'oxalation M-O-M. Cela entraîne l'élimination du solvant [71].



3. Age (Aging) :

Le gel continue de se condenser à l'intérieur du réseau, entraînant son rétrécissement et l'expulsion du solvant [71].

4. Sécher (Drying) :

Le gel est séché, Séchage du gel soit pour former un "xérogel" dense par effondrement du réseau poreux, soit un aérogel par exemple par séchage supercritique, selon la méthode appliquée [71].

5. Décomposition thermique (Calcination) :

La calcination se fait généralement à une température supérieure à 400°C, allant jusqu'à 800°C si nécessaire. Cette étape permet de compléter la réaction de condensation et d'éliminer les impuretés chimiques et les produits secondaires [70,71].

La méthode sol-gel peut être considérée comme une méthode de synthèse puissante avec de nombreux avantages : [68]

- Coût faible [68].

- Temps de traitement court [68].
- Fonctionne à des températures basses [68].
- Méthode simple [14].
- Produit des poudres nanométriques très fines [14].

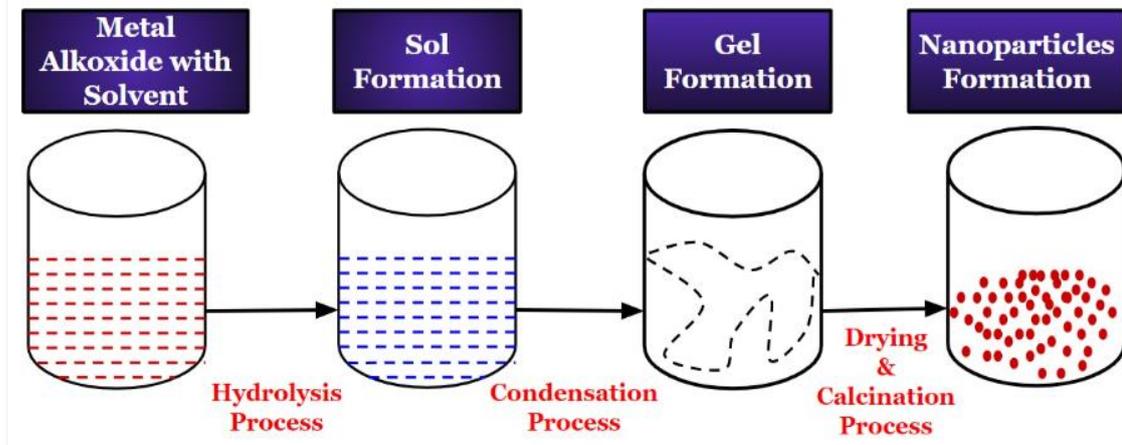


Figure I. 21: Les étapes de la méthode sol-gel [E6].

I.2.6.1.3.2 Sol-Gel auto-combustion

La méthode sol-gel auto-combustion est une technique largement utilisée au niveau mondial. Elle est respectueuse de l'environnement et offre un coût réduit pour la production de nanoparticules inorganiques de haute pureté et homogénéité, notamment pour les oxydes métalliques. Cette méthode repose sur une réaction d'oxydoréduction, utilisant des nitrates métalliques comme agents oxydants et des combustibles organiques comme agents réducteurs. Les combustibles organiques peuvent être : acide citrique, urée, glycine, ...etc [72].

Le processus se déroule comme suit [72] :

- 1) Formation du Sol.
- 2) Formation du gel.
- 3) Auto-combustion.

Il s'agit d'un processus sol-gel suivi d'une combustion spontanée. Le gel est constitué d'une solution aqueuse d'un précurseur métallique (nitrate de métal) et d'un combustible organique. La combustion du gel se produit par la propagation d'une onde de combustion d'une manière auto-combustive, connue sous le nom de combustion par auto-diffusion, où le processus ne nécessite pas d'apport d'énergie externe. Les combustibles organiques jouent un rôle crucial dans le processus de combustion [72].

La méthode sol-gel auto- combustion présente de nombreux avantages [72] :

- Méthode facile et simple
- Respectueuse de l'environnement
- Coût réduit
- Économise de l'énergie et du temps
- Réduit la production de déchets nocifs en utilisant des matériaux écologiques
- Produit une poudre de haute pureté avec une surface spécifique élevée
- Les oxydes métalliques obtenus ont des structures cristallines.



Figure I. 22: Auto-combustion [73].

I.2.6.1.4 Applications de l'oxyde de magnésium

Les nanoparticules de MgO se sont distinguées comme un candidat potentiel pour résoudre divers problèmes dans plusieurs domaines. Elles sont également considérées comme une alternative aux nombreuses méthodes coûteuses et nuisibles actuellement utilisées [66].

- **L'agriculture :**

Les nanoparticules de MgO présentent plusieurs avantages, tels que l'absence de toxicité pour les plantes, l'absence de génotoxicité, la stabilité thermique, ainsi que la capacité à augmenter la productivité de la culture de l'arachide, à prévenir les dommages aux récoltes, à supprimer les infections bactériennes, et à agir comme antifongique et insecticide ... etc [61,66].

- **Alimentation :**

Le MgO est largement utilisé dans les industries alimentaires. Il est considéré comme un additif alimentaire approuvé par l'Union européenne sous la classification E530. Il est utilisé

pour prolonger la durée de conservation et préserver la qualité des aliments, comme agent décolorant dans le raffinage du sucre [63], et comme complément alimentaire [66].

- **Environnement :**

La pollution de l'environnement est un problème grave auquel la population mondiale est confrontée. Les nanoparticules de MgO ont prouvé leur efficacité dans diverses applications environnementales. Elles possèdent des propriétés d'absorption élevées, une grande surface spécifique et une capacité de réponse élevée, leur permettant de résoudre plusieurs problèmes : elles sont utilisées comme adsorbant de gaz, tel que le dioxyde de soufre, pour éliminer les métaux lourds, comme le plomb, l'arsenic et le mercure, de l'eau, pour le traitement des déchets toxiques, l'absorption des ions d'uranium, l'élimination du phosphore, et le traitement des eaux usées [66].

- **Médecine :**

Le MgO a réussi dans le domaine médical, allant du traitement des maladies au diagnostic. Il est considéré comme antirhumatismal, anticancéreux, permettant une administration précise des médicaments et favorisant la régénération osseuse. De faibles concentrations de MgO augmentent le nombre de globules rouges et blancs, et sont utilisées pour l'encapsulation des médicaments. Il cible également les tumeurs, favorise la cicatrisation des plaies [66], et est utilisé dans la production de médicaments [65].

- **Autres applications :**

Les nanoparticules de MgO sont utilisées dans de nombreuses industries :

Fabrication de matériaux réfractaires, la catalyse, la céramique, l'électronique [65], ainsi que dans la production automobile, les fusées, les batteries au lithium, les cosmétiques, les produits de soin de la peau [66], les fours [58], les revêtements, les semi-conducteurs [61], la construction et les dispositifs de stockage d'énergie [60]. Elles sont également utilisées comme matériau d'isolation pour les câbles électriques [74].

Tableau I.3 : L'importance des polymères utilisés dans l'isolation électrique [77].

Polymère et abréviation	Propriétés.
Polyéthylène (PE)	La perte diélectrique est faible, la permittivité est faible, la résistivité est élevée et le coût est modéré.
Polypropylène (PP)	qui est une polyoléfine, tout comme le polyéthylène, principalement utilisé dans les condensateurs."
Polyéthylène téréphtalate (PET)	Ou le polyéthylène naphtalate (PEN) présente une excellente résistance à la chaleur et est employé dans les condensateurs.
Polycarbonate (PC)	reconnu comme l'un des meilleurs isolants transparents, caractérisé par une excellente résistance à la température.
Polytétrafluoroéthylène (PTFE)	également un excellent isolant doté d'une haute résistance à la température.

Ces matériaux ont une durée de vie limitée, qui dépend de leur composition et des conditions d'exploitation (humidité, pollution, température, corrosion chimique, ...etc.) [77].

PE est considéré comme le matériau le plus approprié pour l'isolation électrique, mais il présente deux principaux problèmes : la limitation de la température maximale de fonctionnement et la nécessité d'ajouter des antioxydants pour éviter la dégradation de l'isolation [32].

Il est difficile d'améliorer la qualité de l'isolation en raison des coûts élevés liés à la production de matériaux plus purs [32]. Ainsi, les scientifiques et les ingénieurs ont lancé de nombreux projets de recherche pour développer de nouvelles techniques d'isolation [78].

Les matériaux isolants nanométriques ont émergé comme une solution prometteuse pour améliorer les propriétés globales des matériaux isolants à base de polymères, appelés

nanocomposites. Il s'agit de Nanocharges de dimensions comprises entre 1 et 100 nm, intégrés dans une matrice polymère. [79] Parmi les nombreux nanocomposites, les nanocomposites polymères d'oxydes métalliques jouent un rôle clé [80]. L'ajout d'une petite quantité de nanoparticules inorganiques à un polymère peut considérablement améliorer ses propriétés : électriques [81], optiques [82], thermiques, mécaniques, économiques et environnementales durables. Ce sont des matériaux prometteurs pour l'avenir de l'isolation des câbles électriques, car ils offrent de nombreux avantages [32] :

- Stabilisation supplémentaire de la tension [32].
- Faible poids [32].
- Facilité de traitement [32].
- Faible coût [32].
- Matériau ignifuge [83].
- Excellentes propriétés isolantes [84].
- Résistance élevée à la rupture diélectrique [85].
- Prolongation de la durée de dégradation de l'isolation [85].

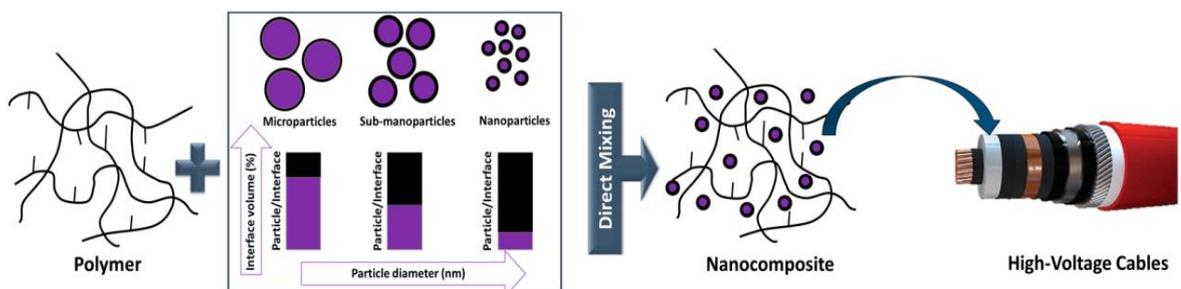


Figure I. 24: Isolation des câbles électriques à base d'un nanocomposite [32].

Oxyde de magnésium présente de nombreuses propriétés intéressantes dans le domaine de la fabrication de câbles électriques :

- Résistance électrique et à la flamme [60].
- Résistance à la corrosion, faible conductivité électrique, et haute conductivité thermique [65].
- Capacité à absorber l'humidité, faible poids, et point de fusion élevé [66].

L'ajout de MgO à un polymère peut améliorer la résistance à l'humidité et la rigidité de l'isolant [32].

L'ajout d'une petite quantité de MgO au LDPE a conduit à une augmentation significative de la résistance électrique et a amélioré la résistance à la rupture diélectrique [81].

L'ajout de MgO à la matrice de LDPE a la capacité de protéger les structures de la matrice de LDPE et de retarder l'apparition des réactions thermiques, ce qui signifie que le LDPE/MgO possède une meilleure stabilité thermique que le LDPE pur [86].

Références

- [1] Malik, S., K. Muhammad, and Y. Waheed, Nanotechnology: A revolution in modern industry. *Molecules*, 2023. 28(2): p. 661.
- [2] Khan, Y., et al., Classification, synthetic, and characterization approaches to nanoparticles, and their applications in various fields of nanotechnology: A review. *Catalysts*, 2022. 12(11): p. 1386.
- [3] Sen, M., Nanocomposite materials. *Nanotechnology and the Environment*, 2020. 27: p. 1-2.
- [4] Friedrichs, S., Exploiter le potentiel des nanotechnologies pour préfigurer la prochaine révolution de la production. *La prochaine révolution de la production Conséquences pour les pouvoirs publics et les entreprises: Conséquences pour les pouvoirs publics et les entreprises*, 2018: p. 171.
- [5] Durlo, A., 1950-2022: A History of Nanotechnology into Physical and Mathematical Relationship. 2023, Université de Lille.
- [6] Horikoshi, S. and N. Serpone, *Microwaves in nanoparticle synthesis: fundamentals and applications*. 2013: John Wiley & Sons.
- [7] Cherifi, Y., *Elaboration et caractérisation de nano-composites et leurs applications environnementales pour traitement des eaux*. 2019.
- [8] Sifi, G., *Elaboration et étude des poudres nanostructurées de FeS₂ obtenues par broyage haute énergie*. 2018, Thèse de doctorat, Université de Annaba.
- [9] Ounoughene, G., *Etude des émissions liées à la décomposition thermique de nanocomposites: application à l'incinération*. 2015, Ecole des Mines de Nantes.
- [10] CHETTIBI, M., *Préparation, Caractérisation et Réactivité des Nanoparticules de Nickel Supportées*. 2013.
- [11] Baig, N., I. Kammakam, and W. Falath, Nanomaterials: A review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges. *Materials advances*, 2021. 2(6): p. 1821-1871.
- [12] 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.

- [14] Mimouche, S., Etude de l'évolution microstructurale dans les alliages à mémoire de forme CuAlNi obtenu par broyage mécanique à haute énergie. 2022.
- [15] BOUCHAALA, A., Elaboration of New Nanomaterials for Spintronic Applications. Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [15] Dolez, P.I., Nanoengineering: global approaches to health and safety issues. 2015: Elsevier.
- [16] Sannino, D., Types and classification of nanomaterials. Nanotechnology: Trends and Future Applications, 2021: p. 15-38.
- [17] CHENCHANA, A., Synthèse et caractérisation des nanoparticules à base de Cobalt et de Titanium: Application pour la photodégradation des polluants organiques. 2019.
- [18] Metiaz, H.M. and A. Boudiba, SYNTHÈSE, CARACTÉRISATION DES NANOPARTICULES D'ARGENT A BASE D'EXTRAIT DES FEUILLES DE PLANTES ET EVALUATION DE LEUR ACTIVITE ANTIOXYDANTE ET ANTIMICROBIENNE. 2020, Université de Ghardaïa.
- [19] Penu, C., Nanocomposites à matrice polyamide 6 ou polystyrène et à renforts de nanotubes de carbone: du procédé de synthèse aux phénomènes de percolation. 2008, Institut National Polytechnique de Lorraine.
- [20] Chezeau, L., Étude au niveau pulmonaire du profil d'expression de gènes et de protéines chez le rat exposé par inhalation à un aérosol de particules nanostructurées de dioxyde de titane. 2018, Université de Lorraine.
- [21] Omanović-Miklićanin, E., et al., Nanocomposites: A brief review. Health and Technology, 2020. 10(1): p. 51-59.
- [22] Bouzid et dbaa ,Préparation, et caractérisation des films nanocomposites polymère/nanoparticule" Production de matériaux d'emballage antibactériens et respectueux de l'environnement". 2023, université Ghardaia.
- [23] Lasmi, S., Effets des taux de l'agent traitant et de l'agent comptabilisant sur les propriétés des nanocomposites Polypropylène/Silice. 2018.
- [24] Youcef, D., Homogénéisation numérique des nanocomposites. 2017, Université Mustapha Ben Boulaid Batna 2, Département de génie mécanique.
- [25] Amina, S., Synthèse et caractérisation de nanocomposites à base d'argile modifiée. Applications dans l'environnement. 2024.

- [26] Malhotra, B.D. and M.A. Ali, *Nanomaterials in biosensors: Fundamentals and applications*. *Nanomaterials for biosensors*, 2018: p. 1.
- [27] Yao, F., et al., Superb electromagnetic shielding polymer nanocomposites filled with 3-dimensional p-phenylenediamine/aniline copolymer nanofibers@ copper foam hybrid nanofillers. *Composites Part B: Engineering*, 2022. 245: p. 110236.
- [28] BOUMEFTAH, A., *Nanocomposites organique/inorganique: Préparation, caractérisation et propriétés électrochimique*. 2022.
- [29] Amanda D. de Oliveira., Cesar Augusto Gonçalves Beatrice., *Polymer Nanocomposites with Different Types of Nanofiller*. 2019.
- [30] Mecha, A.C., et al., Versatile silver-nanoparticle-impregnated membranes for water treatment: A review. *Membranes*, 2023. 13(4): p. 432.
- [31] Dawan, F., et al., Carbonated 3D-printable polymer composite for thermo-mechanically stable applications. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 2022. 6(3): p. 66.
- [32] Pleșa, I., et al., Polyethylene nanocomposites for power cable insulations. *Polymers*, 2018. 11(1): p. 24.
- [33] LADACI, N., *Effet du Vieillissement et Analyse des Mécanismes du Comportement Mécanique et Tribologique d'un PEHD*. 2015.
- [34] Ouassini, M.B.M., *Étude Des Polymères Par Dynamiques Moléculaire*. p. Université des Sciences et de la Technologie d'Ora, 2015
- [35] Karak, N., *Vegetable oil-based polymers: properties, processing and applications*. 2012.
- [36] Fischer, D., *Organisation de copolymères à blocs amphiphiles Polyéthylène-b-Polyéthylène glycol aux interfaces solides et liquides*. 2015, Université de Haute Alsace-Mulhouse.
- [37] Sadeghi, V., *Effet des modifications de surface sur les propriétés morphologiques et mécaniques de composites à base de coquille de sarrasin et de polyéthylène*. 2021.
- [38] Ali, M., et al., Thermal-resistant lightweight concrete with polyethylene beads as coarse aggregates. *Construction and Building Materials*, 2018. 164: p. 739-749.
- [39] Charfeddine, I., *Prévision de la morphologie de mélanges de polyoléfines par un modèle micro-rhéologique: Application à des propriétés d'usage*. 2019, Université de Lyon.

- [40] Peiti, C., B. Vergnes, and J.-M. Haudin. Cristallisation du polyéthylène basse densité: mesures rhéologiques et calorimétriques. in 43ème Colloque du Groupe Français de Rhéologie. 2008. Groupe Français de Rhéologie.
- [41] Saci, H., Préparation et caractérisation thermique du Polyéthylène basse densité modifié par réticulation. 2018.
- [42] Kumari, S. and L. Sarkar, A review on nanoparticles: structure, classification, synthesis & applications. Journal of Scientific Research, 2021. 65(8): p. 42-46.
- [43] Sajid, M. and J. Płotka-Wasyłka, Nanoparticles: Synthesis, characteristics, and applications in analytical and other sciences. Microchemical Journal, 2020. 154: p. 104623.
- [44] Chuto, G. and P. Chaumet-Riffaud, Les nanoparticules. Médecine Nucléaire, 2010. 34(6): p. 370-376.
- [45] Zurita-Mápula, J.A., S. Alcalá-Alcalá, and S.A. Bernal-Chávez, Lipid functionalization of magnesium oxide nanoparticles: Synthesis and characterization. Materials Letters, 2024. 368: p. 136660.
- [46] 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.
- [47] Mathieu, G., Nano-émulsions pour la vectorisation d'agents thérapeutiques ou diagnostiques; étude de la bio distribution par imagerie de fluorescence in vivo. 2008, Thèse de doctorat Université de Paris centre.
- [48] Ijaz, I., et al., Detail review on chemical, physical and green synthesis, classification, characterizations and applications of nanoparticles. Green chemistry letters and reviews, 2020. 13(3): p. 223-245.
- [49] Suresh, J., et al., Green synthesis of magnesium oxide nanoparticles. Advanced Materials Research, 2014. 952: p. 141-144.
- [50] Jamkhande, P.G., et al., Metal nanoparticles synthesis: An overview on methods of preparation, advantages and disadvantages, and applications. Journal of drug delivery science and technology, 2019. 53: p. 101174.
- [51] Dhand, C., et al., Methods and strategies for the synthesis of diverse nanoparticles and their applications: a comprehensive overview. Rsc Advances, 2015. 5(127): p. 105003-105037.
- [52] Tekade, R.K., Biomaterials and bionanotechnology. 2019: Academic Press.

- [53] Prakash, A., et al., A Review on Nanoparticles. *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res*, 2020. 64: p. 64-68.
- [54] Bhardwaj, L.K., P. Rath, and M. Choudhury, A comprehensive review on the classification, uses, sources of nanoparticles (NPs) and their toxicity on health. *Aerosol Science and Engineering*, 2023. 7(1): p. 69-86.
- [55] MAHBOUB, S., Biosynthèse et application des nanoparticules (Ag, CuO et ZnO) à partir des plantes sahariennes. UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.
- [56] Ray, S.S. and V. Ojijo, *Processing of polymer-based nanocomposites*. 2018: Springer.
- [57] Bazrafshan, E., et al., Synthesis of magnesium oxide nanoparticles and its application for photocatalytic removal of furfural from aqueous media: Optimization using response surface methodology. *Arabian Journal of Chemistry*, 2023. 16(8): p. 104998.
- [58] Mokoena, P., *Study of the structure, particle morphology and optical properties of mixed metal oxides*. 2017, University of the Free State.
- [59] Singh, A., N.C. Joshi, and M. Ramola, Magnesium oxide nanoparticles (MgONPs): green synthesis, characterizations and antimicrobial activity. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 2019. 12(10): p. 4644-4646.
- [60] Perera, H., et al., Magnesium oxide (MgO) nanoadsorbents in wastewater treatment: A comprehensive review. *Journal of Magnesium and Alloys*, 2024.
- [61] Ouafek, N. and N. Keghouche, Étude de l'interaction nickel-oxyde de magnésium. propriétés et application de nanoparticules Ni-Mg et NiO-MgO. 2023, Université Frères Mentouri-Constantine 1.
- [62] Agredo–Trochez, Y., et al., Nanoparticles of magnesium oxyhydroxide and copper oxide: Synthesis and evaluation of their in vitro fungicidal activity on the fungus *Omphalia* sp. *Inorganic Chemistry Communications*, 2022. 146: p. 110085.
- [63] Yang, J., et al., New opportunities and advances in magnesium oxide (MgO) nanoparticles in biopolymeric food packaging films. *Sustainable Materials and Technologies*, 2024: p. e00976.
- [64] Rao, K.G., et al., Structural properties of MgO nanoparticles: synthesized by co-precipitation technique. *International Journal of Science and Research*, 2014. 3(12): p. 43-46.
- [65] Nguyen, N.T.T., et al., A critical review on the bio-mediated green synthesis and multiple applications of magnesium oxide nanoparticles. *Chemosphere*, 2023. 312: p. 137301.

- [66] Fernandes, M., et al., Recent applications of magnesium oxide (MgO) nanoparticles in various domains. *Advanced Materials Letters*, 2020. 11(8): p. 1-10.
- [67] Patil, P.V., et al., Terminalia bellirica (Gaertn.) Roxb. extract-mediated green synthesis of magnesium oxide nanoparticles for multifunctional applications. *Plant Nano Biology*, 2024. 8: p. 100069.
- [68] Esposito, S., *Sol-Gel Synthesis Strategies for Tailored Catalytic Materials*. 2023: Springer.
- [69] Srivastava, N., et al., *Green synthesis of nanomaterials for bioenergy applications*. 2020: John Wiley & Sons.
- [70] Danks, A.E., S.R. Hall, and Z. Schnepf, The evolution of 'sol-gel' chemistry as a technique for materials synthesis. *Materials Horizons*, 2016. 3(2): p. 91-112.
- [71] Park, S., et al., Sol-gel metal oxide dielectrics for all-solution-processed electronics. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 2017. 114: p. 1-22.
- [72] Deganello, F. and A.K. Tyagi, Solution combustion synthesis, energy and environment: Best parameters for better materials. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, 2018. 64(2): p. 23-61.
- [73] Salman, O.A. and K.K. Ahmed, تحضير وتشخيص دقائق اوكسيد الحديد النانوية باستخدام مستخلص نبات الليمون العراقي. *Journal of the College of Basic Education*, 2018. 24(100): p. 59-66.
- [74] Pourrahimi, A.M., The synthesis, surface modification and use of metal-oxide nanoparticles in polyethylene for ultra-low transmission-loss HVDC cable insulation materials. 2016, KTH Royal Institute of Technology.
- [75] Quennehen, P., Étude de la dégradation de la fonction isolation de câbles HT isolés au PVC. 2014, Université de Grenoble.
- [76] Pandey, J.C. and M. Singh, Dielectric polymer nanocomposites: past advances and future prospects in electrical insulation perspective. *SPE polymers*, 2021. 2(4): p. 236-256.
- [77] Douar, A., Recherche de matériaux isolants pour la conception d'une nouvelle génération de connecteurs électriques haute tension: influence de la pollution sur les phénomènes de décharges partielles du contournement et de claquage. 2014, Ecole Centrale de Lyon.

- [78] Tan, D.Q., The search for enhanced dielectric strength of polymer-based dielectrics: a focused review on polymer nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, 2020. 137(33): p. 49379.
- [79] Adnan, M., et al., Polypropylene-based nanocomposites for HVDC cable insulation. *IET Nanodielectrics*, 2021. 4(3): p. 84-97.
- [80] Gupta, R., et al., Insulating MgO–Al₂O₃–LDPE nanocomposites for offshore medium-voltage DC cables. *ACS Applied Electronic Materials*, 2020. 2(7): p. 1880-1891.
- [81] Peng, S., et al., Influence of functionalized MgO nanoparticles on electrical properties of polyethylene nanocomposites. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 2015. 22(3): p. 1512-1519.
- [82] Thabet, A., N. Salem, and E.E. Mohamed, Modern Electrical Insulations for Power Cables Using Multi-nanoparticles Technique. *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, 2018. 10(2): p. 271-279.
- [83] Uwa, C., et al., Experimental investigation of thermal and physical properties of nanocomposites for power cable insulations. *Materials Today: Proceedings*, 2021. 38: p. 823-829.
- [84] Thabet, A. and N. Salem, Experimental investigation on dielectric losses and electric field distribution inside nanocomposites insulation of three-core belted power cables. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 2021. 4(1): p. 19-28.
- [85] Paramane, A.S. and K.S. Kumar, A review on nanocomposite based electrical insulations. *Transactions on electrical and electronic materials*, 2016. 17(5): p. 239-251.
- [86] Wang, Y., et al., Effect of nanoparticles on the morphology, thermal, and electrical properties of low-density polyethylene after thermal aging. *Nanomaterials*, 2017. 7(10): p. 320.

Cite électronique :

- [E1] Association santé environnement France, Les nanoparticules - la synthèse de l'ASEF, 2017/05/30, 2024/08/12.
- [E2] Steemit, Is this the new way to generate energy, will this be possible, 2015/07/17, 2024/08/12.
- [E3] Alamy, Polyéthylène, polythène, PE, polyéthène, molécule de poly(méthylène), 07/12/2021, 2024/08/07.
- [E4] BioRender, Nanocomposite: Melt Blending Method, 2024/04/08, 2024/09/24.
- [E5] Tateho Chemical, Magnesium Oxide (MgO) Synthesis Technology Made by the Salt Manufacturing, 2018/10/10, 2024/08/13.
- [E6] Research institute in Kanpur, India, preparation of nanostructured particles by sol-gel method , physics vidyapith , 2023/05/22 , 2024/08/13.

Chapitre II:

Partie pratique

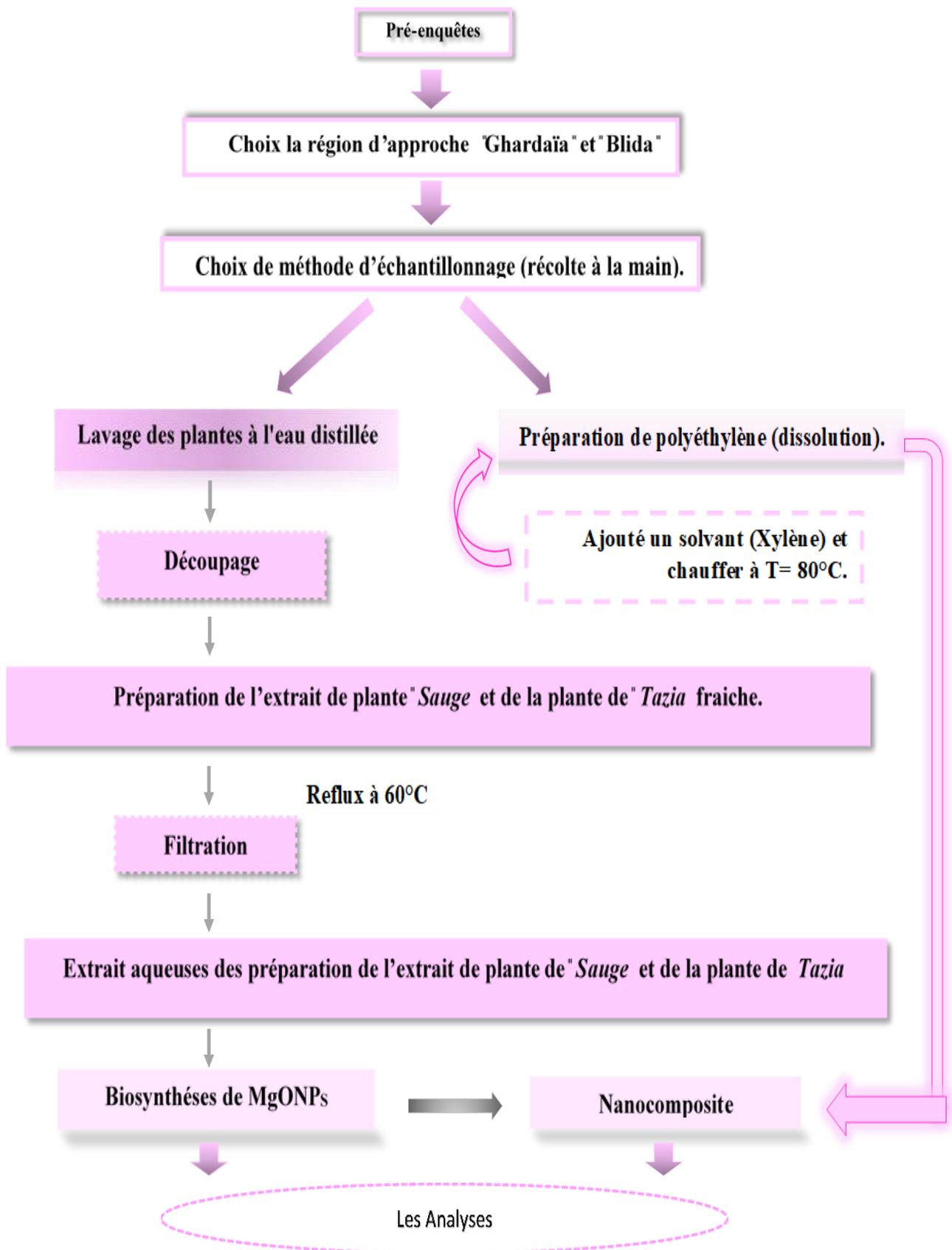
II.1 Introduction

Dans ce chapitre, on trouve une description des divers équipements et plante employés, ainsi que des méthodes d'exploitation. La partie expérimentale a été réalisée au niveau du laboratoire pédagogique de chimie 2 de la faculté des Sciences et Technologies de l'Université de Ghardaïa (Algérie).

II.2 Objective du travail

L'objectif de ce travail est de synthétiser des particules d'oxyde de magnésium nanostructurées en utilisant des extraits de plantes aromatique (*Asphodelus tenuifolius Cav* et *Salvia officinals*) par la méthode de Sol-Gel auto-combustion (chimie verte), cela dans le but de les utilise avec un polymère (polyéthylène) pour finalement obtenir un nanocomposé sous form de film.

- Extraction de plantes aromatiques fraîches.
- La Biosynthèse de MgO en utilisant un extrait de plantes aromatiques (Sol-Gel auto-combustion).
- La dissolution du polyéthylène à l'aide d'un solvant.
- La préparation d'un film de nanocomposé.



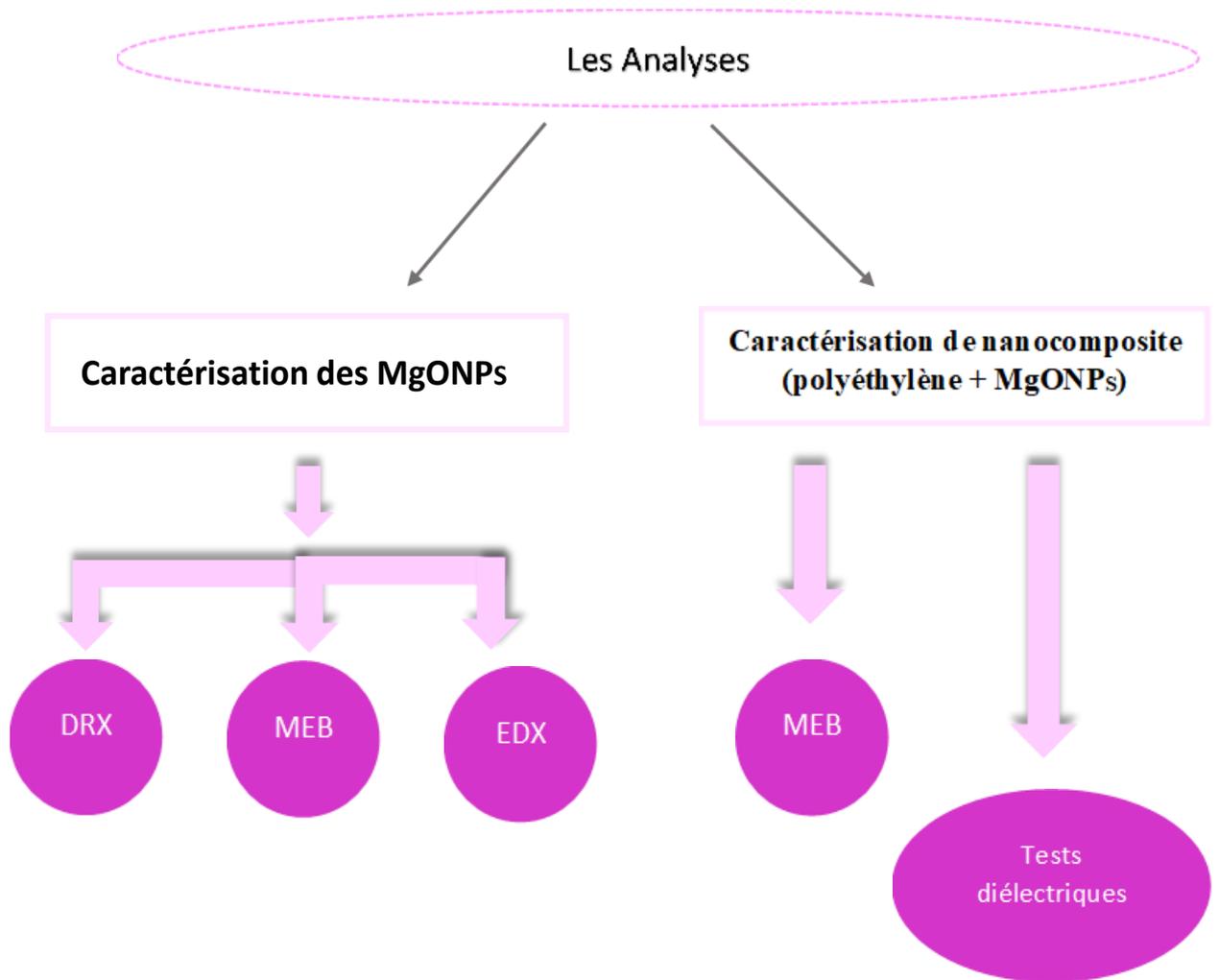


Figure II. 1: Organigramme descriptif de la méthodologie de travail.

II.3 Matériels utilisés

II.3.1 Matériels et produits chimiques

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

Tableau II. 1: Tableau des produits et Matériels.

Produits	Formule	Masse molaire (g/mol)	Densité. (g/ml)	Sécurité.
Nitrate de magnésium hexahydrate (BIOCHEM)	$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	256.41	1.64	
Hydroxyde d'ammoniac (BIOCHEM)	NH_4OH	35.05	0.9100	
Polyéthylène (Sigma Aldrich)	$H (CH_2CH_2)_n H$	28.04	0.925	
Xylène	C_8H_{10}	106.16	0.86	

II.3.2 Matériel végétale

Le matériel végétal utilisé dans cette étude c'est la plante de *Tazia* et la plante *Sauge*.

II.3.2.1 Présentation la plantes de *Tazia*

La plante connue sous le nom d'herbe d'oignon [1], Le nom scientifique est *Asphodelus tenuifolius Cav*, En Algérie elle est souvent appelée "*Tazia*", un terme arabe vernaculaire "*Tazia*" fait partie de la famille des Liliacées, mais très récemment, il a été séparé en une famille distincte, les Asphodelaceae son habitat d'origine se situe principalement dans la région méditerranéenne, en Asie et dans les îles Mascareignes, mais il s'est largement répandu dans de nombreuses villes, s'étendant de la région méditerranéenne vers l'est, la péninsule arabique, le sous-continent indien et certaines villes telles que la Malaisie, l'Australie, le Chili, la Nouvelle-Zélande, le Mexique et les États-Unis d'Amérique [2]. En Algérie, il pousse dans les dunes de sable, les prairies arides et les steppes, et il est courant sur la côte littorale d'Oran, les hauts plateaux et le désert (sud) [3] Elle pousse au début du printemps, de février à avril [2] Elle est considérée comme un aliment polyvalent non seulement en tant que légume, mais aussi pour traiter de nombreuses maladies et parfois utilisée à des fins décoratives [1].

Tableau II. 2: Tableau des désignations de la plante '*Tazai*' en différentes langues [2].

Nom scientifique	<i>Asphodelus tenuifolius Cavan.</i>
Nom anglais	<i>Onion weed.</i>
Nom français	<i>Asphodèle à petite fleurs.</i>
Nom arabe	<i>Tazai, Achb l'ibel, Berwaq.</i>
Nom hindi	<i>Dangro, Bokhat, Piazi.</i>

II.3.2.1.1 Classification scientifique de cette plante [2]

Règne	<i>Plantae.</i>
Clade	<i>Tracheophytes.</i>
Clade	<i>Angiospermes.</i>
Clade	<i>Monocotyledones.</i>
Ordre	<i>Asparagales.</i>
Famille	<i>Asphodelaceae.</i>
Sous famille	<i>Asphodeloideae.</i>
Genre	<i>Asphodelus.</i>
Espèce	<i>Asphodelus tenuifolius Cav.</i>

II.3.2.1.2 Description de la plante

Plante sauvage monocotylédone [3] de grande taille, ressemblant à une rose en termes de forme externe, avec des feuilles basales multiples entourées de nombreuses tiges florales non ramifiées. Pour ses feuilles, elles sont toutes basales, parallèles, cylindriques et creuses, avec des lignes minces [2] Elles sont d'un vert brillant magnifique, avec des bords tranchants sur le dessus, mesurant environ 20 à 30 cm de hauteur et un diamètre de 0,5 à 5 mm, du centre émergent des tiges qui s'élèvent vers le haut, mesurant de 15 à 50 cm de long, portant des fleurs blanches en haut [3] Avec une bande centrale rose [2] Elles mesurent de 4 à 6 mm de longueur. Ses fruits sont en forme de capsule sphérique d'un diamètre de 3 à 4 mm, et ses graines ont une forme triangulaire avec trois côtés noirs d'un diamètre de 3 mm [3].



Figure II. 2: *Tazia* [2].

a) Composition chimique de *Tazia* :

Il existe de nombreux composés chimiques présents dans la plante de *Tazia*, à savoir : Tanins, anthracénosides, flavonoides, saponosides, coumarines, alcaloïdes, stérols et triterpènes. [2] des glucides, des acides aminés tels que le chrome, des triterpénoïdes, des dérivés de la naphalène, ainsi qu'une quantité élevée d'acides gras insaturés, en particulier l'acide linoléique représentant environ 62,62 %. [4]

b) Utilisation de *Tazia* :

Une plante comestible couramment utilisée comme légume car elle ressemble à l'oignon. Elle possède de nombreux avantages médicaux dans la médecine traditionnelle, notamment pour traiter les rhumes et les hémorroïdes. [1] elle est utilisée pour traiter les troubles inflammatoires et les douleurs rhumatismales. [5] Les voies urinaires [4] L'hypertension artérielle, les problèmes circulatoires et le diabète [6] Il est également bénéfique pour la cicatrisation des plaies [1] Son extrait agit comme un antimicrobien et a des effets antioxydants et antiparasitaires [4].

II.3.2.1.3 Récolte du Matériel végétale

La plante de *Tazia* est largement présente dans la wilaya de Ghardaia, dans de nombreuses vallées, dont :

- Oued Ghazalat est une municipalité de Mansoura.
- Oued Rzil est une municipalité de Daïa Ben Dahoua.
- Oued M'tlili est une municipalité de M'tlili.
- Oued Sbèsb est une municipalité de Sbèsb.

De février au début de juin, mais elle peut pousser en janvier dans des régions chaudes sous les arbres ou les jujubiers en quantités considérables. En ce qui concerne le prix, elle peut être achetée sur le marché des légumes ou dans les épiceries pour un prix allant de 50 à 100 dinars algériens, ou elle peut être cueillie gratuitement dans les zones où elle pousse.

La plante de *Tazia* a été cueillie dans la région d'Oued Ghazalat, municipalité de Mansoura, le 26 janvier 2024.

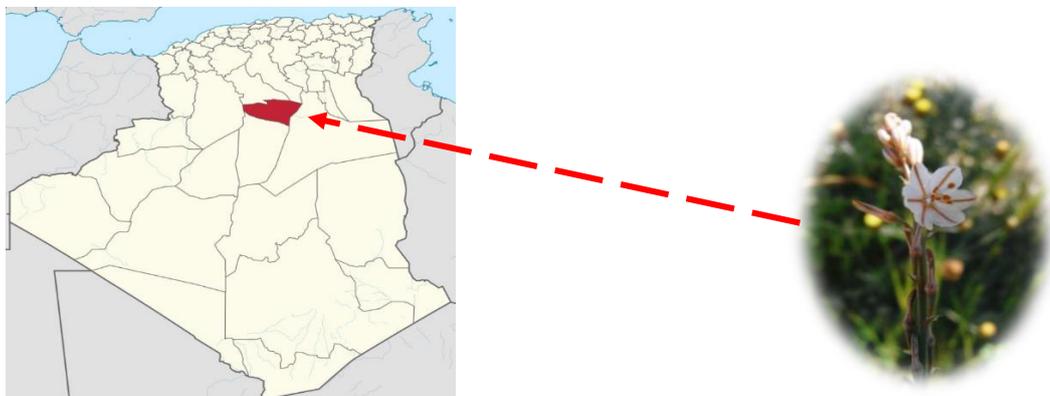


Figure II. 3 : Lieu de cueillette de la plante *Tazia*.

II.3.2.2 Présentation la plantes de Sauge

La sauge ,également appelée *Salvia* en latin, elle est aussi largement connue dans le monde arabe sous le nom de "*Al-Miramiya*" ou "*Meramia*" est l'une des plantes les plus connues de la famille des Lamiacées, avec environ 900 espèces [7] Les deux espèces les plus courantes sont la sauge officinale (*Salvia officinalis*) et la sauge lavandulée (*Salvia lavandulaefolia*). Son nom scientifique dérive du mot latin "salvare", signifiant sauver et guérir, indiquant ainsi qu'elle est une plante médicinale [8] L'origine d'origine de l'espèce *Salvia officinalis* est les régions du Moyen-Orient et de la Méditerranée. Aujourd'hui, elle a été naturalisée dans le monde entier,

en particulier en Europe et en Amérique du Nord. [9] Elle fleurit de mars à juillet selon les habitats et les conditions climatiques [8].

Tableau II. 3: Tableau des désignations de la plante 'Sauge' en différentes langues [10].

Nom Scientifique	<i>Salvia officinalis.</i>
Nom en anglais	<i>Myramia.</i>
Nom en anglais	<i>Sauge officinale.</i>
Nom en arabe	<i>Common Sage.</i>

II.3.2.2.1 Classification scientifique de cette plante [11]

Règne	<i>Plantae (végétal).</i>
Embranchement	<i>Cormophytes.</i>
Division	<i>Magnoliophyta.</i>
Classe	<i>Magnoliopsida.</i>
Sous-classe	<i>Asteridae.</i>
Ordre	<i>Lamiales.</i>
Famille	<i>Lamiacées.</i>
Genre	<i>Salvia.</i>
Espèce	<i>Salvia officinalis L.</i>

II.3.2.2.2 Description de la plante

La sauge pousse sous forme de sous-arbrisseau vivace atteignant une hauteur de 60 cm. Les feuilles sont opposées et simples, avec des poils blancs sur la face inférieure et une couleur gris verdâtre. Les tiges sont dressées avec une abondance de branches vert foncé velues. Les feuilles sont étalées et pétiolées avec une bordure dentelée. La surface est ridée et parfois avec des stipules basales. La longueur des fleurs varie de 2 à 4 mm du pédoncule, et elles sont en

forme de fausses fleurs supérieures contenant de 5 à 10 fleurs de couleur violette formant des épines fausses composées. [9].



Figure II. 4: La sauge.

a) Composition chimique de la Sauge :

Cette gamme comprend une large gamme de composés alcaloïdes, de glucides, d'acides gras, de dérivés glycosidiques (tels que les glycosides cardiaques, les flavonoïdes glycosides, et les saponines), de composés phénoliques (comme la coumarine, les flavonoïdes, et les lignanes), de polyacétylènes, et de terpènes stimulants [8].

b) Utilisation de Sauge :

Une plante comestible utilisée comme légume, dans les tisanes, ainsi que dans la fabrication de parfums, de produits alimentaires et de médicaments. Elle possède de nombreux bienfaits médicaux, notamment pour traiter les rhumes, les infections des voies respiratoires, soulager la douleur, agir comme antibactérien, antioxydant et antifongique, ainsi que faciliter la digestion. Elle peut également stimuler la mémoire et aider à résoudre les problèmes de ballonnements et de troubles intestinaux [12].

II.3.2.2.3 Récolte du Matériel végétale

La sauge pousse largement dans la région du Moyen-Orient, et elle est l'une des espèces les plus typiques du bassin méditerranéen. En raison de la position géographique de l'Algérie, la sauge y est largement présente [7,9].

La plante de *Sauge* a été apportée de la région de Boufarik, à Blida, en janvier 2024, au prix de 130 dinars algériens (son prix varie entre 100 et 150 dinars algériens dans les marchés).

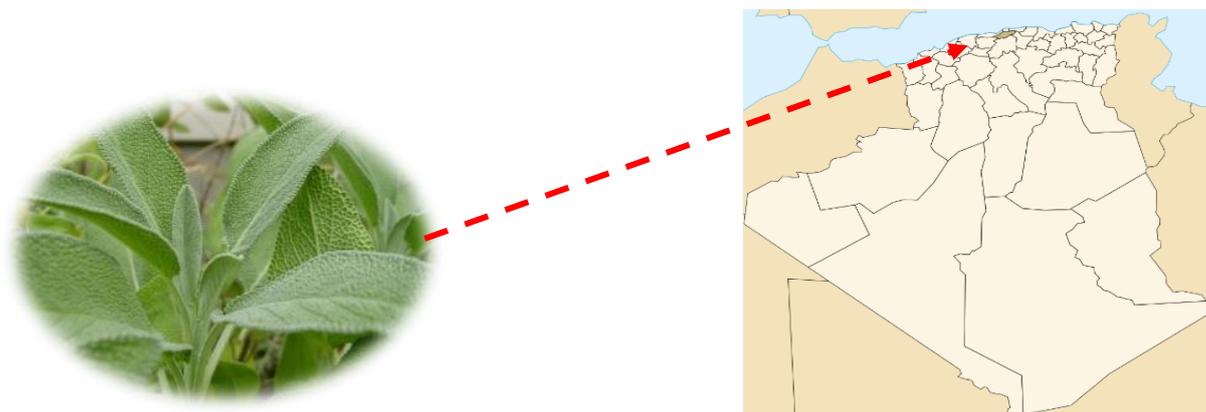


Figure II. 5: Lieu de cueillette de la plante *Sauge*.

II.4 Mode opératoire

II.4.1 Préparation de l'extrait des plantes (*Sauge* et *Tazia*)

II.4.1.1 Lavage

Nous l'avons lavée avec de l'eau distillée pour éliminer la poussière et les impuretés.

II.4.1.2 Séchage

Nous séchons la plante à l'extérieur en utilisant un étuve. (Pour préserver une plante fraîche).



Figure II. 6: Séchage

II.4.1.3 Découpage

Nous coupons la plante en petits morceaux pour faciliter et accélérer le processus d'extraction.



Figure II. 7: Découpage

II.4.1.4 Préparation de l'extrait

- 1) Nous pesons 20 g de plante coupée.
- 2) Nous prenons 200 ml d'eau distillée à l'aide d'une éprouvette graduée de 250 ml.
- 3) Nous plaçons le mélange d'eau distillée et de plante fraîche dans un bécher de 250 ml, puis nous le plaçons sur un agitateur magnétique chauffant pendant une heure à une température ne dépassant pas 60 °C.
- 4) Après une heure, nous observons un changement de couleur dans le mélange, ce qui indique l'extraction des composants de la plante.

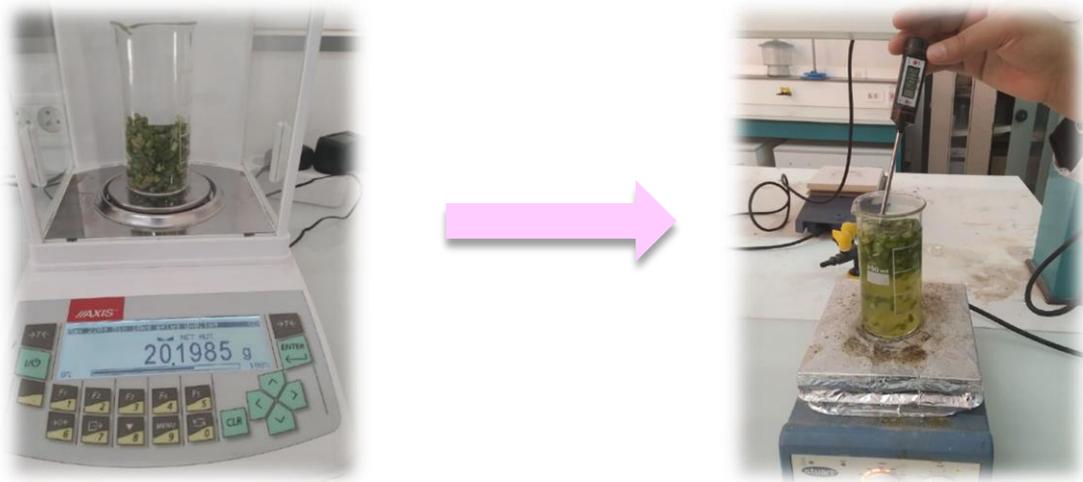


Figure II. 8: L'étape d'extraction de la plante.

II.4.1.5 Filtration :

Nous prenons le mélange après qu'il ait refroidi, puis nous le filtrons à l'aide d'un Passoire pour éliminer les morceaux de plante, et nous le passons ensuite à travers du papier filtre pour éliminer les impuretés (le processus de filtration a duré environ une demi-heure).



Figure II. 9: L'étape de filtration.

II.4.2 Biosynthèse de Nanoparticules de MgONPs (Sol-Gel auto-combustion) [13]

1) Nous prenons 30 ml d'extrait de plante et le plaçons sur un agitateur magnétique chauffant, puis nous y ajoutons 10 g de nitrate de magnésium $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (considéré comme une source d'oxyde de magnésium) et laissons le mélange reposer un moment pour qu'il s'homogénéise.

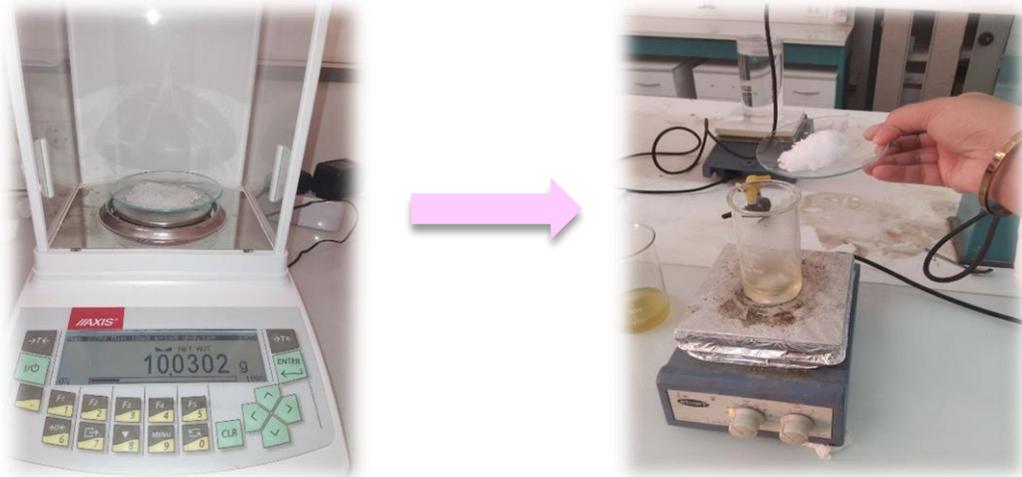


Figure II. 10: L'étape de préparation du produit.

2) Nous ajoutons une goutte d'ammoniac NH_4OH pour ajuster le pH à 7.



Figure II. 11: Ajustement du pH.

- 3) Nous plaçons la solution dans le mélangeur magnétique chauffant à une température comprise entre 80 et 90 °C. Après un certain temps, nous observons ce qui suit :
- Une diminution notable du volume de la solution et son changement en un Liquide semblable à un gel.
 - Le changement de couleur du liquide va du clair au foncé progressivement.
 - Les premières bulles commencent à apparaître.



Figure II. 12: L'étape de l'hydrolyse à la polycondensation.

- 4) Nous augmentons la température à 120°C.
- 5) La plante aromatique agit en réaction avec le nitrate de magnésium comme combustible pour le processus de combustion.



Figure II. 13: L'étape d'auto-combustion.

- 6) Après le processus de combustion, nous remarquons ce qui suit :
- Le liquide se transforme en gel avec un changement de couleur.

- Le gel devient semi-sec.
- L'échantillon se transforme en une poudre sèche de couleur blanche jaunâtre.



Figure II. 14: L'étape d'âge à séchage.

Remarque : Le processus de sol-gel auto-combustion a pris environ 2 heures.

- 7) Nous retirons l'échantillon du mélangeur, le brisons et broyons les agglomérats, puis les plaçons dans un plat d'évaporation.
- 8) Nous pesons l'échantillon avant de le placer dans le four.
- 9) Nous plaçons l'échantillon dans le four à une température de 600°C pendant deux heures, puis nous éteignons le four et laissons l'échantillon à l'intérieur pour refroidir pendant 24 heures. (Le rôle du four est de retirer les impuretés et les matières organiques tout en préservant les matériaux minéraux).

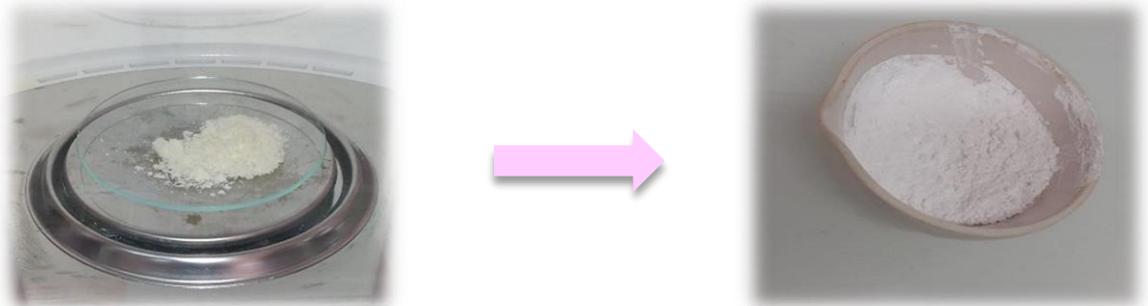


Figure II. 15: Traitement thermique.

- 10) Nous sortons l'échantillon et nous pesons. (Le poids net moyen obtenu dans l'expérience est $m_{\text{moy}} = 1\text{g de MgONPs}$).

Remarque : Chaque 20g de masse de plantes de *Tazia* et de *Sauge* utilisée produit 6,66g de MgONPs.

11) Nous prélevons un échantillon pour effectuer des analyses (MEB, DRX, EDX) afin de nous assurer d'atteindre MgONPs.

II.4.3 Préparation de polyéthylène

Pour réaliser l'expérience, il faut préparer du polyéthylène en prenant 1g de polyéthylène et en y ajoutant 5 ml Xylène (qui agit comme un solvant) à une température comprise entre 80 et 90 °C. Après 10 minutes, nous remarquons que tout le polymère a fondu, produisant une solution semi-gelée.



Figure II. 16: Préparation de polyéthylène.

II.4.4 Préparation de Nanocomposite

1) Une fois l'étape 7 terminée, nous ajoutons immédiatement le nano préparé à partir de la plante *Tazia*. Nous laissons le mélange se mélanger complètement, puis le versons dans une boîte de Petri d'épaisseur uniforme et le plaçons dans une étuve préchauffée à une température comprise entre (100 - 110)°C. Après une heure, nous retirons l'échantillon à l'aide de pinces.



Figure II. 17: Préparation de nanocomposite.

2) Enfin, nous avons obtenu un film de nanocomposite :



Figure II. 18: Film de nanocomposite.

II.5 Caractérisation des Nanoparticules et des Nanocomposites

Il est essentiel d'utiliser des techniques d'analyse variées, avancées et efficaces pour mener une étude exhaustive sur l'échantillon ciblé. Nous avons réalisé des études et des analyses sur plusieurs techniques telles que le MEB, l'EDX, et la DRX. Cette étude nous a permis d'obtenir des informations détaillées sur la structure, la composition chimique, la surface, etc., de nos échantillons. Voici un bref descriptif des techniques utilisées pour caractériser les particules et les composés nanométriques.

II.5.1 Microscope électronique à balayage (MEB)

II.5.1.1 Définition

C'est une technique efficace utilisée pour produire une image haute résolution de la surface d'un échantillon (à l'échelle microscopique ou nanométrique) avec un grossissement

pouvant atteindre 300 000x, en utilisant un faisceau d'électrons. Les électrons interagissent avec la matière (l'échantillon) pour générer des émissions électroniques qui nous permettent d'observer la forme, la taille et la structure de la surface de l'échantillon de manière détaillée et avec une grande précision.

L'échantillon est un matériau solide qui comprend des substances organiques ou inorganiques ...etc. [14-16]

II.5.1.2 Composants principaux [14] :

- Source de génération des électrons : "Canon à électrons".
- Colonne inférieure contenant deux ou plusieurs lentilles électromagnétiques.
- Système de déviation composé de bobines de balayage.
- Détecteur d'électrons.
- Chambre de l'échantillon.
- Système informatique composé d'un écran d'affichage et d'un clavier.

II.5.1.3 Principe [14,17] :

- a) Le processus commence par le lancement d'un faisceau d'électrons à partir du canon à électrons avec une énergie cinétique élevée allant de 0,1 à 30 keV.
- b) Le faisceau d'électrons passe à travers des lentilles électromagnétiques qui le compriment à moins de 10 nm et le dirigent vers l'échantillon.
- c) les bobines de balayage déplacent un faisceau d'électrons point par point le long de ses axes X et Y jusqu'à ce qu'une zone entière soit balayée.
- d) Les électrons primaires frappent la surface de l'échantillon jusqu'à une profondeur de 1μ , ce qui entraîne la dispersion d'électrons. Certains se dispersent de manière élastique, appelés électrons rétrodiffusés, et d'autres de manière inélastique, appelés électrons secondaires.

- **Électrons rétrodiffusés :**

Les électrons du faisceau primaire peuvent subir plusieurs interactions élastiques avec le noyau de la matière, ce qui dévie leur trajectoire et les fait ressortir sous forme d'électrons rétrodiffusés.

- **Électrons secondaires :**

Lorsque les électrons du faisceau primaire pénètrent dans l'échantillon, ils perdent progressivement de l'énergie en raison de collisions inélastiques (interactions entre les électrons

du faisceau primaire et les électrons faiblement liés de l'échantillon), et ils sont éjectés de l'échantillon sous forme d'électrons secondaires.

e) Les électrons émis sont détectés par un détecteur qui collecte les signaux et les convertit en impulsions électriques numériques.

Remarque : Les électrons secondaires sont accélérés par le détecteur, ce qui leur confère une énergie cinétique.

f) Le système traite les données et les transforme en informations utiles pour former une image claire de la surface de l'échantillon (le système contrôle le grossissement, l'intensité, la luminosité ... etc.

- Les électrons rétrodiffusés fournissent des détails sur la composition chimique de la surface de l'échantillon (topographie).

- Les électrons secondaires fournissent des détails sur la forme, la taille et la structure de la surface de l'échantillon (morphologie).

Remarque : Le fonctionnement du MEB nécessite un vide [15] pour éviter les collisions du faisceau d'électrons avec les molécules d'air.

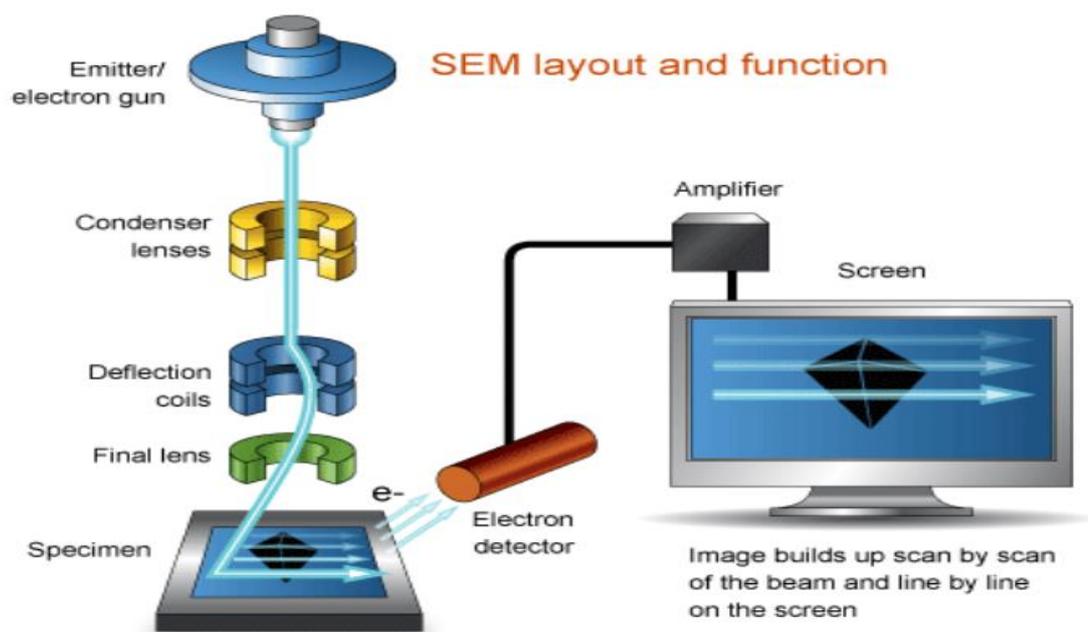


Figure II. 19: Schéma de fonctionnement d'un MEB [14].

II.5.2 Spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX)

II.5.2.1 Définition

L'analyse spectroscopique des rayons X dispersés par l'énergie (EDX) est une technique puissante permettant d'analyser la composition élémentaire (composition chimique) d'un échantillon. Elle repose sur la génération de rayons X caractéristiques lorsqu'un échantillon est bombardé par un faisceau d'électrons [18], produisant une énergie unique et spécifique à chaque élément chimique [17].

La plupart des microscopes électroniques à balayage (MEB) sont équipés d'un système EDX (couple), permettant aux deux techniques de fournir des informations essentielles sur l'échantillon ciblé (quantité, composition chimique, image détaillée de la surface de l'échantillon) [14].



Figure II. 20: Photo de Microscope électronique à balayage (MEB) couplé à une analyse par spectrométrie à dispersion d'énergie (EDX).

II.5.2.2 Principe

- Le principe de l'EDX repose sur l'énergie générée par l'interaction entre le faisceau d'électrons et l'échantillon ciblé, qui produit des rayons X caractéristiques [17,19].
- Le processus commence lorsque le faisceau d'électrons incident sur l'échantillon excite les électrons des orbites internes de l'atome, provoquant leur éjection et créant une lacune électronique. Cette lacune est comblée par la transition d'un électron d'une orbite externe, possédant une énergie plus élevée, vers une orbite interne à énergie plus basse, ce qui entraîne l'émission de rayons X caractéristiques dont l'énergie correspond à la différence entre les

niveaux d'énergie. Chaque élément chimique possède une énergie spécifique et définie, ce qui permet de les identifier. [17,19]

- Les orbitales atomiques sont divisées en couches (K, L, M, N, O) et en sous-couches (L1, L2, L3). L'énergie d'ionisation augmente de l'intérieur vers l'extérieur. Ainsi, tout transfert électronique entre deux couches entraînera l'émission de rayons X caractéristiques, possédant une énergie unique et spécifique à l'élément chimique concerné [17].

- Chaque point d'analyse est examiné par un détecteur sensible à l'énergie des photons, et les données sont collectées par un système qui reproduit l'énergie des rayons X sous forme de spectre. Ce spectre est un graphique représentant le nombre de comptes en fonction de l'énergie des rayons X, contenant des informations qualitatives et quantitatives sur l'échantillon. [18,20]

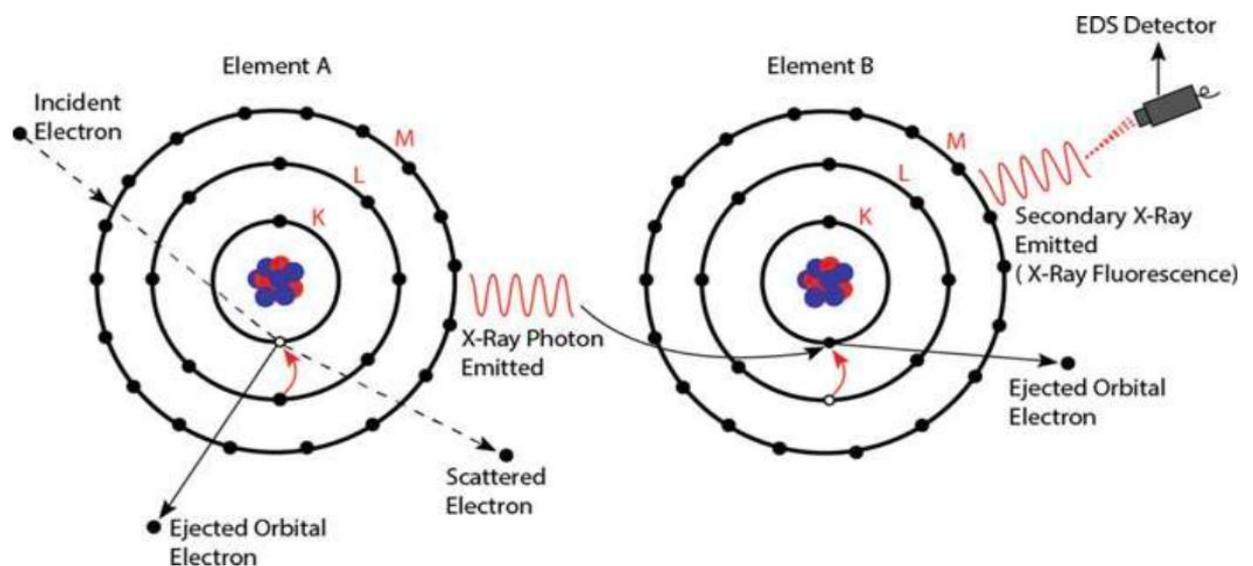


Figure II. 21: Schéma représentant le principe de la spectroscopie de rayons X [17].

II.5.3 Diffraction des rayons X(DRX)

II.5.3.1 Définition

La diffraction des rayons X (DRX) est une technique couramment utilisée pour caractériser la structure des matériaux et déterminer la nature des produits cristallins (monocristallins, polycristallins ou amorphes), ainsi que pour identifier des matériaux inconnus sous forme solide ou en poudre [21_23].

La phase cristalline peut être facilement identifiée grâce à une base de données (JCPDF) et déterminer les informations structurales de l'échantillon telles que : la taille des cristaux, l'orientation cristalline, La forme des régions cristallines...etc [16,23,24].



Figure II. 22: L'image de diffractomètre DRX [25].

II.5.3.2 Composants principaux

Le DRX est composé de trois éléments principaux [22] :

- Un tube à rayons X.
- Un support pour l'échantillon.
- Un détecteur de rayons X.

II.5.3.3 Principe [16,21_24]

Le processus commence lorsqu'un faisceau d'électrons est produit dans un tube cathodique par un filament chauffé, puis accéléré sous une tension électrique comprise entre 20 et 40 kV vers une anode. Cette étape génère des rayons X, qui sont focalisés sur l'échantillon à un angle spécifique par rapport à sa surface. Les rayons X interagissent avec l'échantillon, provoquant la diffusion des électrons autour du noyau de l'atome, ce qui entraîne des

interférences des ondes diffusées, émises dans plusieurs directions, produisant ainsi des interférences constructives et destructives.

○ L'interférence structurelle des rayons X incidents sur un échantillon se produit lorsque la loi de Bragg est respectée :

$$2d_{hkl} \sin(\theta) = n \lambda \quad \text{II.1}$$

n : est un entier représentant l'ordre de la réflexion.

λ : longueur d'onde du faisceau de rayons X.

d : distance inter-réticulaire, c'est-à-dire distance séparant les plans d'indice (hkl).

θ : est l'angle d'incidence des rayons X sur la surface de l'échantillon.

La loi de Bragg relie la longueur d'onde des rayons X, l'angle de diffraction, et l'espacement des réseaux dans un échantillon cristallin.

La détection des rayons X diffractés se fait par un détecteur, et les signaux sont traités à l'aide d'un microprocesseur ou de manière électronique, avant d'être affichés sur un écran d'ordinateur sous forme de diagramme de diffraction (sous forme de lignes ou de pics d'intensité). Ce diagramme est spécifique à l'échantillon, Parce que chaque phase cristalline a son propre schéma.

Selon la loi de Bragg, le diagramme de diffraction résultant se présente sous forme d'une série de pics de diffraction.

- L'axe X correspond à la valeur spécifique de (2θ).
- L'axe Y représente l'intensité relative des pics de diffraction.

La taille des grains peut être calculée à l'aide de l'équation de Scherrer :

$$D = \frac{k\lambda}{B \cos\theta} \quad \text{II.2}$$

D : Taille des grains [\AA].

λ : Longueur d'onde des rayons X incidents [nm] ($\lambda = 0.15406$ nm).

B : Largeur à mi-hauteur du pic de diffraction [rad].

θ : Position du pic de diffraction [rad].

K : Facteur de diffraction ($K = 0.9$).

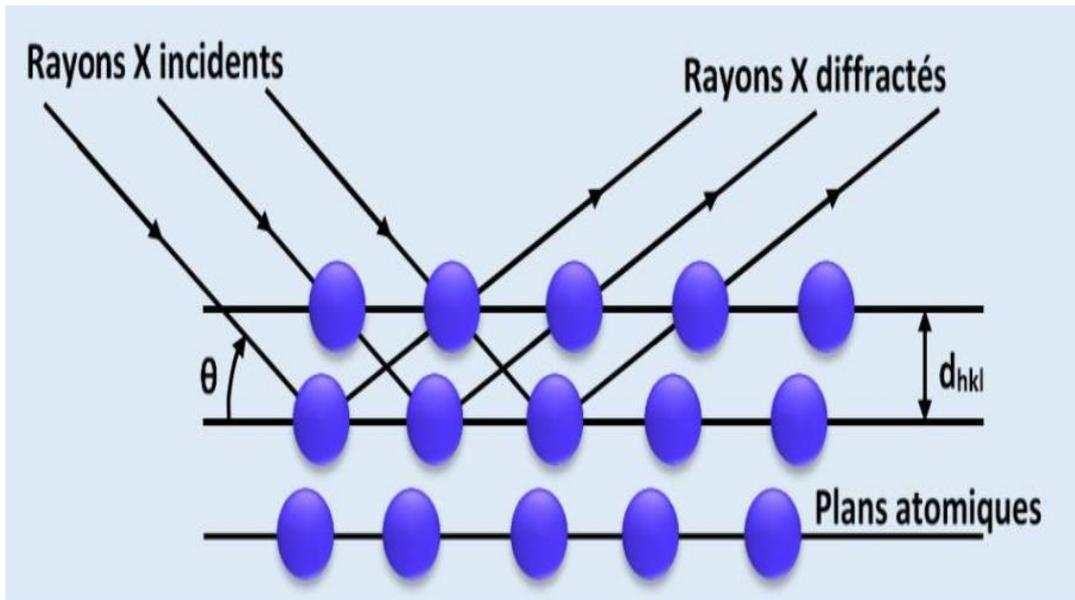


Figure II. 23: Illustration la loi de BRAGG [16].

II.6 Conclusion

Après avoir effectué l'expérience et obtenu le produit, en utilisant les appareils d'analyse DRX, SEM et EDX, nous avons obtenu des résultats que nous étudierons et discuterons dans le prochain chapitre.

Rèfèrences

- [1] Khalfaoui, A., et al., Lc-esi/ms-phytochemical profiling with antioxidant, antibacterial, antifungal, antiviral and in silico pharmacological properties of algerian asphodelus tenuifolius (cav.) organic extracts. *Antioxidants*, 2021. 10(4): p. 628.
- [2] AZOUAOU, K., et al., CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA PHYTOTHERAPIE TRADITIONNELLE DANS LA REGION DE TIZI-OUZOUET A L'ETUDE D'Asphodelus tenuifolius Cav. 2020.
- [3] DAHMOUNE-AKKOUCHE, A., RECHERCHE DE COMPOSÉS BIOACTIFS À PARTIR DE PLANTES MÉDICINALES ISSUES DE LA BIODIVERSITÉ ALGÉRIENNE. 2021, UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI, FACULTE DE MEDECINE TIZI-OUZOU.
- [4] Eddaoudi, F.E., et al., Effect of extraction process on quality of oil from *Asphodelus tenuifolius* seeds. *OCL*, 2023. 30: p. 20.
- [5] Saleem, M., et al., *Asphodelus tenuifolius* extracts arrested inflammation and arthritis through modulation of TNF- α , NF- κ B, ILs, and COX-2 activities in in vivo models. *Inflammopharmacology*, 2021. 29: p. 483-497.
- [6] Younis, W., et al., Endothelium-independent vasorelaxant effect of *Asphodelus tenuifolius* Cav. via inhibition of myosin light chain kinase activity in the porcine coronary artery. *Journal of Ethnopharmacology*, 2021. 269: p. 113693.
- [7] Khedher, M.R.B., et al., Chemical composition and biological activities of *Salvia officinalis* essential oil from Tunisia. *EXCLI journal*, 2017. 16: p. 160.
- [8] Jakovljević, M., et al., Bioactive profile of various *Salvia officinalis* L. preparations. *Plants*, 2019. 8(3): p. 55.
- [9] Ghorbani, A. and M. Esmailzadeh, Pharmacological properties of *Salvia officinalis* and its components. *Journal of traditional and complementary medicine*, 2017. 7(4): p. 433-440.
- [10] Belmouhoub, M., et al., Ethnobotanical survey of medicinal plants used by people cured of SARS-CoV-2 in the center of Algeria. *Ethnobotany Research and Applications*, 2024. 28: p. 1-26.
- [11] Altindal, D. and N. Altindal (2016). Sage (*Salvia officinalis*) oils. *Essential oils in food preservation, flavor and safety*, Elsevier: 715-721.

- [12] Abdelazize, M., Caractérisation, activité antimicrobienne et antioxydante des huiles essentielles de trois espèces de sauges (*Salvia algeriensis*, *Salvia argentea* et *Salvia barrelieri*). Mémoire de Magister en Agronomie, Université Hassiba Ben Bouali, Chlef, 2013.
- [13] Tagreed M, Al-Saadi, et al., Preparation and Characterization Particles of magnesium oxide nanoparticles using different plant extracts, université baghdad, 2016.
- [14] 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.
- [15] Ural, N., The significance of scanning electron microscopy (SEM) analysis on the microstructure of improved clay: An overview. *Open Geosciences*, 2021. 13(1): p. 197-218.
- [16] Trir, H., Conception des dispositifs optoélectroniques à base d'oxyde de cuivre. 2021, Université de mohamed kheider biskra.
- [17] Soda, O., Morphological and chemical characterization of nanoparticulate matter by SEM/EDX analytical techniques. 2023.
- [18] Scimeca, M., et al., Energy Dispersive X-ray (EDX) microanalysis: A powerful tool in biomedical research and diagnosis. *European journal of histochemistry: EJH*, 2018. 62(1).
- [19] Azizah, N., et al., analysis study of single gold nanoparticle system of interdigitated device electrodes (ides) by using energy-dispersive x-ray (EDX). *ARNP J. Eng. Appl. Sci*, 2016. 11(14): p. 8889-8892.
- [20] Li, C., D. Wang, and L. Kong, Application of machine learning techniques in mineral classification for scanning electron microscopy-energy dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDS) images. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2021. 200: p. 108178.
- [21] Ali, A., Y.W. Chiang, and R.M. Santos, X-ray diffraction techniques for mineral characterization: A review for engineers of the fundamentals, applications, and research directions. *Minerals*, 2022. 12(2): p. 205.
- [22] Bunaciu, A.A., E.G. Udriștioiu, and H.Y. Aboul-Enein, X-ray diffraction: instrumentation and applications. *Critical reviews in analytical chemistry*, 2015. 45(4): p. 289-299.
- [23] Fatimah, S., et al., How to calculate crystallite size from x-ray diffraction (XRD) using Scherrer method. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 2022. 2(1): p. 65-76.

[24] DJAFRI, D.E., Élaboration électrochimique et caractérisation des couches minces de Ni (OH) 2. 2023, Université Kasdi Merbah Ouargla.

[25] RAMDANI, A. and K. Hiba, Etude et amélioration de la qualité des huiles lubrifiantes usagées avec des nanomatériaux La fabrication de nanoparticules pour le traitement des eaux et des huiles usagées Smart-NM-Traitement. 2023, université Ghardaia.

Chapiter III:

Résultats et Discussion

III.1 Introduction

Ce chapitre se concentre entièrement sur la présentation des résultats d'une biosynthèse de nanoparticules d'oxyde de magnésium à l'aide d'extraits de plantes *d'Asphodelus Tenuifolius Cav* et de *Salvia officinalis* (fraîches), ainsi que sur les résultats d'un film de nanocomposite de polyéthylène (LDPE) et d'MgO.

Les MgO-NPs préparées ont été caractérisées par diffraction des rayons X (DRX), microscopie électronique à balayage (MEB) et spectroscopie dispersive en énergie des rayons X (EDX). Les films nanocomposites ont également été caractérisés par microscopie électronique à balayage (MEB) et des tests de propriétés électriques.

III.2 Caractérisation des nanoparticules MgO

III.2.1 Diffraction des rayons X (DRX)

Nous avons caractérisé les nanoparticules de MgO par diffraction des rayons X (DRX), afin de déterminer la structure cristalline des phases formées dans les deux échantillons.

Les diffractogrammes des nanoparticules d'MgO synthétisé à partir de l'extrait *d'Asphodelus Tenuifolius Cav* et de *Salvia officinalis* sont présentés sur la Figure III.1 et la Figure III.2

Dans la gamme de 2θ allant de 5° à 90° a montré des pics de diffraction distinct avec des valeurs de 2θ de 37.04 , 43.03° , 62.29° , 74.89° et 78.84° associés respectivement aux plans (hkl) cristallins (111), (200), (220), (311), (222) indiquant la structure cubique à face centrée (Le paramètre de la maille est $a=b=c=4.2 \text{ \AA}$) de MgO rapporté dans la base de données JCPDS (N. 01-087-0652, N. 01-075-1525 et N. 01-077-2364).

Les pics forts et nets indiquent la cristallinité élevée du MgO préparé et l'absence de tout pic supplémentaire autre que les pics de diffraction caractéristiques des MgO-NPs concernant l'intensité des pics, on observe clairement sur les spectres que le pic le plus intense (100%) de MgO est situé à $2\theta=43^\circ$ dans les deux échantillons. Il correspond à la raie (200) ce qui montre que la majorité des cristallites de MgO sont orientées selon cette direction.

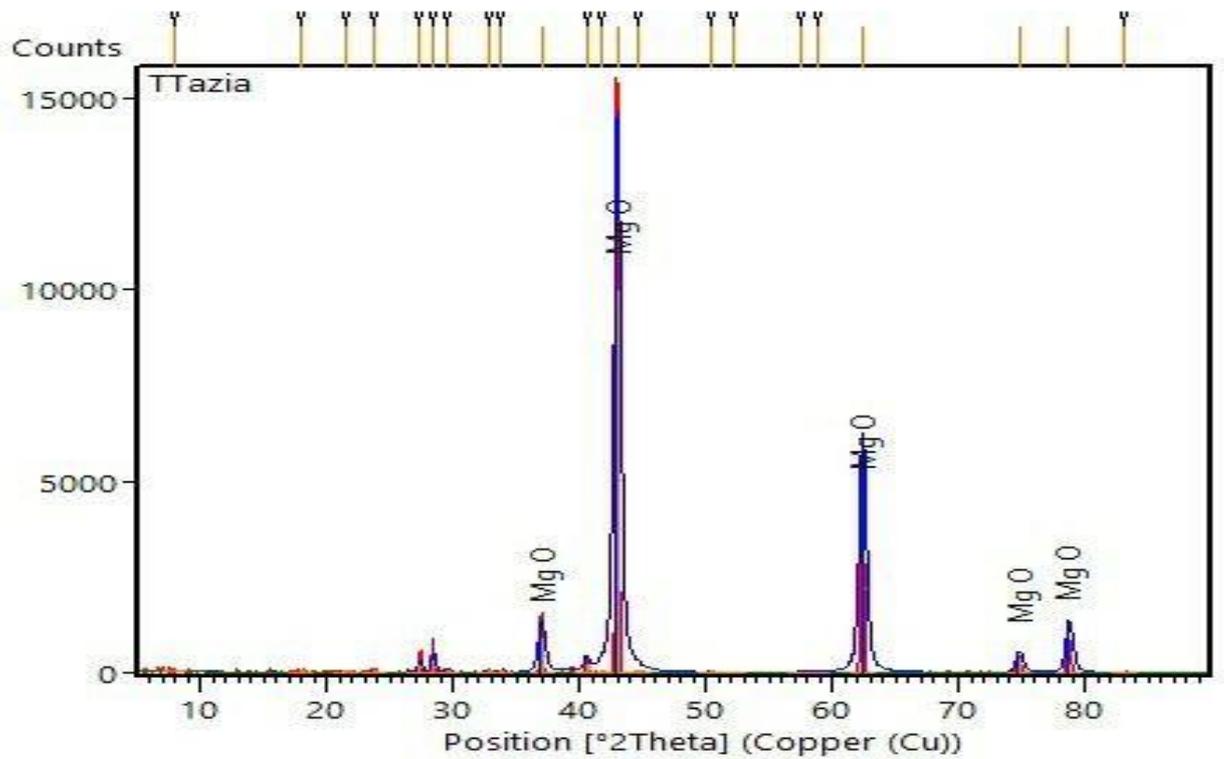


Figure III. 1: Analyse des nanoparticules MgO synthétisées avec de l'extrait *d'Asphodelus Tenuifolius Cav* par DRX

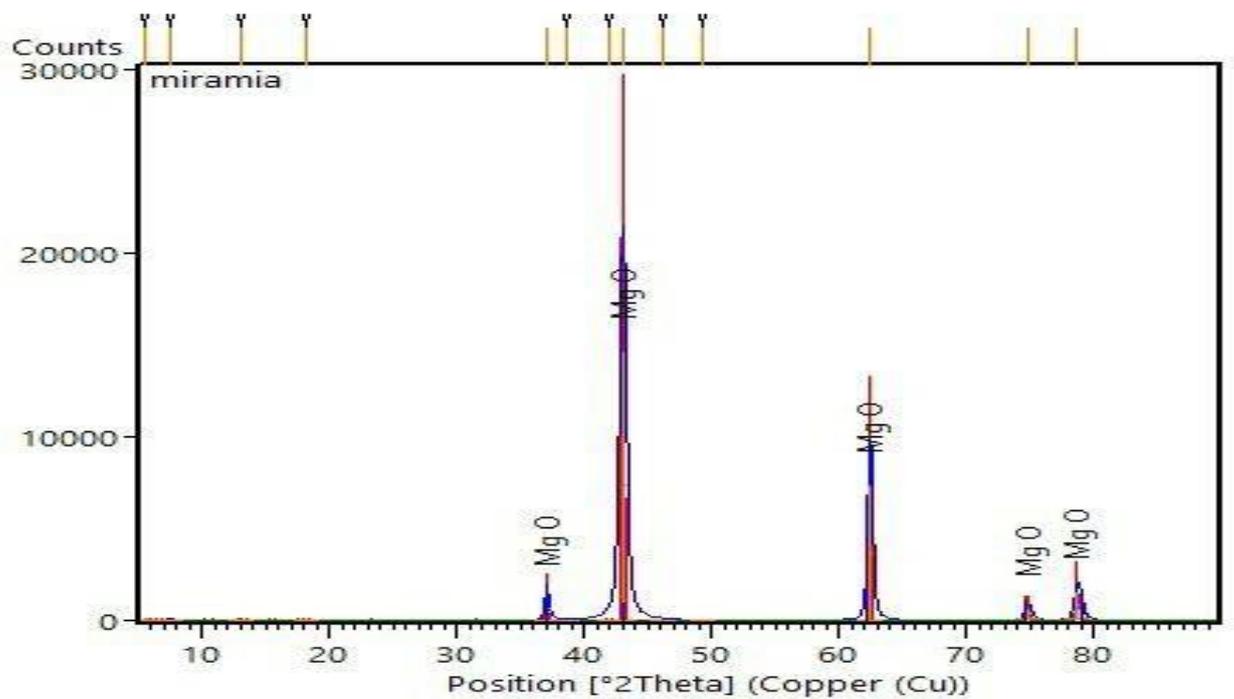


Figure III. 2: Analyse des nanoparticules MgO synthétisées avec de l'extrait de *Salvia officinalis Cav* par DRX

La taille moyenne des différents échantillons préparés (MgONPs), est calculé par la relation de Debye-Scherrer [1,2]. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau III.2, nous avons utilisé la relation suivante :

$$D = \frac{k\lambda}{\cos\theta.\beta} \quad \text{III.1}$$

Où

D = la taille des cristaux (nm)

θ : est l'angle de diffraction

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

λ = longueur d'onde des rayons X ($\lambda = 0.15406$ nm)

β = largeur à mi-hauteur de la réflexion à l'angle de Bragg 2θ . (FWHM(β) la largeur à mihauteur (en rad) du pic).

Tableau III. 1: la Taille des nanoparticules de MgO synthétisées

	2 théta (2θ)	FWHM	D (nm)	D moy (nm)
MgONPS (<i>d'Asphodelus</i> <i>Tenuifolius</i> <i>Cav</i>)	37.043	0.203	39.16	30.15
	43.032	0.232	34.24	
	62.298	0.291	27.24	
	74.896	0.33	24.12	
	78.846	0.306	25.97	
MgONPS (<i>Salvia</i> <i>officinalis</i>)	37.013	0.136	58.50	59.02
	43.095	0.134	59.50	
	62.355	0.119	66.79	
	74.938	0.150	53.12	
	78.889	0.139	57.29	

Comme indiqué dans le tableau III-1, les tailles moyennes des cristallites de deux échantillon MgONPs *d'Asphodelus Tenuifolius Cav* et MgONPs *Salvia officinalis* sont respectivement de 30.15 et 59.02 nm.

III.2.2 Microscope électronique à balayage (MEB)

Pour étudier la morphologie des poudres préparées (MgONPs) en fonction de l'extrait de la plante *d'Asphodelus Tenuifolius Cav* et de *Salvia officinalis* (fraîches), nous avons utilisé un microscope électronique à balayage (MEB) de type SU3500. (La Figure III.3), (La Figure III.4), montre les images des échantillons obtenus avec agrandissement 50000 et 35000.

Les deux images a et b de MEB des nanoparticules de MgO biosynthétise à partir de la plante montrent qu'elles ont une forme sphérique avec des déffirentes tailles et présentent quelques agglomérats.

Étant donné que la taille de ces particules indique qu'elles sont dans la gamme nanométrique.

La forme et la taille des nanoparticules peuvent être influencées par plusieurs facteurs, y compris la source de l'extrait végétal (le type de plante). Cela explique la différence entre la plante *d'Asphodelus Tenuifolius Cav*.et de *Salvia officinalis* [3].

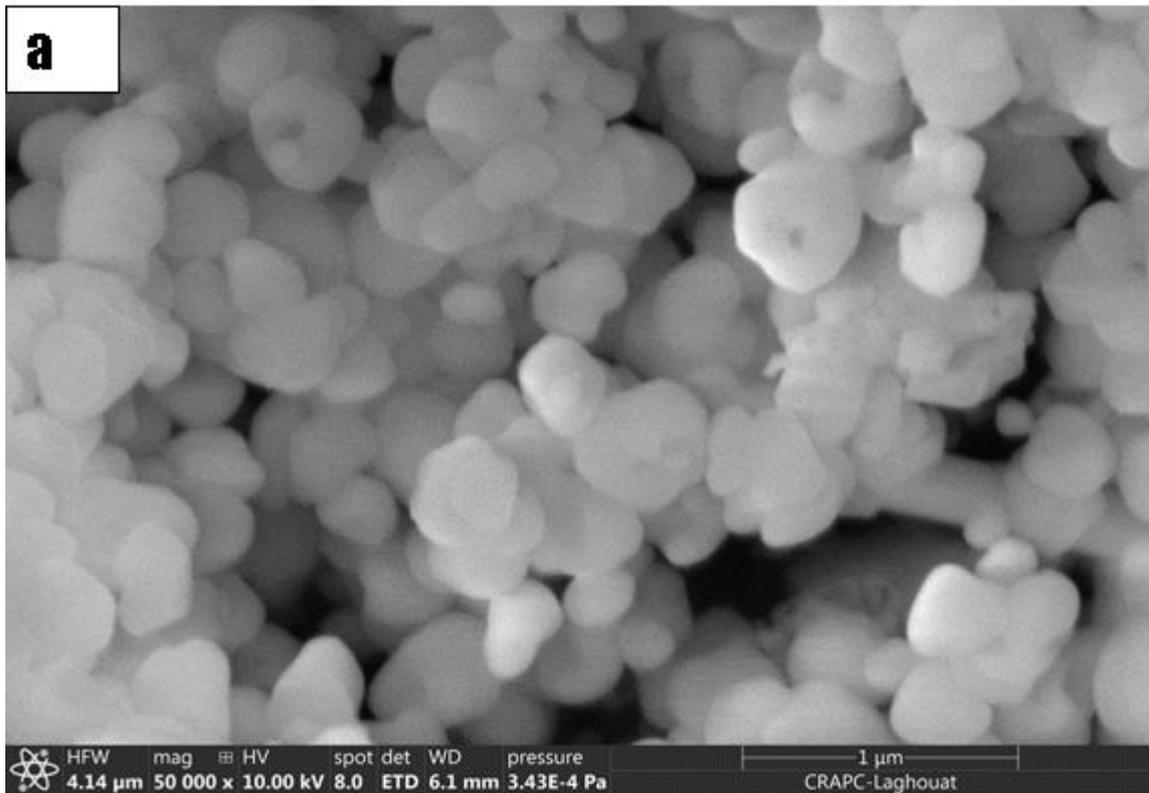


Figure III. 3: Images MEB des nanoparticules MgO synthétisées avec de l'extrait aqueux d *Asphodelus Tenuifolius Cav.*

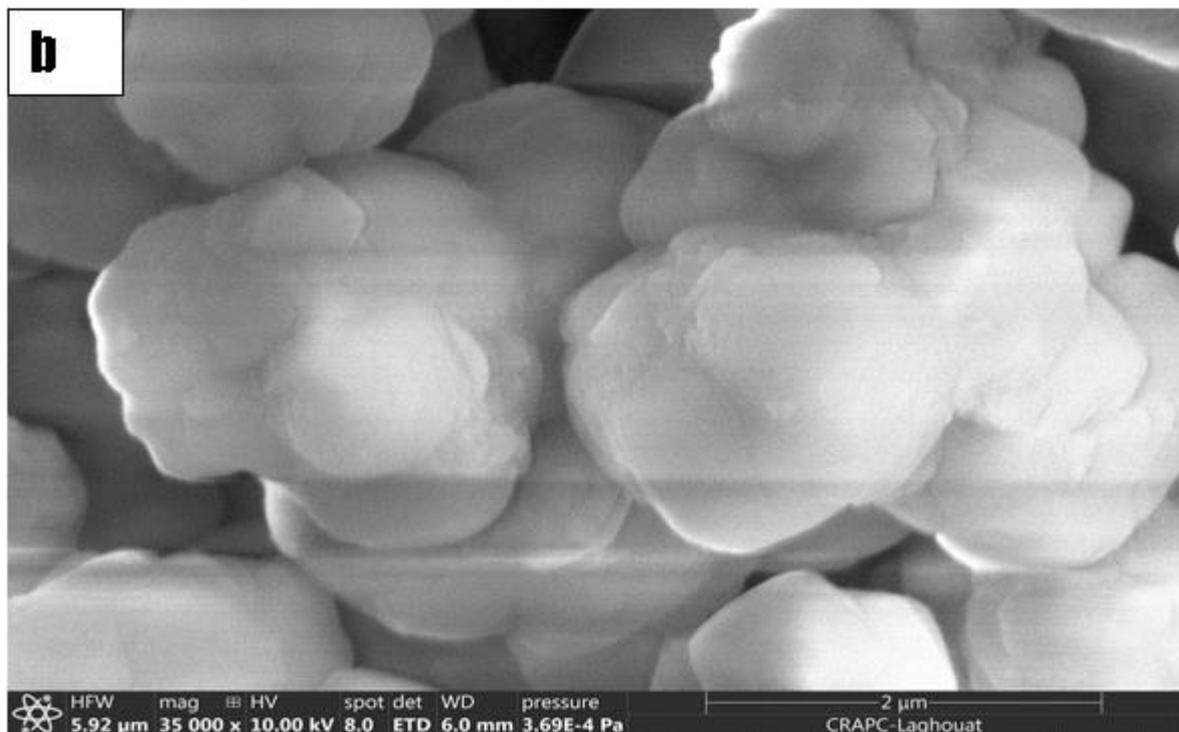


Figure III. 4: Images MEB des nanoparticules MgO synthétisées avec de l'extrait aqueux de *Salvia officinalis*.

III.2.3 Spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX) :

Pour examiner et analyser la composition chimique des nanoparticules d'oxyde de magnésium formées, nous utilisons la spectroscopie des rayons X à dispersion d'énergie (EDX) couplée à la MEB afin de déterminer la nature et l'abondance des différents éléments chimiques.

Les résultats obtenus par EDX sont donnés sur la Figure III. 5, le Tableau III.3 et la Figure III. 6, le Tableau III.4.

Les profils EDX ont montré les pics de tous les nanocomposites obtenus après calcination de deux échantillons de MgO-NPS pour chaque extrait végétal différent (*d'Asphodelus Tenuifolius Cav* et *Salvia officinalis*).

Le premier spectre de MgO-NPS de la plante *d'Asphodelus Tenuifolius Cav* II a révélé un pic élevé caractéristique, le magnésium (Mg) suivi de l'oxygène (O), du potassium(K), du radian (Rn), du calcium (Ca) et du carbone (C). Les pourcentages d'éléments composant les composés présents dans les nanoparticules étaient de 50,55 %, le magnésium de 44,48 %, l'oxygène et tous les autres composés de 4,94 %, (Tableau III.3),

La présence de l'atome de carbone observée dans le spectre est due aux différentes biomolécules organiques présentes dans l'extrait végétal, qui a agi comme agent réducteur lors de la réaction de formation des nanoparticules de MgO. Le carbone peut également provenir d'impuretés externes ou du dispositif utilisé dans l'analyse.

Concernant les autres éléments détectés :

- Potassium (K) : Peut être présent en tant que composant naturel de la plante, car le potassium est un élément essentiel pour de nombreuses fonctions biologiques.
- Radian (Rn) : Sa présence est inhabituelle dans les échantillons biologiques et pourrait être due à des interférences instrumentales ou à des traces d'autres éléments proches dans la table périodique.
- Calcium (Ca) : Un élément couramment présent dans les plantes, jouant un rôle structurel et fonctionnel dans les parois cellulaires et les processus métaboliques.

Ces éléments peuvent provenir de l'extrait de la plante utilisé pour la synthèse des nanoparticules ou être introduits comme impuretés lors du processus de préparation ou d'analyse.

Le deuxième spectre de MgONPs de la plante de *Salvia officinalis*. Il a révélé un pic élevé caractéristique, le magnésium (Mg) suivi de l'oxygène (O), du potassium(K). Les pourcentages

d'éléments composant les composés présents dans les nanoparticules étaient de 56,06 %, le magnésium de 42.89 %, l'oxygène et tous les autres composés de 1.05 %, (Tableau III.4).

Les spectres présentés sur la Figure III.5 et la Figure III, montrent une bonne résolution spectrale avec une petite quantité des impuretés < 5% Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par analyse DRX.

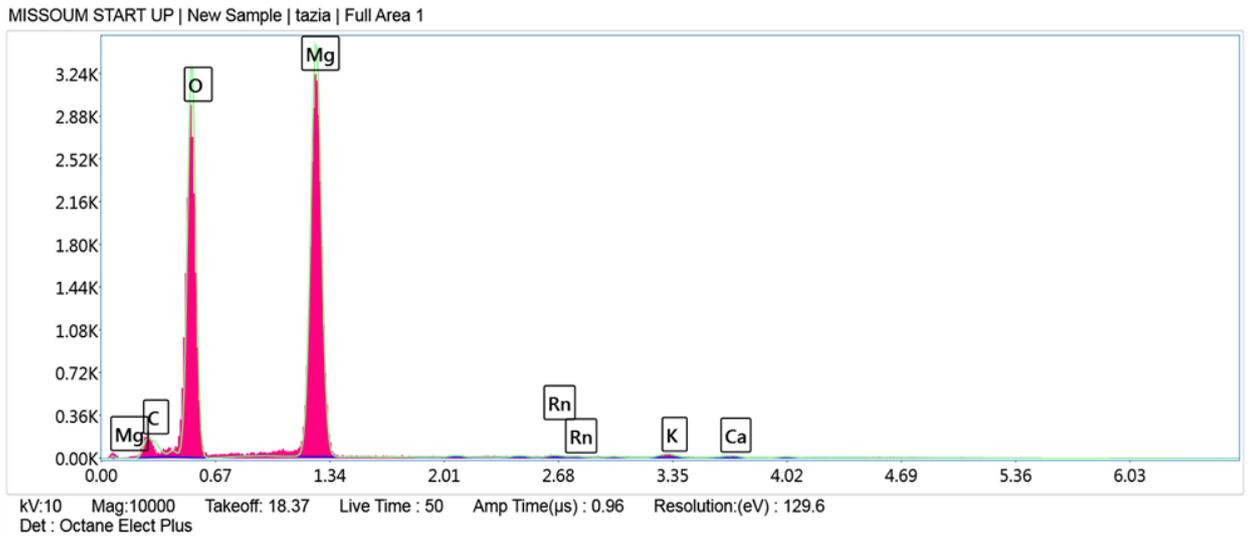


Figure III. 5: Spectre d'analyse EDX des nanoparticules MgO synthétisées avec de l'extrait *d'Asphodelus Tenuifolius Cav.*

Tableau III. 2: Les compositions chimique d'échantillon synthétisées avec de l'extrait *d'Asphodelus Tenuifolius Cav.*

Element	Weight %	Atomic %
Carbone C (K)	0.01	0.01
Oxygène O (K)	44.48	56.16
Magnésium Mg (K)	50.55	42.01
Potassium K (K)	1.90	0.98
Calcium Ca (K)	1.33	0.67
Radian Rn (M)	1.73	0.16

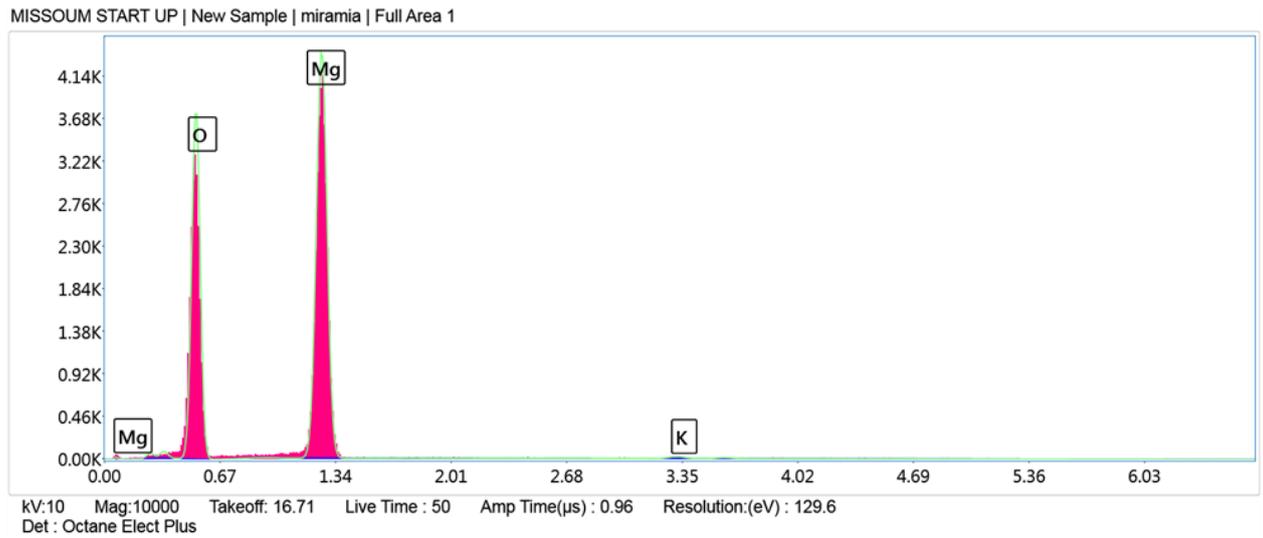


Figure III. 6: Spectre d’analyse EDX des nanoparticules MgO synthétisées avec de l’extrait de *Salvia officinalis*.

Tableau III. 3: Les compositions chimique d’échantillon synthétisées avec de l’extrait de *Salvia officinalis*.

Element	Weight %	Atomic %
Oxygène O (K)	42.89	53.47
Magnésium Mg (K)	56.06	46.00
Potassium K (K)	1.05	0.53

Tableau III. 4: Les compositions chimique de nanoparticule MgO avec des déférent l'extraits.

	Magnésium (Mg)		Oxygène (O)		Total	
	Massique%	Atomique%	Massique%	Atomique%	Massique%	Atomique%
MgONPs Par l'extrait d'<i>Asphodelus</i> <i>Tenuifolius</i> <i>Cav</i>	50.55	42.01	44.48	56.16	95.03	98.17
MgONPs Par l'extrait de <i>Salvia</i> <i>officinalis.</i>	56.06	46.00	42.89	53.47	98.95	99.47

Les résultats présentés dans le tableau III.5 indiquent que le pourcentage massique total, parmi les nanoparticules d'MgO, 95,03 % sont destinées à l'extrait d'*Asphodelus Tenuifolius Cav* et 98,95 % à l'extrait de *Salvia officinalis*,

Il est évident que ces deux pourcentages sont proches. Cela indique que les échantillons de MgO ont été préparés par Méthode sol-gel auto-combustible utilisant la chimie verte (extrait de plante). Donnant un bon résultat pour la formation de nanoparticules par la méthode verte.

III.3 Mécanisme réactionnel

Plusieurs mécanismes ont été proposés pour expliquer la formation de nanoparticules de MgO à partir d'extraits végétaux. Certaines études suggèrent qu'une liaison covalente peut se former entre un composé biologique et le métal, puis être rompue par traitement thermique pour former des nanoparticules de MgO.

Le travail peut être simplifié dans cet exemple en suivant les trois étapes suivantes :

- Les acides tanniques présents dans les extraits végétaux réagissent avec le nitrate de magnésium en solution.
- Cette réaction conduit à la formation d'un complexe Mg-tannique.

c) Enfin, les nanoparticules de MgO sont formées après un processus de calcination à haute température, allant de 400 à 600 °C.

L'image suivante illustre le mécanisme de manière simplifiée :

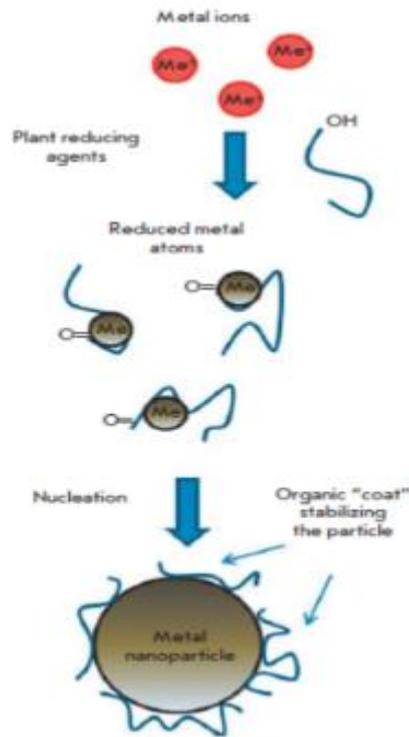


Figure III. 7: image illustrant le mécanisme de synthèse de MgONPs à l'aide d'un extrait végétal [4].

III.4 Caractérisation de film de nanocomposite (MgONPs/LDPE)

III.4.1 Microscope électronique à balayage (MEB)

La morphologie de surface de l'échantillon de film de polyéthylène et de l'échantillon de film composite (LDPE + MgONPs) a été examinée à l'aide d'un microscope électronique à balayage (MEB) SU3500 comme illustré dans la figure III. 8, figure III. 9, figure III. 10, Avec un pouvoir de grossissement allant jusqu'à 5000.

L'image représente la surface d'un échantillon de LDPE pur sans additifs, qui semble relativement lisse et homogène.

L'image b représente la surface de l'échantillon de LDPE après l'ajout de 1 % en poids d'oxyde de magnésium. On y observe la dispersion de petites particules blanches, réparties de manière espacée sur la surface du LDPE, représentant les nanoparticules de MgO (MgONPs).

L'image c représente la surface de l'échantillon de LDPE après l'ajout de 2 % en poids d'oxyde de magnésium. On y observe la dispersion de petites particules blanches, réparties de manière rapprochée sur la surface du LDPE, représentant les nanoparticules de MgO (MgONPs).

Il ressort des images b et c qu'une certaine quantité de nanoparticules de MgO a été incorporée dans la matrice de LDPE, et que la différence dans la distribution est due à la proportion de MgONPs ajoutée.

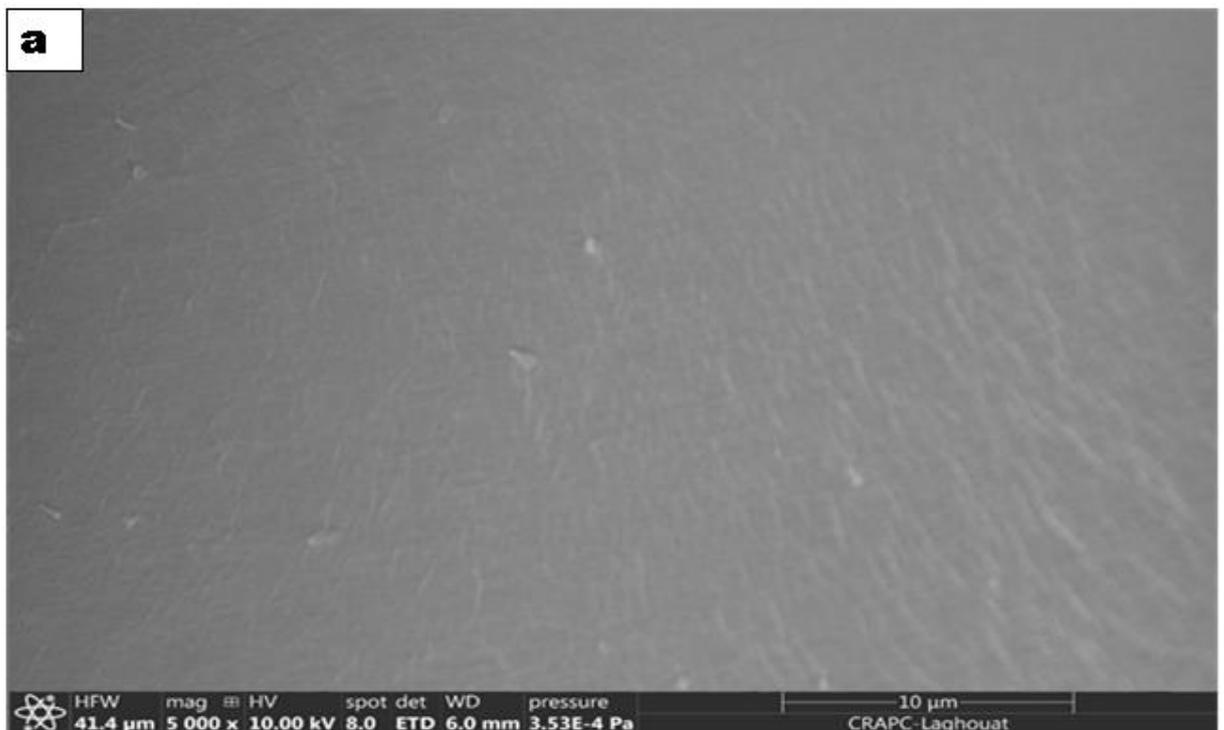


Figure III. 8: Image du MEB illustrant la surface d'un échantillon de LDPE pur.

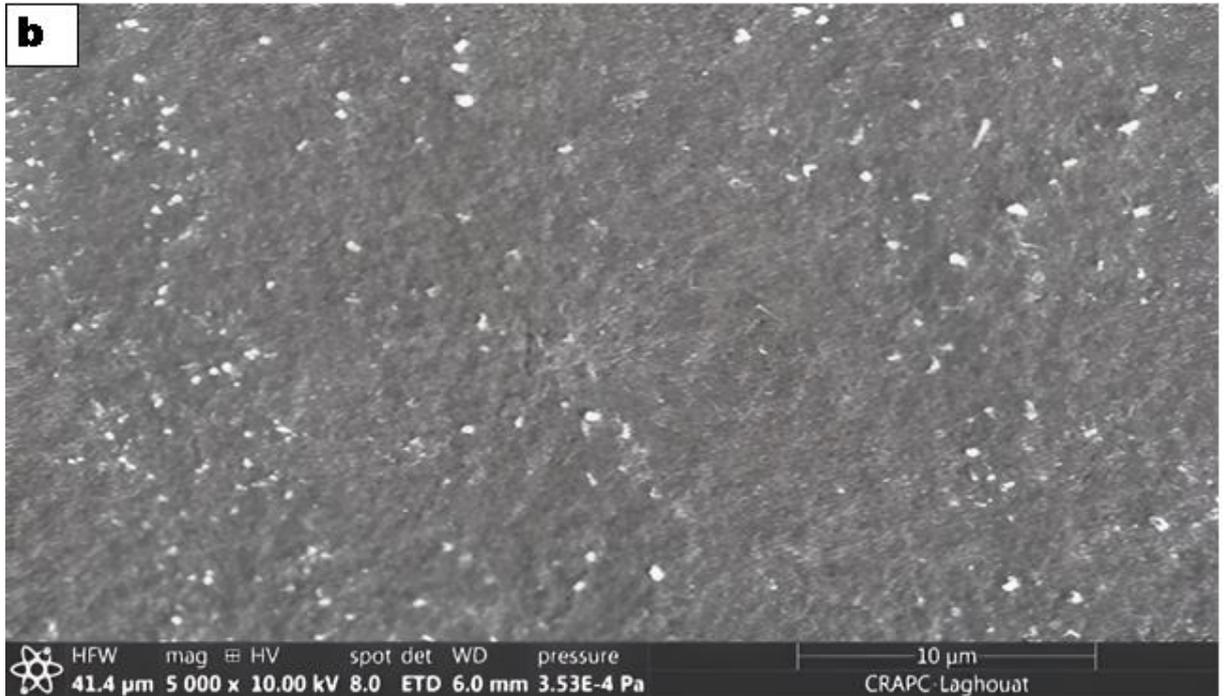


Figure III. 9: Image du MEB illustrant la surface d'un échantillon de LDPE/MgONPs (1Phr).

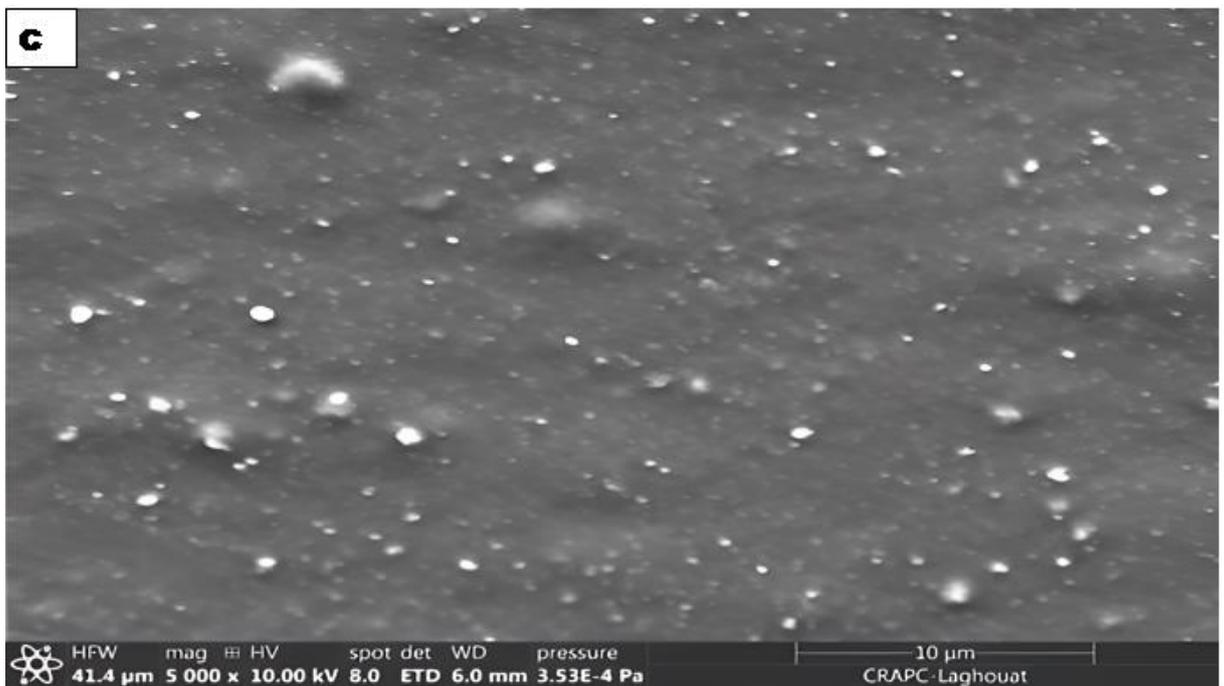


Figure III. 10: Image du MEB illustrant la surface d'un échantillon de LDPE/MgONPs (2Phr).

III.4.2 Tests diélectriques

Nous avons réalisé une série de tests électriques sur nos échantillons pour évaluer leurs propriétés isolantes et leur efficacité dans des applications électriques. Ces analyses ont été effectuées chez l'entreprise Souidi, spécialisée dans les essais électriques. Les tests incluaient la mesure de la constante diélectrique (ϵ_r), qui reflète la capacité du matériau à stocker l'énergie électrique dans un champ électrique. Nous avons également mesuré la résistivité volumique ($\Omega \cdot m$), une propriété qui détermine la capacité du matériau à résister au passage du courant électrique à travers son volume.

En outre, nous avons mesuré le facteur de dissipation ($\tan \delta$), qui donne un indice de l'efficacité du matériau en tant qu'isolant électrique et des pertes d'énergie qu'il subit. Enfin, nous avons testé la rigidité diélectrique (kV/mm) pour déterminer la tension maximale que le matériau peut supporter avant de perdre ses propriétés isolantes et de s'effondrer électriquement

III.4.2.1 Définition

- **Constante diélectrique (ϵ_r)**

La constante diélectrique d'un matériau décrit sa capacité à se polariser et à absorber l'énergie lorsqu'un champ électrique externe est appliqué à travers des plaques parallèles jouant le rôle d'un condensateur. Cette constante correspond à la partie réelle de la permittivité complexe. Elle est proportionnelle à la capacité et permet de mesurer l'alignement des dipôles [5,6].

- **Résistivité volumique ($\Omega \cdot m$)**

La résistivité spécifique est une propriété fondamentale d'un isolant électrique, car elle détermine la capacité du matériau à résister au passage des courants électriques [6,7].

- **Facteur de dissipation ($\tan \delta$)**

C'est le rapport entre l'énergie perdue sous forme de chaleur dans le matériau isolant et l'énergie stockée dans le matériau. Il indique l'efficacité de l'isolation électrique [5,6].

- **Rigidité diélectrique (kV/mm)**

La rigidité diélectrique désigne la tension maximale que peut supporter un matériau avant de s'effondrer, perdant ainsi sa capacité à empêcher le passage du courant électrique. Cette rupture se produit lors de la formation d'un court-circuit par un arc électrique [5_7].

III.4.2.2 Résultats

Normes : IEC 60228, IEC 60502-2 :2014, IEC 60332-1

Essais :

- Tous les essais individuels exigés par IEC 60502-2:2014 sont réalisés sur le câble et un certificat d'essai sera fourni sur demande.
- L'épaisseur de l'isolation sera mesurée selon IEC 60502-2:2014, clause no. 17.5.2, page no.116.

Tableau III. 5: Tests diélectriques de différents échantillons de LDPE et LDPE modifiés avec des nanoparticules de MgO.

Caractéristique diélectrique	LDPE Pure	LDPE/MgO 1Phr	LDPE/MgO 2Phr
Constante diélectrique (ϵ_r)	2.312	2.389	2.531
Résistivité volumique ($\Omega \cdot m$)	$4.147 \cdot 10^{15}$	$8.254 \cdot 10^{15}$	$2.286 \cdot 10^{16}$
Facteur de dissipation ($\tan \delta$)	0.00024	0.00031	0.00036
Rigidité diélectrique (kV/mm)	34	45	48

Les résultats obtenus à partir du Tableau III.6 pour différents échantillons de LDPE et LDPE modifiés par des nanoparticules de MgO montrent que :

1) Constante diélectrique (ϵ_r) :

- LDPE Pur (2,312) : La constante diélectrique du LDPE pur est correcte, mais limitée pour les applications nécessitant une isolation élevée.
- LDPE/MgO 1phr (2,389) : L'ajout de 1phr de MgO entraîne une augmentation de la constante diélectrique, ce qui améliore la capacité du matériau à stocker l'énergie électrique, un critère essentiel pour les câbles à haute tension.
- LDPE/MgO 2phr (2,531) : Avec une concentration de MgO augmentée à 2phr, le constant diélectrique continue d'augmenter, indiquant une amélioration supplémentaire de la capacité isolante.

- L'augmentation de la constante diélectrique avec l'ajout de MgO rend ces matériaux plus adaptés aux câbles à haute tension, où une capacité accrue de stockage des charges électriques est requise.

2) Résistivité volumique ($\Omega \cdot m$) :

- LDPE Pur ($4,147 \times 10^{15} \Omega \cdot m$) : La résistivité volumique élevée du LDPE pur indique qu'il s'agit d'un bon isolant.
- LDPE/MgO 1phr ($8,254 \times 10^{15} \Omega \cdot m$) : La résistivité volumique double avec l'ajout de 1phr de MgO, montrant une amélioration significative de l'isolation, ce qui signifie une réduction des fuites électriques.
- LDPE/MgO 2phr ($2,286 \times 10^{16} \Omega \cdot m$) : Une augmentation supplémentaire de la résistivité avec 2phr de MgO indique une résistance encore plus grande aux fuites, essentielle pour les câbles à haute tension.

- La résistivité volumique très élevée des échantillons modifiés indique que ces matériaux fonctionneraient bien comme isolants dans les câbles à haute tension, où une résistance élevée aux fuites électriques est nécessaire.

3) Facteur de dissipation ($\tan \delta$) :

- LDPE Pur (0,00024) : Le faible facteur de dissipation signifie que le matériau est efficace pour minimiser les pertes d'énergie.

- **LDPE/MgO 1phr (0,00031)** : La légère augmentation du facteur de dissipation avec 1phr de MgO reste dans des limites acceptables.
 - **LDPE/MgO 2phr (0,00036)** : Avec une concentration accrue de MgO, le facteur de dissipation augmente légèrement, mais reste faible et acceptable pour les applications à haute tension.
- Bien que le facteur de dissipation augmente avec l'ajout de MgO, il reste dans une plage acceptable. Pour les câbles à haute tension, ces valeurs sont bonnes, car elles indiquent des pertes d'énergie faibles dans l'isolant.

4) **Rigidité diélectrique (kV/mm) :**

- **LDPE Pur (34 kV/mm)** : La rigidité diélectrique du LDPE pur est correcte, mais pourrait être insuffisante pour certaines applications à haute tension.
- **LDPE/MgO 1phr (45 kV/mm)** : L'ajout de MgO à 1phr augmente considérablement la rigidité diélectrique, ce qui signifie une meilleure capacité à supporter des tensions électriques élevées.
- **LDPE/MgO 2phr (48 kV/mm)** : Avec 2phr de MgO, la rigidité diélectrique atteint 48 kV/mm, offrant une protection accrue contre les ruptures diélectriques.

L'augmentation de la rigidité diélectrique rend les matériaux modifiés avec des nanoparticules de MgO idéaux pour les câbles à haute tension, car ils peuvent supporter des tensions plus élevées sans risque de rupture.

- Sur la base de cette analyse, il est possible de conclure que le LDPE modifié avec des nanoparticules de MgO, en particulier les échantillons avec une concentration de 1phr et 2phr de MgO, offre des améliorations significatives des propriétés isolantes par rapport au LDPE pur. Ces améliorations font de ces matériaux des candidats prometteurs pour une utilisation dans les câbles à haute tension, où des isolants capables de supporter des tensions élevées, offrant une résistance élevée aux fuites électriques et minimisant les pertes d'énergie, sont essentielles.

Rèferences

- [1] Fatimah, S., et al., How to calculate crystallite size from x-ray diffraction (XRD) using Scherrer method. ASEAN Journal of Science and Engineering, 2022. 2(1): p. 65-76.
- [2] Trir, H., Conception des dispositifs optoélectroniques à base d'oxyde de cuivre. 2021, Université de mohamed kheider biskra.
- [3] Nguyen, N.T.T., et al., A critical review on the bio-mediated green synthesis and multiple applications of magnesium oxide nanoparticles. Chemosphere, 2023. 312: p. 137301
- [4] Ridhawati, R. and H. Fajar. SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL TITANIUM DIOKSIDA DENGAN BIOREDUKTOR EKSTRAK KAYU MANIS (Cinnamomum sp.). in Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M). 2017.
- [5] Khouaja, A., Développement de matériaux diélectriques à base de cellulose et de polymères thermoplastiques et/ou biosourcés. 2024, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue.
- [6] Bouguedad, D., Influence du vieillissement thermique sur les propriétés de l'éthylène propylène diène monomère (EPDM). 2010, Université Mouloud Mammeri.
- [7] Heid, T., Innovative nanostructured epoxy composites for enhanced high voltage insulation systems. 2015, École de technologie supérieure.

Conclusion

Générale

Conclusion générale

En conclusion de ce mémoire, nous résumons les résultats obtenus dans le domaine du développement et de la fabrication d'un film polymère nanocomposite pour améliorer les propriétés d'isolation des câbles électriques.

L'étude a permis de synthétiser des nanoparticules d'oxyde de magnésium en utilisant la méthode sol-gel par combustion auto-entretenue, considérée comme écologique et peu coûteuse, à partir d'extraits végétaux variés (*sauge* et *Tazia*), ce qui a permis d'obtenir des particules avec des caractéristiques exceptionnelles. Les résultats obtenus grâce à l'utilisation de techniques de caractérisation avancées telles que la diffraction des rayons X (XRD), la microscopie électronique à balayage (SEM), et la spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX) ont confirmé que les nanoparticules étaient sphériques avec quelques agglomérations et présentaient une structure cristalline cubique à faces centrées. La taille des particules moyenne de nos nanomatériaux calculés par la relation de Debye Scherer a révélé une taille moyenne des cristallites (30.15 et 59.02). Après avoir effectué des analyses des nanoparticules obtenues à partir des différents extraits, les résultats ont montré que les nanoparticules dérivées de la plante *Tazia* présentaient des propriétés exceptionnelles et des performances supérieures par rapport à celles dérivées de la *sauge*, et sur la base de ces résultats, les nanoparticules dérivées de la plante *Tazia* ont été choisies pour être incorporées dans le polyéthylène.

Lors de l'incorporation de ces particules avec le polyéthylène, la morphologie de la surface de l'échantillon composite a été vérifiée à l'aide du microscope électronique à balayage, et il a été constaté que les nanoparticules étaient dispersées et réparties sur la surface du polyéthylène. Cette incorporation a amélioré les propriétés d'isolation électrique du composite polymère, où les tests électriques ont montré que les propriétés requises étaient satisfaisantes et conformes aux attentes. Ce succès renforce la possibilité d'appliquer cette technique dans l'industrie des câbles électriques nécessitant des matériaux isolants de haute performance.

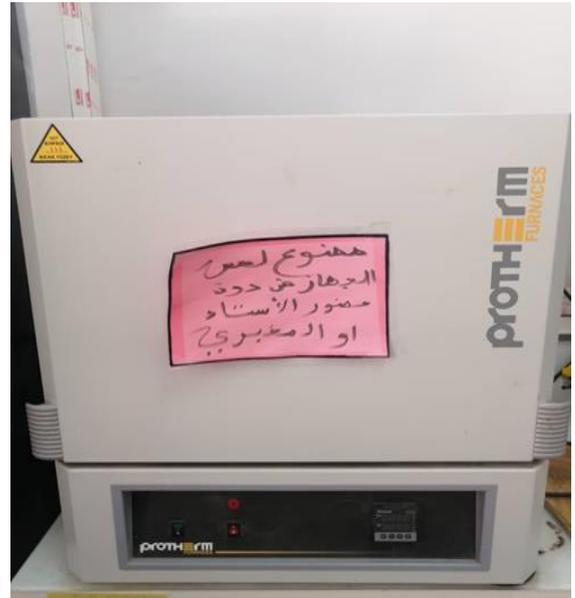
Cette étude ouvre de nouvelles perspectives pour explorer d'autres matériaux nanométriques et techniques de fabrication innovantes, contribuant ainsi à améliorer les performances électriques des matériaux isolants et à élargir leur utilisation dans diverses applications.

Annex

Annex 1 : Les appareils de laboratoire utilisé.



Le four



Etuve

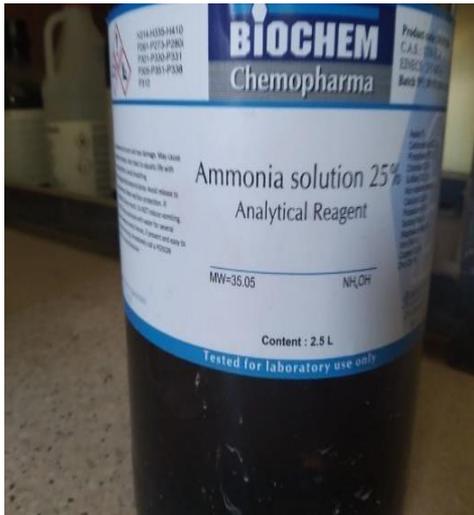


pH mètre.



Vortex (SA8)

Annex 2 : Les produits utilisés.



Hydroxyde d'ammoniac NH_4OH



Nitrate de magnésium $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$



Polyéthylène.

Annex 3 : Les Analyses de MEB.

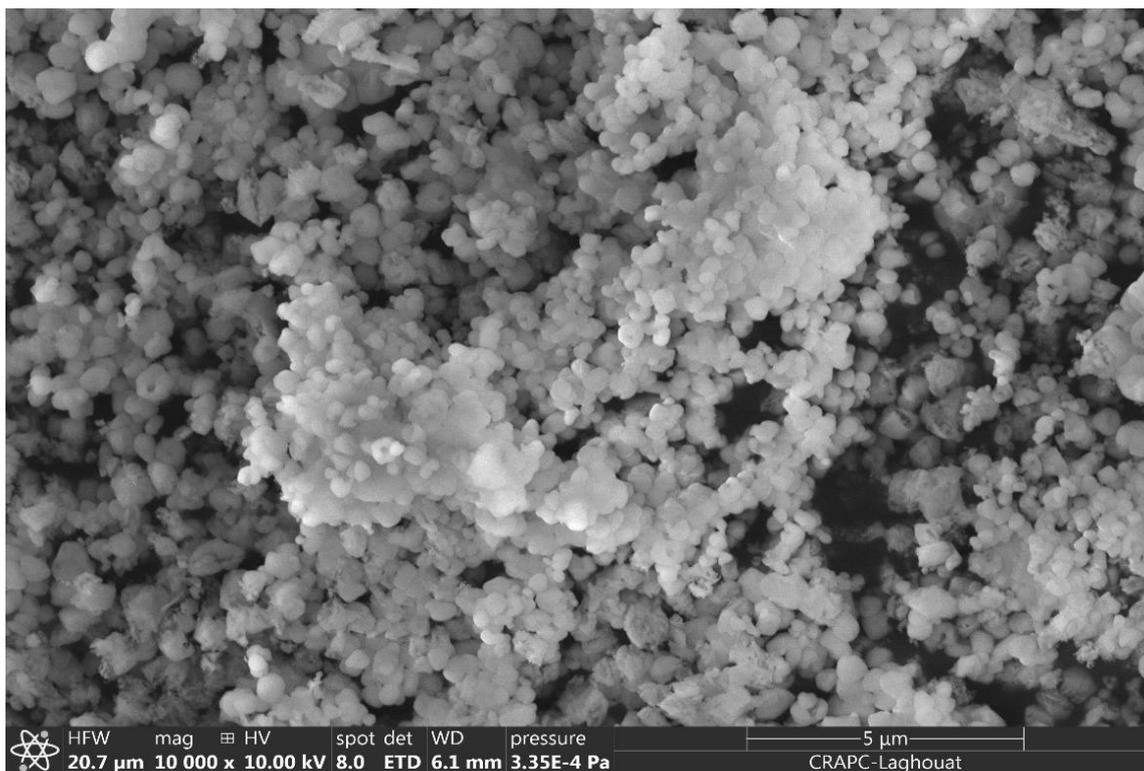


Image MEB des nanoparticules MgO synthétisées avec de l'extrait *d'Asphodelus Tenuifolius Cav.*

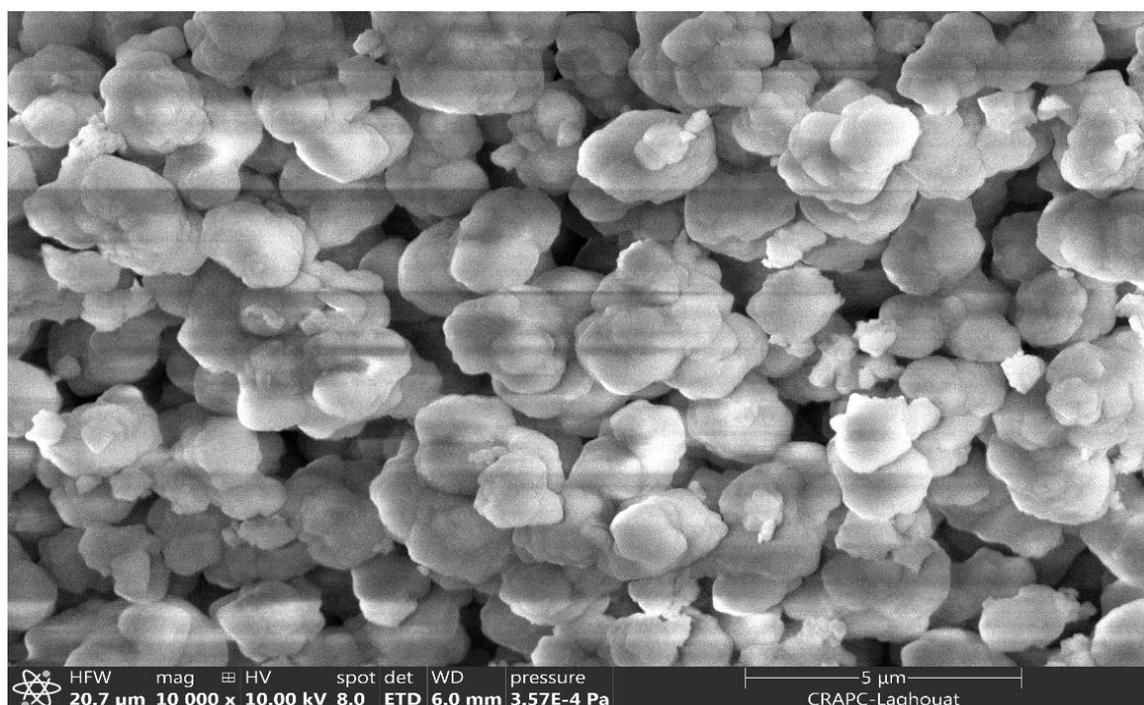
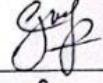
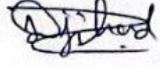


Image MEB des nanoparticules MgO synthétisées avec de l'extrait de *Salvia officinalis*.

Autorisation d'impression finale d'un mémoire de master

	Nom et prénom	Signature
Le président de jury	Dr. Dr : BENCHEIKH Salaheddine	
Examineur 1	Dr. Bentarfa Djihad	
Examineur 2	Dr.	
Encadrant	Dr. BOUKHARI Hamed	

Soussigne Dr :

Président de jury des étudiantes : Kiouas Djihad - Ben Koumar Karima

Filière : Génie des procédés : Spécialité : Génie chimique

Thème : Synthèse et caractérisation d'un nanocomposite à base d'oxyde de magnésium

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

Ghardaïa le : 02 / 12 / 2024

Le président de jury


Dr. BENCHEIKH
Salaheddine

Le chef de département



Partie *STARTUP*



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي
جامعة غرداية



عنوان المشروع :

*Synthèse et caractérisation d'un nanocomposite à base
d'oxyde de magnésium*

مشروع لنيل شهادة مؤسسة ناشئة في إطار القرار الوزاري 1275

العلامة التجارية



الاسم التجاري

ECI Nanotechnology

2023/2024.

بطاقة المعلومات

1- فريق الاشراف :

المشرف الرئيسي :	التخصص :
د. حامد بوخاري	الآلة وكهروميكانيك.

2- فريق العمل :

فريق المشروع	التخصص	الكلية
الطالب : بن قومار كريمة	هندسة كيميائية	علوم وتكنولوجيا
الطالب : كيوص جهاد	هندسة كيميائية	علوم وتكنولوجيا

فهرس المحتويات

المحور الأول : تقديم المشروع

المحور الثاني : الجوانب الابتكارية

المحور الثالث : النموذج الأولي التجريبي

المحور الأول: تقديم المشروع

❖ فكرة المشروع (الحلول المقترحة)

تعد الكهرباء من أهم مصادر الطاقة وأكثرها استخدامًا في حياتنا اليومية، ولا يمكن الاستفادة منها إلا بوجود كابلات التوصيل التي تنقل الطاقة من مصدرها إلى المستهلك. وعلى الرغم من التطور التكنولوجي المستمر، لا تزال بعض التحديات قائمة فيما يتعلق بتزويد الطاقة بشكل مستمر وفعال، خاصة خلال فترات ارتفاع الطلب مثل فصل الصيف. تدهور جودة عوازل الكابلات التقليدية يمكن أن يؤدي إلى تسرب الكهرباء، مما يشكل خطرًا على سلامة المستهلكين. بناءً على هذا التحدي، جاءت فكرة مشروعنا التي تهدف إلى تحسين جودة عوازل الكابلات الكهربائية لضمان توفير الطاقة بشكل آمن وفعال.

أحدثت تكنولوجيا النانو تقدمًا كبيرًا في مجال العوازل الكهربائية من خلال تحسين خصائصها وأدائها باستخدام مواد نانوية مثل الجسيمات النانوية المدمجة مع البوليمرات. هذا التحسين يعزز قوة العزل ويقلل بشكل كبير من تسرب الكهرباء. تتيح هذه التكنولوجيا تصميم عوازل أكثر فعالية وأقل حجمًا، مما يساهم في تحسين كفاءة الأنظمة الكهربائية بشكل عام.

وكمهندسين كيميائيين، يهدف مشروعنا إلى تعزيز وتحسين كابلات التوصيل من خلال التركيز على تطوير العوازل باستخدام تقنية النانو المتطورة. هذه التقنية ستساعد في صناعة عوازل ذات كفاءة عالية للكابلات.

❖ القيم المقترحة

منتجنا عبارة عن عازل لكابلات التوصيل الكهربائية يعتمد على جسيمات أكسيد المغنسيوم النانوي المصنع بطريقة التوليف الأخضر من مستخلص نبتة الطازية وذلك لتعزيز خصائص العزل وقوة الصلابة الميكانيكية.

القيمة المضافة التي يقدمها المشروع تشمل:

- توليف النانو بطريقة صديقة للبيئة.
- كوننا أول من صنع جسيمات أكسيد المغنسيوم النانوية من مستخلصي نبتتي الطازية والميرامية
- قوة العزل والصلابة الميكانيكية مع الحفاظ على الوزن الخفيف.
- تقليل ضياع الطاقة الكهربائية.
- منع التلف والتآكل.
- المقاومة الحرارية العالية.
- تحمل الجهد الكبير.
- إنتاج وطني.
- محافظة على سلامة الأفراد والممتلكات (الأجهزة والمعدات الكهربائي).

❖ فريق العمل

الطالبة 01: بن قومار كريمة متخصصة في الهندسة الكيميائية يتمثل دورها في مراقبة عمليات التصنيع الكيميائي لتحصلها على شهادة في هذا المجال والتحكم في الموارد المستخدمة والتأكد من اكمال المشروع وفقا للمعايير المطلوبة. التحقت بدورات في المقاوله الذاتية واستراتيجيات السوق كما قامت بالتسجيل في منصة start up.DZ للحصول على علامة شركة ناشئة، بالإضافة الى معرفتها بنموذج الأعمال BMC .

الطالبة 02: كيوص جهاد متخصصة في الهندسة الكيميائية دورها يكمن في الاشراف على تقدم المشروع وتسويقه بفضل خبرتها في مجال التسويق، وتنسيق جدول المهام، كما التحقت بدورات في المقاوله الذاتية، واستراتيجيات التسويق، وقامت بالتسجيل في منصة start up.DZ للحصول على علامة الشركة الناشئة، بالإضافة الى معرفتها بنموذج الأعمال BMC.

المشرف: حامد بوخاري متخصص في الية وكهروميكانيك يتمثل دوره في البحث والتطوير وتوفير الخبرة والدعم لأعضاء الفريق، كما ساهم في تحديد المنهجيات التجريبية وتحليل النتائج المتحصل عليها.

❖ أهداف المشروع

- الهدف الرئيسي هو تحسين جودة عوازل الكابلات التوصيل الكهربائية وتحقيق السلامة الأمنية للمواطنين.
- نسعى الى تعميم استخدام هذه العوازل المحسنة عبر كامل التراب الوطني وأن يكون منتجنا رقم 1 محليا.
- استغلال الموارد الأولية المحلية في الانتاج.

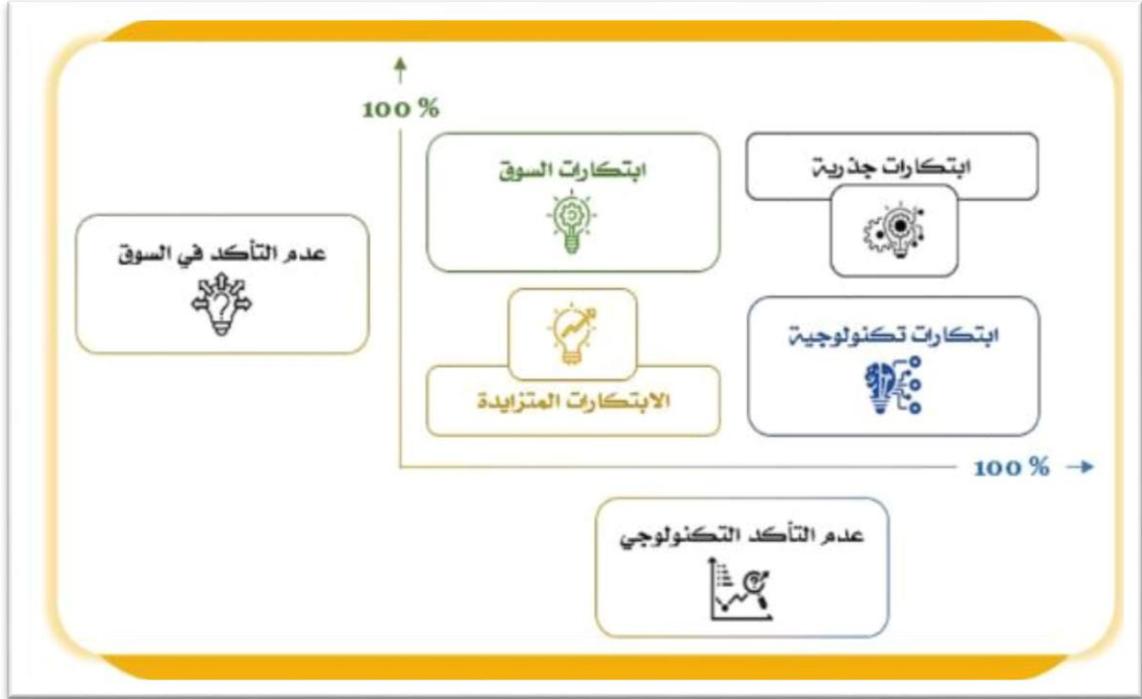
○ تحقيق حصة سوقية من اجمالي الناتج الوطني.

❖ الجدول الزمني لإنجاز المشروع

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

**المحور الثاني :
الجوانب الابتكارية**

طبيعة الابتكارات



تتمثل الجوانب المبتكرة لمشروعنا في مايلي:

✓ ابتكار السوق:

- أول شركة في الجزائر تعتمد على تقنية الجسيمات النانوية في إنتاج عوازل الكابلات التوصيل الكهربائية.
- بيع الجسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوي كمنتج إضافي.
- توفير السلامة والوقاية للمواطنين.
- نعتمد في تسويق منتجنا على تأكيد المزايا الفريدة للمنتج مما يشجع الزبائن على اقتنائه.

المحور الثالث : النموذج الأولي

النموذج الأولي التجريبي



النموذج الأولي التجريبي هو النسخة الأولية من المنتج التي تُستخدم كأساس لتطوير النسخة النهائية التي ستُطرح في السوق بشكل رسمي. في إطار استخدام الجسيمات النانوية لإنتاج عوازل الكابلات التوصيل الكهربائية، يتضمن الأمر عدة خطوات رئيسية تبدأ بتصميم الخصائص المطلوبة للجسيمات النانوية، تليها عملية تحضيرها عبر تقنيات متعددة. بعد ذلك، تُستخدم هذه الجسيمات لتحسين كفاءة عوازل الكابلات، حيث يتم تقييم أدائها من خلال التحليلات والتوصيفات. إذا لم تحقق هذه العوازل المعايير المطلوبة، يتم إجراء تحسينات وتطويرات للوصول إلى النموذج النهائي المرغوب. تسهم الجسيمات النانوية في تعزيز العزل والقوة الميكانيكية والحرارية للعوازل، حتى في أصعب الظروف، رغم وجود بعض التحديات الفنية والاقتصادية. يُعد استخدام الجسيمات النانوية مجالاً واعداً لتحسين جودة عوازل الكابلات الكهربائية.

✓ المنتج النهائي



○ كابل توصيل كهربائي

✓ المنتج النصف نهائي



○ جسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية MgO



○ عازل على شكل فيلم

✓ تقييم فعالية العازل وذلك من خلال بعض الاختبارات كهربائية معروضة في الجدول التالي :

LDPE/MgO 2phr	LDPE/MgO 1phr	النقي LDPE	خصائص العازلة
2,531	2,389	2,312	الثابت العازل (ϵ_r)
1016*2.286	1015*8.254	4.147*10 ¹⁵	المقاومة الحجمية ($\Omega \cdot m$)
0,00036	0,00031	0,00024	عامل الفقد ($\tan \delta$)
48	45	34	قوة العزل الكهربائي (kV/mm)

BMC

شرائح العملاء

- شركات توزيع الكهرباء (سونلغاز).
- محطات النقل (القطارات)
- شركات تصنيع الكابلات الكهربائية.
- شركات توليد الطاقة الكهربائية.
- الشركات الصناعية والكبرى.
- التجار المتخصصون في بيع المواد الكهربائية.

العلاقة مع العملاء

- توفير معلومات مفصلة عن مزايا المنتج.
- توفير ضمانات و خدمة ما بعد البيع.
- خدمة بيع عبر موقع الكتروني لتسهيل عملية التواصل.

قنوات التوزيع :

- B2B: (Business to Business)
التعاملات التجارية مع شركات مصنعة للكابلات الكهربائية.
- B2C: (Business to Consumer)
التعاملات التجارية مع المستهلك.
- الموقع الالكتروني, وسائل التواصل الاجتماعي, البريد الالكتروني وعبر الهاتف.

القيم المقترحة

- توليف النانو بطريقة صديقة للبيئة.
- كوننا أول من صنع جسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية من مستخلصي نباتي الطازية والميرامية.
- قوة العزل والصلابة الميكانيكية مع الحفاظ على الوزن الخفيف.
- تقليل ضياع الطاقة الكهربائية.
- منع التلف والتآكل.
- المقاومة الحرارية العالية.
- تحمل الجهد الكبير.
- انتاج وطني.
- محافظة على سلامة الأفراد والممتلكات (الأجهزة والمعدات الكهربائي).

الأنشطة الرئيسية

- انتقاء المواد الاولية و النباتات.
- توليف الجسيمات النانوية.
- تصنيع عازل كهربائي .
- تصنيع كابل كهربائي .
- التعبئة و التغليف.

الموارد الرئيسية :

- الموارد البشرية :
عمال مؤهلين في المجال.
- الموارد المادية :
مصنع (مكان العمل), مكاتب مجهزة , معدات والات و مواد أولية , شاحنات التوصيل.
- الموارد المالية : قرض مالي.

شركاء رئيسيون

- موردو نباتات.
- موردو مواد أولية.
- مركز البحث العلمي والتقني في التحليل الفيزيائي والكيميائي

.CRAPC

مصادر الدخل

- بيع المنتج النهائي (كابل توصيل الكهربائي).
- بيع المنتج نصف النهائي (جسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية و العازل كابلات التوصيل).

هيكل التكاليف

- تكاليف المواد الاولية.
- تكاليف العتاد و المعدات (تكلفة الشراء و الصيانة).
- تكاليف تحليل.
- اجور العمال.



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



رقم: 49 / ح.أ.ج.ع.غ/2024

شهادة توظيف "مشروع مبتكر وفق قرار 1275"

أنا الممضي أسفله، السيد : د/ مراكشي عبد الحميد

مسير حاضنة الأعمال: جامعة غرداية (بالإنابة)

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

بتاريخ:

رقم علامة الحاضنة:

طبيعة المشروع: مؤسسة ناشئة

أشهد أن الطالب / الطالبة التالية أسمائهم:

الاسم واللقب	الطور الدراسي	التخصص	الكلية
كيوص جهاد	M2	هندسة كيميائية	كلية العلوم والتكنولوجيا
بن قومار كريمة	M2	هندسة كيميائية	كلية العلوم والتكنولوجيا

تحت إشراف الاستاذ/الاساتذة التالية أسمائهم:

الاسم واللقب	الرتبة	التخصص	الكلية
بوخاري حامد	أستاذ محاضر ب	اللية	كلية العلوم والتكنولوجيا

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

تصنيع عوازل للكابلات الكهربائية بتقنية النانو

خلال السنة الجامعية 2024/2023.

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

حرر في غرداية بتاريخ: 2024/05/13

مدير الحاضنة (بالإنابة)

