

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Kasdi Merbah – Ouargla



Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie des procédés

Mémoire de fin d'étude
En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Industries Pétrochimiques

Spécialité : génie pétrochimique

Présenté par :

RABEHI Moussa

GOHMES Amar

FERHI Charaf eddine

Thème :

**Synthèse bibliographique sur l'application
de la nanotechnologie pour l'élimination de
quelques polluants**

Soutenu publiquement 11 juin 2022 devant le jury composé de:

GOUDJIL Mohamed Bilal	MCA	Président	UKM Ouargla
CHAIB Hadjira	MAA	E xaminatrice	UKM Ouargla
BENABDESSELAM Soulef	MCA	Encadreur	UKM Ouargla

Année universitaire 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ ... يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ

وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ

وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ ﴾

صدق الله العظيم

[المجادلة: 11]

الشكر و العرفان

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ وَمَا بِكُمْ مِنْ نِعْمَةٍ فَمِنَ اللَّهِ ثُمَّ إِذَا مَسَّكُمُ الضُّرُّ فَإِلَيْهِ تَجْأَرُونَ ﴾

[سورة النحل: 53]

نحمد الله رب العالمين ... والصلاة والسلام على سيد الخلق أجمعين رسولنا محمد الأكرم وآله و
صحابه الطيبين الطاهرين

لا شيء أجمل من كلمة شكر تتبع من القلب وتحمل اعترافاً بالامتنان. ومن لا يشكر الناس لا
يشكر الله

بالبدء نتقدم بالشكر الجزيل والامتنان إلى الأستاذة الفاضلة الدكتورة

"سولاف بن عبد السلام" التي أشرفت على هذه المذكرة ورافقتنا في جميع الأوقات و لم تبخل

علينا بنصائحها القيمة كلما واجهنا مشاكل أو صعوبات كما لا ننسى شكر اللجنة المناقشة

المكونة من الدكتور قوجيل محمد بلال و الدكتورة شعيب هجيرة على قبولهم مناقشة هاته

المذكرة و كذلك جميع أساتذتنا و معلمينا الذين رافقونا من بداية مشورنا إلى آخره

شكرا جزيلا لكم معلمينا لكم منا كل التقدير والإمتنان

الإهداء

إلى الينبوع الذي لا يمل العطاء إلى من حاكت سعادتني بخيوط منسوجة من قلبها إلى

والدتي والى جدتي العزيزة

الى من سعى وشقى لانعم بالراحة والهناء الذي لم يبخل بشيء من اجل دفعي في طريق النجاح الذي علمني ان ارتقي سلم الحياة بحكمة وصبرالى

والدي العزيز

الى من حبهم يجري في عروقي ويلهج بذكرهم فؤادي الى

أخوتي واختي وابنها اسحاق

الى من سرنا سويا ونحن نشق الطريق معا نحو النجاح والابذاع الى من تكاتفنا يدا بيد ونحن نقطف زهرة تعلمنا الى

اصدقائي وزملائي وأخص بالذكر عزيز

و إلى من علموني حروفا من ذهب وكلمات من درر وعبارات من أسمى وأجلى عبارات في العلم إلى من صاغوا لي من علمهم حروفا ومن فكرهم منارة تنير لنا مسيرة العلم والنجاح والى

اساتذتي الكرام

اهدي هذا العمل المتواضع راجيا من المولى عز وجل ان يجد الفبور والنجاح

موسى رابحي

الإهداء

أهدي هذا العمل المتواضع إلى كل من كان له الفضل علينا

بعد الله وأخص بالذكر الوالدين الكرمين

الذين حرصوا على تنشئتنا وتعليمنا وسهروا الليالي من أجلنا

كما اهديتها إلى كل إخوتي وأخواتي وإلى كل الأصدقاء و

زملاء الدراسة

وكما لا أنسى الأساتذة الكرام الذين ينيرون الدروب

للأجيال بشعلة العلم

وإلى كل من ساهم في هذا العمل

عمر قحمص

الإهداء

قال تعالى : ﴿وَقُلْ أَعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ وَسَتُرَدُّونَ إِلَىٰ عِلْمِ الْغَيْبِ وَالشَّهَادَةِ فَيُنبِّئُكُمْ بِمَا كُنْتُمْ تَعْمَلُونَ﴾ [التوبة: 105]

إلهي لا يطيب الليل إلا بشكرك ولا يطيب النهار إلا بطاعتك ولا تطيب اللحظات إلا بذكرك .. ولا تطيب الآخرة إلا بعفوك ولا تطيب الجنة إلا برويتك

الله جل جلاله

إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة .. ونصح الأمة .. إلى نبي الرحمة ونور العالمين

سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم

إلى ملائكي في الحياة .. إلى معنى الحب وإلى معنى الحنان والتفاني .. إلى بسمة الحياة وسر الوجود إلى من كان دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي إلى أعلى الجباب

أمي الحبيبة

أقف اليوم يا أمي لأعيش لحظة انتهاء مرحلة مهمة في حياتي، وها أنا ذا أقف بين يديك بعد سنوات التعب الطويلة لأهدي لك نجاحي وشهادة تخرجي أنت تستحقها. لأنه لولاك لما وصلت لما أنا فيه الآن. وبعد تحقيقي لهذا النجاح أرجع بالذاكرة لأتذكر كل من قدم لي يد العون والمساعدة للوصول إلى هذه المرحلة الهامة في حياتي. فأجد أنك قبل الكل تحتلين المركز الأول إلى من كلله الله بالهيبه والوقار .. إلى من علمني العطاء بدون انتظار .. إلى من أحمل اسمه بكل افتخار ..

والدي العزيز

إلى من يذكرها القلب قبل أن يكتب القلم، إلى من قاسمتني حلو الحياة ومرها، تحت السقف الواحد ..

أختي العزيزة أنفال

إلى شموع البيت مرحبا انوارها إخوتي الأعراء انس و إسحاق و اربيع و رحانة إلى من تحبيني بسمتهم و تميّني دمعتهن ، إلى مسك البيت رحمة الله عليهم

جداي الحاج حسيني و الطاهر فرحي و جداتي زهيرة سهيل وسعيدة الدبة

إلى كل من يحمل لقب " فرحي " و على رأسهم أعمامي و عماتي وكل أولادهم. إلى كل من يحمل لقب " حسيني " و على رأسهم كل أخوالي و خالاتي وكل أولادهم. إلى أحسن من عرفني بجم القدر، الأصدقاء القدامى، و أصدقاء الدراسة و اخص بالذكر رفيقا المذكرة

موسى و عمر

إلى الذين حملوا أقدس رسالة في الحياة إلى الذين مهدوا لنا طريق العلم والمعرفة .. أساتذتنا الأاضل

شرف الدين فرحي



Sommaire

Sommaire	page
Dédicace	
Remerciements	
Sommaire	ii
liste de figure	v
Liste de Tableau	v
Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur la nanotechnologie	
1.1. Introduction:	4
I-2 Le mot nano	4
I-3 Définition Nanotechnologie	4
I-4 Histoire de la nanotechnologie	4
I-5 Notions de base	5
I-6 Principes et caractéristiques de la nanotechnologie	5
I-7 Dimensions des nanomatériaux	6
I-8 Formes de nanomatériaux	7
I-8-1 Points quantiques	7
I-8-2 Fullerène	8
I-8-3 Nanobilles	8
I-8-4 Nanoparticules	9
I-8-5 Nanotubes	9
I-8-6 Nanofils	10
I-9 Utilisations de la nanotechnologie	11
I-9-1 Le domaine médical	11
I-9-2 Aviation	11
I-9-3 Le domaine de l'énergie	11
I-9-4 Industrie	11
I-10 L'importance de la nanotechnologie	11
I-11 Les difficultés face aux nanotechnologies	12

I-12 L'effet de la nanotechnologie	12
I-13 Avantages de la nanotechnologie	13
Chapitre II: Applications de La nanotechnologie	
II-1 Introduction	15
II-2 Nanoremédiation et traitement de l'eau	16
II-2-1 Assainissement de l'environnement	16
II-2-2 Filtration de l'eau	16
II-2-3 Nanotech pour désinfecter l'eau	17
II-3 Applications industrielles	17
II-3-1 Applications potentielles des nanotubes de carbone	17
II-3-2 Construction	18
II-3-3 Nanoélectronique	19
II-4 Applications énergétiques	19
II-4-1 Cellules solaires	19
II-4-2 Piles à combustible à hydrogène	20
II-4-3 Piles au nanographène	20
II-4-4 Augmenter l'efficacité de la production d'énergie	20
II-5 Chimie	21
II-5-1 La catalyse	21
II-5-2 Filtration	21
II-6 La nanotechnologie en médecine	21
II-6-1 La nanotechnologie en dentisterie	22
II-6-2 La nanotechnologie en cancer	22
II-6-3 La nanotechnologie dans le traitement de la maladie d'Alzheimer	23
II-6-4 Nano dans l'administration de médicaments	23
II-6-5 Visualisation	23
II- 6-6 Ingénierie tissulaire	23
II-6-7 Résistance aux antibiotiques	24
II-6-8 Réponse immunitaire	24
II-6-9 Arthroscopie	24
II-7 Biens de consommation	24
II-7-1 Secteur alimentaire	25
II-7.1.1 Nano-aliments	25
II-8 Agriculture	26

II-8-1 Augmenter la quantité et la qualité du rendement	26
II-8-2 Nano engrais	26
II-8-3 Utilisation optimale de l'eau pour soutenir la production agricole	26
Chapitre III: Synthèse bibliographique sur l'application de la nanotechnologie pour l'élimination de quelques polluants	
III-1 INTRODUCTION:	29
III-2 Utilisation des nanoparticules pour Élimination du benzène et du toluène	29
III-2.1 nanoparticules de Fe ₃ O ₄ /AC@SiO ₂ @Sulfanilamide	29
III-2.2 nanoparticules de Fe ₃ O ₄ / AC @ SiO ₂ @1,4-DAAQ	30
III-2.3 nanoparticules d'oxyde de cuivre (CuO-NPs)	31
III-2.4 nanoparticules de Fe ₃ O ₄ @AC@SiO ₂ @A8HQ5S	32
III-3 Utilisation nanoparticules pour Élimination du Pb(II)	34
III-3.1 nanoparticule de magnétite CH-MNP-CA	34
III-3.2 magnétique nanoparticule de Fe ₃ O ₄ @ SiO ₂ – NH ₂	35
III-3.4 nouvelles nanoparticules magnétiques de GFMNPECABs	35
III-3.5 Nanotubes 3D MnO ₂ @ hydrogel d'oxyde de graphène (Nt3DMNOHOG)	36
III-4 Utilisation des nanoparticules pour Élimination du malachite vert	39
III-4.2 nano ferrite de cuivre (CuFe ₂ O ₄)	39
III-4.3 Nanocomposite (Fe ₃ O ₄ @AJPL)	39
III-4.4 Nanotubes d'halloysite (HNT)	40
III-4.5 nanoparticules de (α-Fe ₂ O ₃ -rGO)	41
Conclusion	45
Références	47

Liste de figures		
La Figure I.1	la division des nanomatériaux en termes de dimensions	7
La Figure I.2	Points quantiques	8
La Figure I.3	Fullerène	8
La Figure I.4	Nanobilles	9
La Figure I.5	Nanoparticules	9
La Figure I.6	Nanotubes	10
La Figure I.7	montreNanofils	10
La Figure II.1	Schéma montrant les domaines d'application des nanotechnologies	15
La Figure III.1	Comparaison de la capacité d'adsorption des nano-adsorbants pour le toluène et le benzène.	33
La Figure III.2	Comparaison des capacités d'adsorption du Pb(II) avec différents matériaux	38
La Figure III.3	comparaison des capacités maximales d'adsorption de MV pour différents types d'adsorbants	42
Liste de tableaux		
Tableau I.1	Principes et caractéristiques de la nanotechnologie	6
Tableau I.1	Comparaison de la capacité d'adsorption des nano-adsorbants pour le toluène et le benzène	33
Tableau III.2	Comparaison des capacités d'adsorption du Pb(II) avec différents matériaux.	37
Tableau III.3	comparaison des capacités maximales d'adsorption de MV pour différents types d'adsorbants	42



Introduction générale

Introduction générale

Notre monde a connu de multiples développements scientifiques et culturels jusqu'à nos jours. Au fil des ans, l'homme s'est développé en fonction de ses différents besoins. De la fin du XVIIe siècle à nos jours, les sociétés ont utilisé le terme de « révolution » pour exprimer les changements dans la société, représentés par l'innovation, la recherche scientifique et la créativité pour atteindre la technologie de l'ère actuelle.

Fournir un environnement propre et sûr est l'un des plus grands défis auxquels sont confrontés les humains, en raison des activités humaines différentes au fil des années dans le logement, l'industrie, l'agriculture, la combustion de carburant et l'élimination des espaces verts. L'environnement a été considérablement détruit, ce qui a entraîné un certain nombre de risques et de problèmes qui ont commencé à menacer l'humanité, dont le plus important est peut-être la propagation de maladies, épidémies et pollution de l'eau, de l'air et du sol.

Pour cette raison, les gens ont cherché à trouver diverses solutions et à inventer plusieurs technologies qui ont grandement contribué à réduire ces risques, parmi lesquelles : « La nanotechnologie », qui avait une empreinte proéminente pour fournir un groupe de solutions à faible coût, effort et temps pour réparer et nettoyer ce qui a été laissé par l'être humain comme dommages à l'environnement.

L'intérêt pour cette technologie et cette science remonte à 1959 après JC, grâce au physicien américain "Fanneman". Puis cet intérêt s'est déplacé vers "Eric Dexler", dont le nom de nanotechnologie est maintenant associé plus que tout autre scientifiques, expliqués dans son livre (Creation of Engine) ou "creation device" dans lequel il a utilisé le terme nanomètre. [1]

La nanotechnologie a une capacité technique qui n'a pas encore pleinement réalisé son potentiel. Les scientifiques synthétisent et construisent des matériaux atome par atome et molécule par molécule avec la plus grande précision, permettant la construction de nouveaux modèles de matière a des propriétés et des qualités autres que celles créées par la nature.

La nanotechnologie a connu un énorme avancement dans toutes les branches de la science et de l'ingénierie, de sorte que ses applications ont inclus la plupart des domaines médicaux,

pharmaceutiques, agricoles, économiques, pétrochimiques, biologiques et environnementaux, notamment en ce qui concerne la pollution de l'eau. [1]

Pour réduire cette pollution, des études scientifiques ont contribué en utilisant certaines techniques et procédés chimiques pour éliminer et purifier les polluants des eaux polluées.

L'adsorption qui contribue à l'élimination du polluant chimique dissous dans l'eau, en le fixant par des liaisons physiques ou chimiques à la surface du nanomatériau adsorbant, dans ce contexte le sujet de notre recherche s'inscrit là où nous à étudier certains des travaux antérieurs qui visaient d'éliminer quelques polluants des eaux industrielles, de l'air et du sol avec des nanoparticules. Pour atteindre cet objectif, ce manuscrit est divisé en trois chapitres

- Le premier chapitre est un aperçu historique et des généralités sur la nanotechnologie et ses générations, ainsi que quelques définitions de certains termes populaires et importants dans ce domaine .
- Le deuxième chapitre a porté sur les différents domaines d'application de la nanotechnologie.
- Le troisième chapitre constitue un résumé de quelques études antérieures sur les nanotechnologies dans le domaine du traitement de l'environnement.

Enfin, on finit par une conclusion générale.



Chapitre I : Généralités sur
la nanotechnologie

I.1. Introduction

La nanotechnologie est une technologie multidisciplinaire émergente qui implique la synthèse et l'application de particules à l'échelle nanométrique. La petite taille, la composition chimique et la structure de surface confèrent aux nanoparticules leurs caractéristiques uniques. Les modifications des propriétés physiques améliorent la polyvalence et l'efficacité du développement de produits [2].

I.2. Le mot « nano »

Le terme « Nano » signifie quelque chose qui est très petit ou minuscule. Le mot "nano" est apparu en Grèce et est dérivé du mot - "nanos" ; Ce qui signifie nain [3].

I.3. Définition de la nanotechnologie

Un nano est une très petite unité de mesure ; Là où le nano est égal à un millionième de millimètre, c'est-à-dire qu'il est impossible de le voir à l'œil nu ou avec de simples. Par conséquent, la nanotechnologie peut être définie comme la science qui étudie la possibilité de modifier la matière au niveau nano, afin de produire de nouveaux matériaux ou des dispositifs avancés pour servir les intérêts humains dans divers domaines. Il faut noter que le terme nano est l'un des anciens termes scientifiques qui ont été abordés par le scientifique Richer Feynman en 1959 après JC lors d'une conférence qu'il a donnée à l'American Physical Society ; Il a dit qu'il y a beaucoup d'espace à l'intérieur de l'atome, mais cela n'a pas été pris au sérieux à l'époque. [4]

1.4. Histoire de la nanotechnologie

Les humains utilisent les nanotechnologies depuis des milliers d'années, par exemple dans la fabrication de l'acier et la vulcanisation du caoutchouc.

La première mention de certains concepts distinctifs de la nanotechnologie est apparue en 1867 par James Clerk Maxwell. Le sujet de cette technique a été repris par le physicien physique Richard Feynman lors d'une réunion de l'American Physical Society en Californie pour la technologie médicale le 29 décembre 1959. Feynman a décrit un processus par lequel le traitement de molécules chirurgicales et simples pourrait être développé. Le terme « nanotechnologie » a été défini pour la première fois par Norio Taniguchi de l'Université

des sciences de Tokyo dans un article de recherche en 1974 comme suit : « La nanotechnologie » est essentiellement la manipulation, la séparation, l'assemblage et la distorsion des matériaux par un atome ou une molécule. Depuis lors, la définition de la nanotechnologie a généralement été élargie vers le haut pour inclure jusqu'à 100 nanomètres. [5]

I.5. Notions de base

La recherche à l'échelle nanométrique de la matière est fascinante car c'est l'étape de base où les atomes sont disposés ensemble. Ainsi, on peut former de nombreux types de matériaux différents en manipulant la matière à cette échelle. L'échelle nanométrique varie de 1 à 100 nm. Il est plus petit que l'échelle microscopique et plus grand que l'échelle atomique. Comme la recherche autour de cette technologie implique diverses propriétés de la matière, il est important d'avoir une solide expérience dans de multiples sciences.

Au niveau nanométrique, les règles de la mécanique quantique du matériau sont très différentes de son niveau atomique. Par exemple, un matériau qui se comporte comme un isolant à la forme moléculaire peut se comporter comme un semi-conducteur lors de la décomposition à l'échelle nanométrique. À ce niveau, le point de fusion des substances peut également changer en raison d'une augmentation de la surface. Toute la recherche autour de la nanotechnologie implique aujourd'hui l'étude de ces propriétés à l'échelle nanométrique et de savoir comment les utiliser pour de nouvelles applications.

Aujourd'hui, la nanotechnologie fait également référence à la science de la construction de matériaux de bas en haut en utilisant les outils et la technologie disponibles aujourd'hui, pour former des produits haute performance. [6]

I.6. Principes et caractéristiques de la nanotechnologie

Il existe de nombreux principes qui distinguent la nanotechnologie des techniques que nous connaissons, raison pour laquelle les scientifiques s'intéressent à atteindre cette échelle nanométrique, et le tableau ci-dessous montre les plus importants de ces principes et leurs avantages ainsi que leur objectif [1]

Tableau I.1: Principes et caractéristiques de la nanotechnologie.[6]

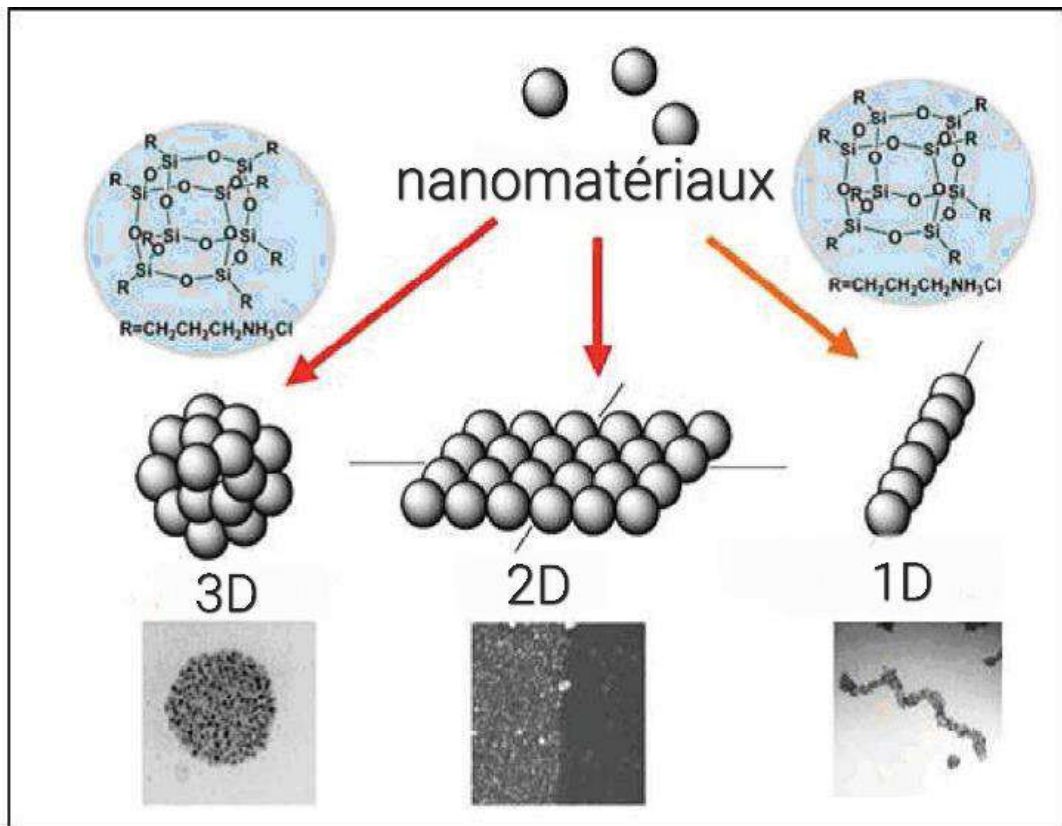
Principe	Fonctionnalité
La capacité de contrôler avec précision le mouvement des atomes individuels et leur réarrangement	La possibilité de construire n'importe quel matériau car l'atome est l'unité de construction de tous Matériaux
Propriétés physiques et chimiques d'une substance à grande échelle. Les nanomètres diffèrent des propriétés du même matériau à échelle normale	Découvrez les propriétés distinctives des matériaux qui sont utilisés dans de nombreuses inventions et domaines appliqués
La nanotechnologie est basée sur les principes de la physique et de la chimie Biologie, génie électrique et électronique	Connecter la science et encourager chacun avec ses différentes spécialités. Entrer dans son domaine et traiter les uns avec les autres
La capacité de contrôler et de réorganiser avec précision les atomes individuels en fabriquant des appareils et des matériaux et en les purifiant des impuretés et se débarrasser des imperfections	Les propriétés des matériaux et des appareils s'améliorent à mesure qu'ils sont plus petits, Plus léger, plus solide, plus rapide, moins cher et moins économe en énergie
La nanotechnologie est basée sur la recherche scientifique qui se caractérise par la possibilité de son application dans des inventions utiles	La science-fiction devenue réalité

I.7 . Dimensions des nanomatériaux

Matériaux unidimensionnels et Matériaux 2D et Matériaux 3D

Tous les matériaux dont les dimensions sont inférieures à 100 nanomètres entrent dans cette catégorie. Cette catégorie comprend les nanomatériaux unidimensionnels (c'est-à-dire n'ayant qu'une seule dimension à l'échelle nanométrique) Qui a deux dimensions et trois dimensions.[7]

La figure I.1 montre la division des nanomatériaux en termes de dimensions.



La figure I. 1: La division des nanomatériaux en termes de dimensions. [7]

I.8. Formes de nanomatériaux

Lors de la fabrication de matériaux de taille nanométrique, la composition physique et la concentration chimique des matières premières utilisées dans la fabrication jouent un rôle important dans les propriétés des nanomatériaux résultants [8]

I.8.1. Points quantiques

Il s'agit d'une nanoparticule semi-conductrice tridimensionnelle, dont les dimensions vont de 2 à 10 nanomètres. Lorsque le diamètre du point quantique est de 10 nanomètres, 3 millions de points quantiques peuvent être alignés les uns à côté des autres avec une longueur égale à la largeur d'un pouce humain [8], la figure I.2 montre des points quantiques

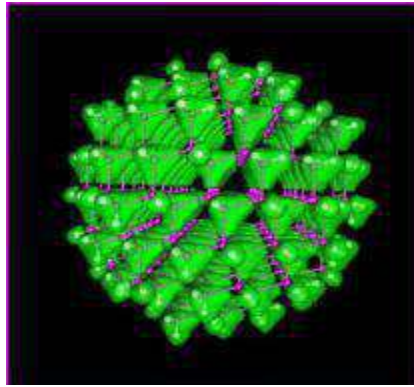


Figure I. 2 : Points quantiques. [8]

I.8.2. Fullerène

Les nanoparticules composées d'atomes de carbone à triple liaison donnent la forme de sphères qui ont une structure similaire au graphite, mais au lieu de la forme hexagonale pure, elles contiennent des pentagones (et éventuellement des sept) d'atomes de carbone, ce qui conduit à la flexion des couches en sphères ou cylindres [8]. La figure I.3 montre le Fullerène. [8]



Figure I.3 : Fullerène [8]

I.8.3. Nanobilles

Les nanosphères appartiennent à la classe des fluors (C60), avec une légère différence de composition car elles sont multi-coquilles et dépourvues de centre, et en raison de leur structure en forme d'oignon, les scientifiques les ont appelées bucky, c'est-à-dire oignons. Il peut avoir plus de 500 nanomètres de diamètre [8]. La figure 4 montre des nanobilles.

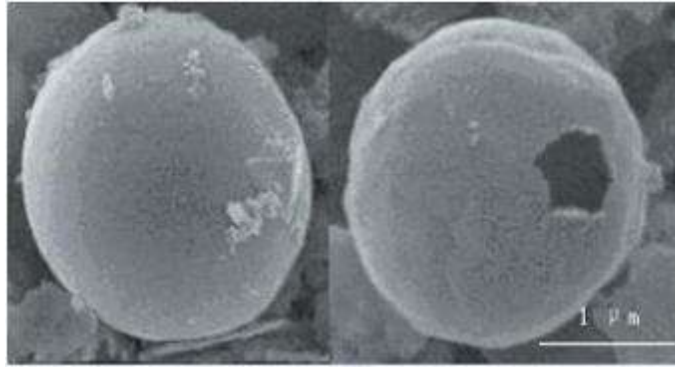


Figure I.4 : Nanobilles [8]

I.8.4. Nanoparticules

En nanotechnologie, une particule est définie comme la plus petite unité, elle possède les propriétés chimiques et physiques d'une substance volumétrique. Les nanoparticules ont des dimensions allant de 1 à 100 nanomètres [8]. La figure I.5 montre des nanoparticules.

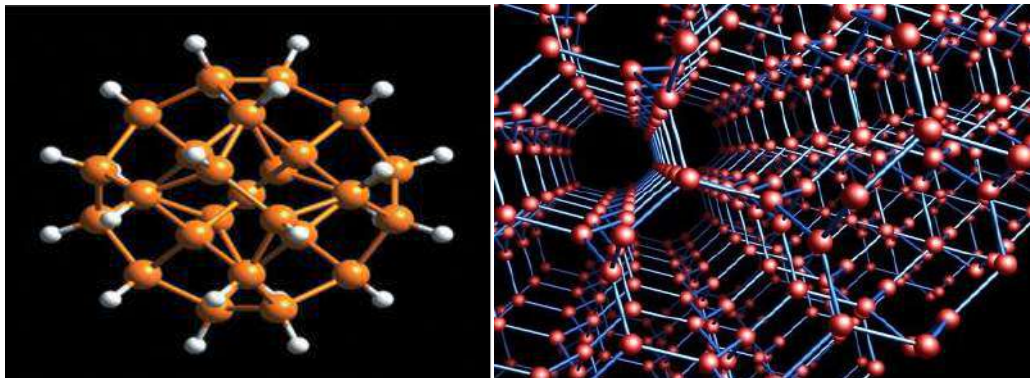


Figure I.5. Nanoparticules [8].

I.8.5. Nanotubes

Les matériaux utilisés en nanotechnologie sont soumis à une condition de base, cette condition est à l'échelle nanométrique de 1 à 100 nanomètres, de sorte que les matériaux utilisés doivent être découpés en morceaux ne dépassant pas 100 nanomètres de diamètre [8]. La figure I.6 montre des Nanotubes.



Figure I.6 : Nanotubes. [8]

I.8.6. Nanofils

Ce sont des fils à une dimension (Figure I.7), de diamètres inférieurs au nanomètre et de longueurs différentes, souvent dans un rapport supérieur à 1000 fois leur longueur sur leur largeur. Il se distingue des fils ordinaires (tridimensionnels) par la force de la conductivité électrique [8]

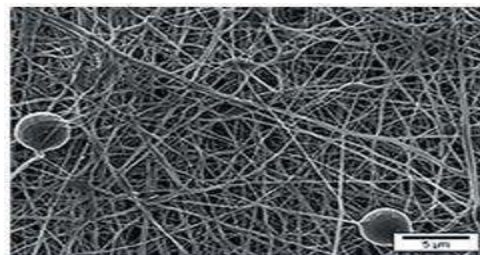


Figure I.7 : Nanofils [8].

I.9. Utilisations de la nanotechnologie

I.9.1. Le domaine médical

Les scientifiques ont pu fabriquer des appareils précises de la taille des cellules sanguines pour traiter de nombreuses maladies nécessitant des interventions chirurgicales, telles que : les blocages dans les artères, ainsi que les tumeurs, et le chercheur Italien Silvano Dragonieri de l'Université de Bari a inventé un nez électronique utilisant des nanotubes de carbone qui diagnostiquent les maladies du cancer en analysant l'air qui sort des poumons lors de l'expiration [9]

I.9.2. L'aviation

L'Agence aéronautique et spatiale américaine (NASA) a fabriqué des machines précises qui fonctionnent avec la nanotechnologie à injecter dans le corps des astronautes, dans le but de surveiller l'état de santé de leur corps et de les traiter immédiatement sans envoyer de médecin. [9]

I.9.3. Le domaine de l'énergie

La production de batteries de stockage qui stockent de grandes quantités d'énergie pendant de longues périodes, et produisent ainsi des voitures fonctionnant à l'énergie propre à moindre coût, et ne dépendant pas du pétrole. [9]

I.9.4. L'Industrie

La fabrication de vêtements intelligents qui produisent de l'énergie, ou éliminent par eux-mêmes la saleté et les germes, ainsi que la fabrication de matériaux solides qui dépassent la dureté de l'acier avec un poids léger, et la fabrication de verre anti-poussière et non conducteur, en plus de la fabrication d'écrans tridimensionnels caractérisés par leur transparence et leur capacité à se plier. [9]

I.10. L'importance de la nanotechnologie

La nanotechnologie a le potentiel de changer chaque aspect de notre vie. Au cours des deux dernières décennies, les chercheurs ont commencé à développer la capacité de manipuler la matière au niveau des atomes uniques et petits groupes d'atomes et de caractériser les propriétés des matériaux et des systèmes à cette échelle.

Cette capacité a conduit à la découverte étonnante que des amas de petits nombres d'atomes ou les molécules - les grappes à l'échelle nanométrique - ont souvent des propriétés (telles que la résistance, la résistivité électrique et conductivité et absorption optique) qui sont significativement différentes des propriétés de même matière à l'échelle de la moléculaire ou à l'échelle volumique. [10]

I.11. Les difficultés face aux nanotechnologies

En nanotechnologie, on parle de particules de petite taille, ce qui signifie qu'il est difficile à les contrôler, voire à les percevoir :

- La difficulté à contrôler les particules de matériaux après les avoir retirées de leur emplacement afin de les diriger vers de nouveaux endroits.
- Imprévisibilité des résultats de l'évolution des molécules, ce qui peut signifier des résultats indésirables [9]

I.12. L'effet de la nanotechnologie

L'impact de la nanotechnologie s'étend de ses applications médicales, éthiques, mentales, juridiques et environnementales à des domaines tels que l'ingénierie, la biologie, la chimie, l'informatique, la science des matériaux et les communications.

Les principaux avantages de la nanotechnologie comprennent l'amélioration des méthodes de fabrication, les systèmes de purification de l'eau, les systèmes énergétiques, l'optimisation physique, la nanomédecine, l'amélioration des méthodes de production alimentaire, la nutrition et la fabrication automatisée d'infrastructures à grande échelle. La taille réduite dans la nanotechnologie peut permettre l'automatisation de tâches qui étaient auparavant inaccessibles aux contraintes physiques, ce qui à son tour peut réduire les besoins en main-d'œuvre humaine, en terrain ou en maintenance. [11]

Les risques potentiels comprennent les problèmes d'environnement, de santé et de sécurité ; Les effets transitoires tels que le déplacement des industries traditionnelles à mesure que les produits de la nanotechnologie deviennent dominants, qui préoccupent les défenseurs des droits à la vie privée. Ceux-ci peuvent être particulièrement importants si les effets négatifs potentiels des nanoparticules sont négligés. [11]

I.13. Avantages de la nanotechnologie

La nanotechnologie offre de nombreux avantages qui entrent dans de nombreux domaines de la vie, car elle contribue à améliorer considérablement de nombreux secteurs technologiques et industriels, tels que : les technologies de l'information, l'énergie, la médecine, la sécurité nationale, les sciences de l'environnement, la sécurité alimentaire et bien d'autres choses. La nanotechnologie adapte les structures des matériaux à très petite échelle pour obtenir des propriétés spécifiques, grâce auxquelles il peut renforcer l'efficacité des matériaux, tout en étant léger, plus durable, réactif et imbriqué, de nombreux produits commerciaux quotidiens sur le marché reposent sur la nanotechnologie. , des nanofilms transparents ou des films sur les écrans d'ordinateur, les caméras, les lunettes, les fenêtres et d'autres surfaces peuvent aider à les rendre imperméables, antireflets, résistants aux UV ou aux IR, aux rayures ou conducteurs d'électricité. [12]



Chapitre II :

Applications de la
nanotechnologie

II.1. Introduction

Les applications de la nanotechnologie intègrent généralement des utilisations industrielles, médicales et énergétiques. Ceux-ci incluent des matériaux de construction plus durables, l'administration de médicaments thérapeutiques et des piles à combustible à hydrogène à plus haute densité qui sont respectueuses de l'environnement. Étant donné que les nanoparticules et les nano dispositifs sont très polyvalents grâce à la modification de leurs propriétés physico-chimiques, ils ont trouvé des utilisations dans l'électronique à l'échelle nanométrique, les traitements contre le cancer, les vaccins, les piles à combustible à hydrogène et les batteries au nanographène [13]

L'utilisation de matériaux de plus petite taille permet un ajustement des molécules et des substances à l'échelle nanométrique, ce qui peut encore améliorer les propriétés mécaniques des matériaux ou donner accès à des zones du corps moins accessibles physiquement [14], le schéma II.1 présente quelques domaines d'application de la nanotechnologie.

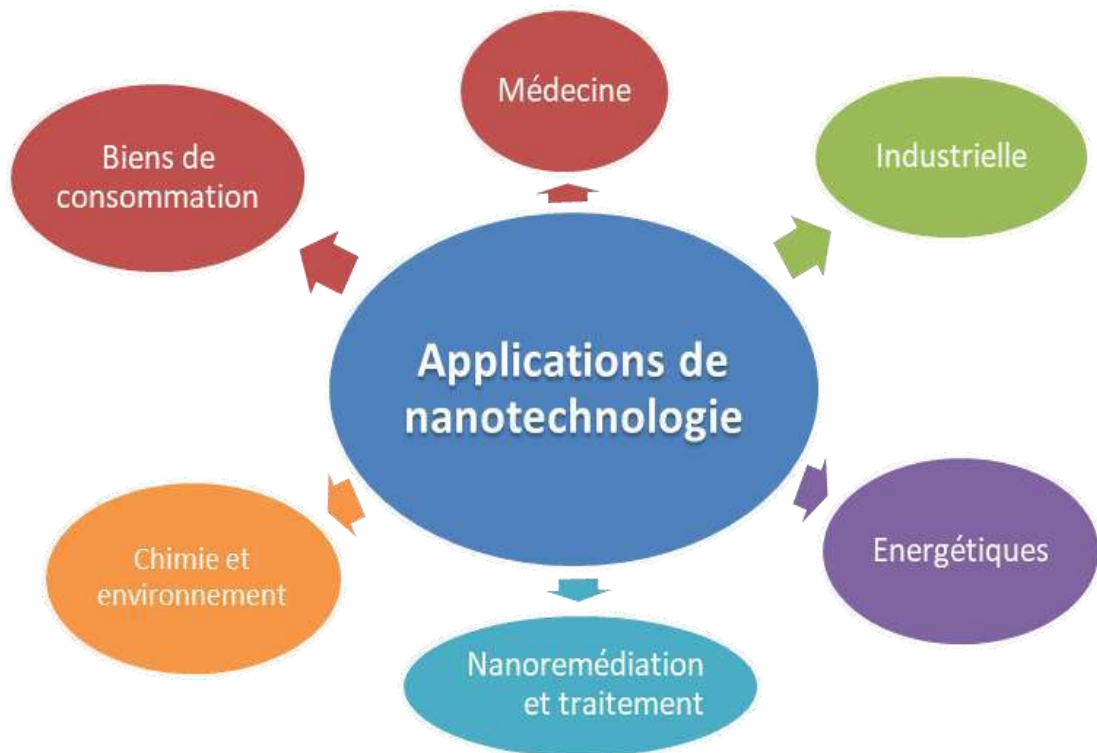


Schéma II.1. Quelques domaines d'application de nanotechnologie

II.2. Nanoremédiation et traitement de l'eau

La nanotechnologie offre de nouveaux nanomatériaux potentiels pour le traitement des eaux de surface, des eaux souterraines, des eaux usées et d'autres composants environnementaux contaminés par des ions métalliques toxiques, des solutés organiques et inorganiques et des micro-organismes. En raison de leur activité unique vis-à-vis des contaminants récalcitrants, de nombreux nanomatériaux font l'objet d'une recherche et d'un développement actif pour une utilisation dans le traitement de l'eau et des sites contaminés. [15]

La nanotechnologie devrait traiter plus efficacement les contaminants de l'eau que les systèmes de traitement conventionnels qui ont du mal à les traiter, notamment les bactéries, les virus et les métaux lourds. Cette efficacité provient généralement de la surface spécifique très élevée des nanomatériaux, qui augmente la dissolution, la réactivité et la sorption des contaminants. [16]

II.2.1. Dépollution de l'environnement

La nanoremédiation est l'utilisation de nanoparticules pour la remédiation environnementale, La nanoremédiation a été la plus largement utilisée pour le traitement des eaux souterraines, avec des recherches approfondies supplémentaires sur le traitement des eaux usées. [17].

La nanoremédiation a également été testée pour le nettoyage des sols et des sédiments.

La nanoremédiation est une industrie émergente ; en 2009, les technologies de nanoremédiation avaient été appliquées dans au moins 44 sites de nettoyage dans le monde, principalement aux États-Unis. [23][18] Au cours de la nanoremédiation, un agent nanoparticulaire doit être mis en contact avec le contaminant cible dans des conditions permettant une réaction de détoxification ou d'immobilisation. Ce processus implique généralement un processus de pompage et de traitement ou une application in situ. [15].

II.2.2. Filtration de l'eau

La nanofiltration est un procédé de filtration membranaire relativement récent utilisé le plus souvent avec de l'eau à faible teneur totale en solides dissous comme les eaux de surface et les eaux souterraines douces, dans le but d'adoucir (élimination des cations polyvalents) et d'éliminer les précurseurs de sous-produits de désinfection tels que les matières organiques naturelles et synthétiques, La nanofiltration est également de plus en plus utilisée dans les

applications de transformation des aliments telles que les produits laitiers, pour la concentration simultanée et la déminéralisation partielle (ion monovalent).

Les membranes fabriquées à partir de polyéthylène téréphtalate et d'autres matériaux similaires sont appelées membranes "track-etch", du nom de la manière dont les pores des membranes sont fabriqués. [18] Le « suivi » consiste à bombarder le film mince de polymère avec des particules à haute énergie. Cela se traduit par la réalisation de pistes développées chimiquement dans la membrane, ou "gravées" dans la membrane, qui sont les pores. Les membranes créées à partir de métal, telles que les membranes d'alumine, sont fabriquées par croissance électrochimique d'une fine couche d'oxyde d'aluminium à partir d'aluminium métallique dans un milieu acide.

Certains dispositifs de traitement de l'eau incorporant la nanotechnologie sont déjà sur le marché, et d'autres sont en cours de développement. Les méthodes de membranes de séparation nano structurées à faible coût se sont révélées efficaces pour produire de l'eau potable dans une étude récente [19].

II.2.3. Nanotechnologie pour désinfecter l'eau

La nanotechnologie offre une solution alternative pour éliminer les germes dans l'eau, un problème qui s'est aggravé en raison de l'explosion démographique, du besoin croissant d'eau propre et de l'émergence de polluants supplémentaires. L'une des alternatives proposées est la nanotechnologie antimicrobienne qui a déclaré que plusieurs nanomatériaux présentaient de fortes propriétés antimicrobiennes par le biais de divers mécanismes, tels que la production photocatalytique d'espèces réactives de l'oxygène qui endommagent les composants cellulaires et les virus. [19]

II.3. Applications industrielles

III. 3.1. Applications potentielles des nanotubes de carbone dans le secteur sanitaire

Les nanotubes peuvent aider au traitement du cancer. Ils se sont révélés être des tueurs de tumeurs efficaces chez les personnes atteintes d'un cancer du rein ou du sein [29] [30]. Des nanotubes à parois multiples sont injectés dans une tumeur et traités avec un type spécial de laser qui génère un rayonnement proche infrarouge pendant environ une demi-minute. Ces nanotubes vibrent en réponse au laser et de la chaleur est générée. Lorsque la tumeur a été

suffisamment chauffée, les cellules tumorales commencent à mourir. Des processus comme celui-ci ont pu réduire les tumeurs rénales jusqu'à quatre cinquièmes. [20]

Les matériaux ultra-noirs, constitués de «forêts» de nanotubes de carbone, sont importants dans l'espace, où il y a plus de lumière qu'il n'est pratique de travailler. Le matériau Ultra-black peut être appliqué aux systèmes de caméra et de télescope pour réduire la quantité de lumière et permettre la capture d'images plus détaillées. [21]

Les nanotubes sont prometteurs dans le traitement des maladies cardiovasculaires. Ils pourraient jouer un rôle important dans le nettoyage des vaisseaux sanguins. Théoriquement, les nanotubes auxquels sont attachées des molécules SHP1i signaleraient aux macrophages de nettoyer la plaque dans les vaisseaux sanguins sans détruire aucun tissu sain. Les chercheurs ont testé ce type de nanotubes modifiés chez des souris présentant une forte accumulation de plaques. Les souris qui ont reçu le traitement aux nanotubes ont montré des réductions statistiquement significatives de l'accumulation de plaque par rapport aux souris du groupe placebo. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour que ce traitement soit administré aux humains. [22]

III.3.2. Construction

La capacité de la nanotechnologie à observer et à contrôler le monde matériel à un niveau nanoscopique peut offrir un grand potentiel pour le développement de la construction. La nanotechnologie peut aider à améliorer la résistance et la durabilité des matériaux de construction, notamment le ciment, l'acier, le bois et le verre. [23]

En appliquant la nanotechnologie, les matériaux peuvent acquérir une gamme de nouvelles propriétés. La découverte d'une nanostructure cristalline hautement ordonnée de gel CSH amorphe et l'application d'une technologie de photocatalyseur et de revêtement aboutissent à une nouvelle génération de matériaux dotés de propriétés telles que la résistance à l'eau, la propriété auto nettoyante, la résistance à l'usure et la protection contre la corrosion. Parmi les nouveaux polymères nanotechnologiques, il existe des super plastifiants très efficaces pour le béton et des fibres à haute résistance avec une capacité d'absorption d'énergie exceptionnelle.

Les experts estiment que la nanotechnologie reste au stade de l'exploration et a le potentiel d'améliorer les matériaux conventionnels tels que l'acier. [24] Comprendre les nanostructures composites de ces matériaux et explorer les différentes applications des nanomatériaux peut

conduire au développement de nouveaux matériaux aux propriétés étendues, telles que la conductivité électrique ainsi que les capacités de détection de la température, de l'humidité et des contraintes. [24]

II.3.3. Nanoélectronique

La nanoélectronique fait référence à l'application de la nanotechnologie sur les composants électroniques. La nanoélectronique vise à améliorer les performances des appareils électroniques sur les écrans et la consommation d'énergie tout en les réduisant. Par conséquent, la nanoélectronique peut aider à atteindre l'objectif fixé par la loi de Moore, qui prédit la tendance continue à réduire la taille des circuits intégrés.

La nanoélectronique est un domaine multidisciplinaire composé de physique quantique, d'analyse de dispositifs, d'intégration de systèmes et d'analyse de circuits. Puisque la longueur d'onde de BROGLIE dans les semi-conducteurs peut être de l'ordre de 100 nm, l'effet quantique à cette échelle de longueur devient essentiel. La physique différente des dispositifs et les nouveaux effets quantiques des électrons peuvent conduire à des applications passionnantes. [25]

II.4. Applications énergétiques

Les applications énergétiques de la nanotechnologie concernent l'utilisation de nanoparticules de petite taille pour stocker l'énergie plus efficacement. Cela favorise l'utilisation des énergies renouvelables grâce à la nanotechnologie verte en générant, stockant et utilisant de l'énergie sans émettre de gaz à effet de serre nocifs tels que le dioxyde de carbone.

II.4.1. Cellules solaires

Les cellules solaires sont actuellement créées à partir de couches de silicium qui absorbent la lumière du soleil et la convertissent en électricité utilisable. En utilisant des métaux nobles tels que l'or recouvert de silicium, les chercheurs ont découvert qu'ils sont capables de transformer plus efficacement l'énergie en courant électrique. Une grande partie de l'énergie perdue lors de cette transformation est due à la chaleur, mais en utilisant des nanoparticules, il y a moins de chaleur émise, produisant ainsi plus d'électricité. [26]

II.4.2. Piles à combustible à hydrogène

La nanotechnologie permet l'utilisation de l'énergie hydrogène à une capacité beaucoup plus élevée . Les piles à hydrogène, bien qu'elles ne soient pas elles-mêmes une source d'énergie, permettent de stocker l'énergie provenant de la lumière du soleil et d'autres sources renouvelables d'une manière respectueuse de l'environnement sans aucune émission de CO₂. Certains des principaux inconvénients des piles à combustible à hydrogène traditionnelles sont qu'elles sont chères et pas assez durables pour des utilisations commerciales. Cependant, en utilisant des nanoparticules, la durabilité et le prix au fil du temps s'améliorent considérablement. De plus, les piles à combustible conventionnelles sont trop grandes pour être stockées en volume, mais les chercheurs ont découvert que les nano lames peuvent stocker de plus grands volumes d'hydrogène qui peuvent ensuite être stockés à l'intérieur de nanotubes de carbone pour un stockage à long terme. [27]

II.4.3. Piles au nanographène

La nanotechnologie donne naissance à des batteries au nanographène qui peuvent stocker l'énergie plus efficacement et peser moins. La batterie lithium-ion a été la principale technologie de batterie en électronique au cours de la dernière décennie, mais les limites actuelles de la technologie rendent difficile la densification des batteries en raison des dangers potentiels de chaleur et d'explosion. Les batteries au graphène testées dans des voitures électriques expérimentales ont promis des capacités 4 fois supérieures aux batteries actuelles avec un coût inférieur de 77 % [28]. De plus, les batteries au graphène offrent des cycles de vie stables allant jusqu'à 250 000 cycles, ce qui permettrait aux véhicules électriques et aux produits à long terme une source d'énergie fiable pendant des décennies. [29]

II.4.4. Augmentation de l'efficacité de la production d'énergie

Des scientifiques ont inventé une cellule solaire en plastique capable de transformer l'énergie solaire en énergie électrique, même par temps nuageux.

Le matériau plastique utilise la nanotechnologie et contient les premières cellules solaires capables d'exploiter les rayons infrarouges du soleil invisibles .

Cette percée a conduit les théoriciens à prédire que les cellules solaires en plastique pourraient un jour devenir cinq fois plus efficaces que les cellules solaires de la technologie actuelle[30]

II.5. Chimie

La nanotechnologie joue un rôle important dans les méthodes de catalyse et de filtration

II.5.1. La catalyse

La catalyse chimique est particulièrement bénéfique pour les nanoparticules, en raison de leur grand rapport surface/quantum. Les applications potentielles des nanoparticules en catalyse vont des piles à combustible aux convertisseurs catalytiques et aux photocatalyseurs. L'importance de la catalyse apparaît également dans la production de produits chimiques [31].

II.5.2. Filtration

Une classe de méthodes de filtration est basée sur l'utilisation de membranes avec des tailles de pores appropriées, permettant au liquide d'être comprimé à travers la membrane. Les membranes nanoporeuses sont adaptées à la filtration mécanique avec des micropores de moins de 10 nanomètres (« nanofiltration ») qui peuvent être constitués de nanotubes membranaires. La nanofiltration est principalement utilisée dans le processus d'élimination des ions ou de séparation de différents liquides. À plus grande échelle, les méthodes de filtration membranaire sont appelées nanofiltration et fonctionnent entre des tailles de 10 à 100 nanomètres. Les nanoparticules magnétiques offrent un moyen fiable et efficace d'éliminer les polluants de métaux lourds des eaux usées en utilisant des méthodes de séparation magnétique. Les nanoparticules augmentent l'efficacité de la capacité d'absorption des polluants en plus de cela, par rapport aux méthodes de filtration et de filtration traditionnelles, elles sont peu coûteuses.

Certains dispositifs utilisés pour traiter l'eau à l'aide de la nanotechnologie sont maintenant présentés sur le marché, mais plusieurs d'entre eux sont en cours d'élaboration et de développement. Une étude récente a démontré que les méthodes peu coûteuses de séparation par nano-membrane sont efficaces pour produire de l'eau potable. [32]

II. 6. La nanotechnologie en médecine

Ces dernières années, l'application thérapeutique et diagnostique de nanomédecine a augmenté de façon exponentielle. De nombreux systèmes et stratégies différentes ont été développés pour cibler également les médicaments sur les sites de la maladie conçue pour combiner le diagnostic et le traitement [33].

II.6.1. La nanotechnologie en dentisterie

L'utilisation de la nanotechnologie en dentisterie vise à maintenir la santé dentaire grâce à l'utilisation de nanomatériaux, de la biotechnologie qui comprend l'ingénierie tissulaire et les nanorobots dentaires. La science vise à donner aux nanorobots dentaires la capacité d'utiliser des mécanismes cinétiques spécifiques qui leur permettent de pénétrer avec précision dans les tissus humains, et de proposer une technologie pour pénétrer dans les cellules en toute sécurité. Le dentiste lui-même envoie des commandes directement à ces robots via des signaux audio ou d'autres moyens [34].

II.6.2. La nanotechnologie dans le diagnostic et le traitement de cancer

La science estime que la nanotechnologie sera d'un grand intérêt dans le traitement des tumeurs, notamment en ce qui concerne l'imagerie, en raison de la petite taille des nanoparticules, car elle peut être utilisée en conjonction avec l'imagerie par résonance magnétique pour obtenir des images exceptionnelles des emplacements de la tumeur cancéreuse.

Les nanoparticules telles que les points quantiques sont beaucoup plus brillantes que les colorants organiques et ne nécessitent qu'une seule source de lumière pour être stimulées. Si des points quantiques fluorescents sont utilisés, des images à contraste plus élevé peuvent être obtenues à moindre coût par rapport à l'utilisation de colorants organiques utilisés comme produit de contraste.

De multiples groupes fonctionnels sont associées à la nanoparticule car les nanoparticules ont un rapport surface/volume élevé et peuvent donc se lier à des cellules cancéreuses spécifiques, où les nanoparticules s'accumulent différemment dans le site tumoral, où des

travaux sont en cours pour créer des nanoparticules multifonctionnelles capables de détecter et imager la tumeur et ensuite la traiter [35]

II.6.3. La nanotechnologie dans le traitement de la maladie d'Alzheimer

On estime que 35 millions de personnes souffrent de la maladie d'Alzheimer dans le monde, mais avec le développement de la science, il est devenu possible de diagnostiquer et de traiter la maladie d'Alzheimer à un stade précoce grâce à la nanotechnologie, en concevant un grand nombre de nanoparticules hautement spécifiques pour les cellules de la paroi capillaire dans le cerveau. [36]

II.6.4. La nanotechnologie dans l'administration de médicaments

L'utilisation de la nanotechnologie dans ce domaine vise à développer l'effet thérapeutique des molécules médicamenteuses, car les méthodes d'administration de médicaments sont d'une grande importance en médecine, ce qui nécessite un mouvement précis à travers les processus biologiques dans le corps grâce à l'utilisation de transporteurs de médicaments, qui obtient un plus grand succès si ces molécules et leurs interactions avec d'autres cellules sont contrôlées, ainsi que le contrôle de la forme, de la taille et de la chimie de surface de ces molécules. [37]

II. 6.5. Visualisation

Il est difficile de retracer un petit groupe de cellules dans le corps, c'est pourquoi les scientifiques ajoutent généralement des colorants aux cellules. Ces colorants doivent être activés par la lumière d'une longueur d'onde spécifique. Tant que les colorants de différentes couleurs absorbaient différentes fréquences de lumière, de nombreuses sources de lumière étaient nécessaires dans les cellules. Un moyen de contourner ce problème consiste à utiliser des marqueurs luminescents. Ces marqueurs sont des points quantiques attachés à des protéines qui peuvent traverser les membranes cellulaires. Ces points peuvent être de taille aléatoire, peuvent être fabriqués à partir d'un matériau bio inerte et peuvent présenter la propriété à l'échelle nanométrique selon laquelle la couleur dépend de la taille. En conséquence, les dimensions sont choisies de sorte que la fréquence de la lumière fasse briller un groupe de points quantiques et un autre groupe brillent en blanc. Les deux groupes peuvent être éclairés avec la même source lumineuse [38].

II. 6.6. Ingénierie tissulaire

La nanotechnologie peut aider à réparer les tissus endommagés. L'ingénierie tissulaire utilise une prolifération cellulaire artificiellement stimulée à l'aide de supports de nanomatériaux et de facteurs de croissance appropriés. Par exemple, des os peuvent être reconstitués sur des supports de nanotubes de carbone. L'ingénierie tissulaire peut remplacer les traitements conventionnels actuels tels que les greffes d'organes ou les implants artificiels. Des formes avancées d'ingénierie tissulaire pourraient prolonger la durée de vie. En outre, les composites osseux artificiels sont fabriqués à partir de nano cristaux de phosphate de calcium [39].

II. 6.7. Résistance aux antibiotiques

Les nanoparticules peuvent être utilisées en thérapie combinée pour réduire la résistance aux antibiotiques. Il a été démontré que les nanoparticules d'oxyde de zinc peuvent réduire la résistance aux antibiotiques et améliorer l'activité antibactérienne de la ciprofloxacine contre le micro-organisme *in vitro*. Les nanoparticules peuvent interagir avec diverses protéines impliquées dans la résistance aux antibiotiques ou dans les mécanismes pharmacologiques des médicaments. [40]

II. 6.8. Réponse immunitaire

Les fullerènes ont été étudiés pour leur capacité à interrompre la réponse allergique immunitaire en empêchant les mastocytes (qui provoquent la réaction allergique) de libérer des histamines dans le sang et les tissus, se liant aux radicaux libres bien mieux que tout antioxydant actuellement disponible, y compris la vitamine E [41].

II.6.9. Arthroscopie

La nanotechnologie aide à faire progresser l'utilisation des arthroscopes, qui sont des dispositifs de la taille d'un crayon utilisés en chirurgie avec des lumières et des caméras, permettant aux chirurgiens d'effectuer des opérations avec des incisions plus petites. Plus les incisions sont petites, plus le traitement est rapide, ce qui est préférable pour les patients. Cela aide également à trouver un moyen de rendre l'arthroscope plus petit qu'une mèche de cheveux. [42]

II.7. Biens de consommation

La nanotechnologie a influencé de nombreux aspects de la science alimentaire. Les entreprises développent également des nanomatériaux qui feront une différence non

seulement dans le goût des aliments, mais aussi dans la sécurité alimentaire et les bienfaits pour la santé que procurent les aliments, la protection des plantes contre les maladies et la réduction de l'eau utilisée pour l'irrigation

II.7.1. Secteur alimentaire

Grâce à des moyens efficaces et durables, un ensemble complexe de défis techniques et scientifiques au sein de l'industrie alimentaire et des processus biologiques pour produire des aliments sûrs et de haute qualité peut être résolu au moyen de la nanotechnologie. L'identification des bactéries et surveillance de la qualité des aliments à l'aide de biocapteurs ; des systèmes d'emballage alimentaire efficaces, intelligents et actifs ; la nanoencapsulation de composés alimentaires bioactifs sont quelques exemples des applications émergentes de la nanotechnologie pour l'industrie alimentaire, La nanotechnologie peut être appliquée à la production, à la transformation, à la sécurité et à l'emballage des aliments. Un procédé de revêtement nanocomposite pourrait améliorer les emballages alimentaires en injectant des agents antimicrobiens directement sur la surface du film de revêtement. Les nanocomposites pourraient augmenter ou diminuer la perméabilité aux gaz de différentes charges en fonction des besoins des différents produits. Ils peuvent également améliorer les propriétés de résistance mécanique et de résistance à la chaleur et réduire le taux de transmission de l'oxygène. La recherche se concentre sur l'application des nanotechnologies à la détection de substances chimiques et biologiques dans les aliments.[43].

II.7.1.1 Nano-aliments

Produits Emerging Nanotechnologies (PEN), basé sur un inventaire comprenant 609 nano-produits connus ou revendiqués.

Sur la liste PEN figurent trois aliments - une marque d'huile de colza de cuisson appelée Canola Active Oil , un thé connu sous le nom de Nanotea, un shake au chocolat diététique appelé Nanoceuticals Slim Shake Chocolate.

Selon les informations fournies par la société et publiées sur le site Web du PEN [44], l'huile de colza contient un additif appelé "nanodrops" conçu pour transporter des vitamines, des minéraux et des composés phytochimiques à travers le système digestif et l'urée. .

Le shake, selon la société américaine RBC Life Sciences Inc, utilise du cacao infusé "NanoCluster" pour intensifier le goût et apporter les bienfaits du cacao pour la santé sans avoir besoin de sucre. [45]

II.8. Agriculture

Les méthodes vertes de synthèse de nanoparticules avec des extraits de plantes sont avantageuses car elles sont simples, pratiques, respectueuses de l'environnement et nécessitent moins de temps de réaction. Les nanomatériaux préparés par des méthodes écologiques et vertes pourraient augmenter le potentiel de l'agriculture pour améliorer le processus de fertilisation, les régulateurs de croissance des plantes et les pesticides [46]

II.8.1. Augmenter la quantité et la qualité des graines

Il a été observé à travers des expérimentations que l'utilisation des nanotechnologies entraînait une augmentation de la vitesse de germination des graines ainsi qu'une augmentation de la tolérance aux stress environnementaux et une augmentation de l'âge et de la croissance des graines. Des expériences en laboratoire ont également montré que les cultures issues de graines enrobées de nanoparticules d'argent enregistraient une augmentation de l'absorption d'eau, ainsi qu'une augmentation du poids végétatif sec de 73% et une augmentation significative de la teneur en vitamines des graines, et par conséquent une augmentation du rendement de croissance de ces graines [47]

II. 8.2. Nano engrais

Remplacer les engrais conventionnels par des nano-engrais est un moyen de libérer progressivement et de manière contrôlée les nutriments dans le sol, en évitant le gaspillage et la pollution des ressources en eau. Des études ont prouvé l'effet significatif des nanoparticules de dioxyde de titane (TiO₂) sur la croissance des plantes grâce à l'absorption de la lumière et à la transmission de l'énergie lumineuse. Les nano-engrais ont des propriétés uniques telles qu'une super absorption, une production accrue, une photosynthèse plus élevée et une taille de feuille accrue [48].

II. 8.3. Utilisation optimale de l'eau pour soutenir la production agricole

Le nano hydrogel retenant l'eau a été utilisé dans le sol en raison de sa grande capacité à absorber et à libérer l'eau et les nutriments, et donc la grande efficacité dans l'utilisation de

l'eau des plantes. Un sol traité avec de l'argent recouvert d'hydrogel a montré que l'eau est retenu 7,5% de plus qu'un sol non traité, plus que cela, l'hydrogel était capable de stocker entre 130 et 190 fois son poids en eau de pluie ou d'irrigation. L'hydrogel biodégradable est considéré comme un moyen prometteur de réduire la pollution, de sorte que la nanotechnologie est une technologie réussite, en particulier dans les zones sèches, d'autant plus que la sécheresse est l'un des risques environnementaux les plus importants qui entravent la production agricole [47].

Chapitre III :

Synthèse bibliographique sur

l'application de la

nanotechnologie pour

l'élimination de quelques

polluants

Chapitre III : Synthèse bibliographique sur l'application de la nanotechnologie pour l'élimination de quelques polluants

III.1. Introduction

La pollution de l'eau due aux métaux lourds, aux matières organiques et inorganiques et aux organismes biologiques est un problème grave et constitue une préoccupation dans le monde entier. Pour cette raison, l'émergence de la nanotechnologie a fourni une solution pionnière aux problèmes de pollution de l'air, de l'eau et du sol.

Parmi les nanotechniques, l'utilisation de nanoadsorbants, de nanomembranes et de nanophotocatalyseurs constituent des techniques très prometteuses dans le traitement de l'eau la décontamination de l'air et du sol, à petite échelle comme à l'échelle commerciale. Les nanoparticules ont un rapport d'aspect plus élevé, plus grand volume de pores, électrostatique, une surface spécifique plus élevée qui est très utile dans processus comme la sorption, la catalyse, la censure dans le domaine du traitement de l'eau ayant une efficacité, une flexibilité, être multifonctionnel et abordable. Compte tenu de ces aspects, la nanotechnologie s'est avérée être une innovation, respectueux de l'environnement et une technique de traitement avancée. La principale limite à l'application des nanotechnologies est que jusqu'à maintenant, la plupart des recherches sont confinées à l'échelle du laboratoire ou du pilote uniquement. Dans cette partie nous avons discuté dans bref sur quelques nanomatériaux récemment utilisés qui sont actuellement utilisés dans le traitement de l'eau, en mettant l'accent sur les nano- adsorbants à base et membranes de filtration [49]

II. 2. Utilisation des nanoparticules pour l'élimination de benzène et de toluène

II.2.1. Nanoparticules magnétiques de $\text{Fe}_3\text{O}_4 / \text{AC} @ \text{SiO}_2 @ \text{Sulfanilamide}$

- **Expérience**

Les nanoparticules magnétiques $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{AC}@\text{SiO}_2@\text{Sulfanilamide}$ ont été synthétisées avec succès en tant qu'adsorbants magnétiques à haut rendement et appliquées pour l'adsorption du toluène et du benzène en phase gazeuse. Les conditions optimales de temps de contact, de concentration initiale et de température ont été déterminées à 60 min, 18 mg/L et 25 °C, respectivement pour le toluène et 60 min, 15 mg/L et 28 °C, respectivement pour le benzène. Dans des conditions optimales de procédé, la capacité d'adsorption maximale du toluène et du benzène par $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{AC}@\text{SiO}_2@\text{Sulfanilamide}$ a été déterminée à 612 et 560 mg/g,

Chapitre III : Synthèse bibliographique sur l'application de la nanotechnologie pour l'élimination de quelques polluants

respectivement. Il est clair que $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{AC}@\text{SiO}_2@\text{sulfanilamide}$ a des performances très élevées par rapport aux adsorbants nano magnétiques Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{AC}$ et $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{AC}@\text{SiO}_2$. De plus, le nano-adsorbant magnétique $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{AC}@\text{SiO}_2@\text{Sulfanilamide}$ présentait une capacité de reproductibilité d'adsorption élevée après cinq cycles d'adsorption/absorption [50].

- **Résultats et discussion**

Le nano-adsorbant magnétique $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{AC}@\text{SiO}_2@\text{sulfanilamide}$ a conservé respectivement 89 % et 88 % de sa capacité d'adsorption du toluène et du benzène. On peut dire que $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{AC}@\text{SiO}_2@\text{sulfanilamide}$ a été très facilement synthétisé et a une capacité d'adsorption élevée, et haute reproductibilité. Ces propriétés font de $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{AC}@\text{SiO}_2@\text{Sulfanilamide}$ un adsorbant nano-magnétique prometteur [50].

III.2.2. nouvelles nanoparticules magnétiques fonctionnalisées $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{charbon actif}@\text{SiO}_2@1,4\text{-diaminoanthraquinon}(\text{Fe}_3\text{O}_4 / \text{AC} @ \text{SiO}_2 @1,4\text{-DAAQ})$

- **Expérience**

L'adsorption des polluants à la surface des matériaux adsorbants joue un rôle important dans l'efficacité de la technologie d'adsorption pour les applications de purification de l'air. Ici, de nouvelles nanoparticules magnétiques fonctionnelles utilisant la 1,4-diaminoanthraquinone (1,4-DAAQ), un $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{charbon actif} (\text{AC}) @\text{SiO}_2 @1,4\text{-DAAQ}$, ont été synthétisées de manière innovante via des techniques de co-déposition et sol-gel. . Ensuite, ces nanoparticules ont été utilisées pour éliminer très efficacement les composés organiques volatils (COV) tels que le benzène et le toluène. Les nanoparticules synthétisées ont été caractérisées par diverses techniques telles que la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier, l'analyse thermique thermogravimétrique/différentielle, la microscopie électronique et l'analyse Brunauer-Emmett-Teller. Le processus d'adsorption dynamique des COV est optimisé en fonction des paramètres de fonctionnement. Les expériences d'adsorption ont révélé que $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{AC}@\text{SiO}_2@1,4\text{-DAAQ}$ présentait des performances exceptionnelles d'élimination des COV.

Il a été observé que pour le benzène et le toluène, $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{AC}@\text{SiO}_2@1,4\text{-DAAQ}$ a montré des capacités d'adsorption dynamique de 1165 mg/g, 1310 mg/g respectivement [51].

- **Résultats et discussion**

Les capacités d'adsorption du benzène et du toluène étaient de 1232,77 mg/g et 1352,16 mg/g respectivement, et Fe₃O₄/AC @SiO₂ @1,4-DAAQ a montré une reproductibilité élevée après dix cycles successifs d'adsorption/sorption de benzène et de toluène, Fe₃O₄/AC@SiO₂@1,4-DAAQ conserve respectivement 79,36 et 78,24% de sa capacité d'adsorption initiale. [51]

III. 2.3. Nanoparticules d'oxyde de cuivre (CuO-NPs)

- **Résultats**

La possibilité des nanoparticules d'oxyde de cuivre (CuO-NPs) pour éliminer le benzène et le toluène d'une solution aqueuse a été évaluée. À cette fin, Lili Mohammadi et Idris Bazarafshan et al ont mené des expériences par lots pour étudier l'effet du pH de la solution (3-13), de la dose de CuO-NPs (0,1-0,8 g), du temps de contact 60 min et de la concentration de benzène et de toluène 200 mg /L sur l'efficacité de sorption. . L'élimination maximale est observée à pH neutre. En utilisant le modèle de Langmuir, ils ont mesuré la capacité d'absorption la plus élevée à 307 mg/g pour le benzène et 291 mg/g pour le toluène. Dans des conditions optimales, l'efficacité d'adsorption était de 98,7 % et 92,5 % pour le benzène et le toluène, respectivement. Les données de sorption des CuO-NPs sont en bon accord avec les modèles suivants : modèles de Langmuir, Freundlich, Temkin et Dubinin-Radushkevich. Les informations expérimentales concordent bien avec Freundlich pour le benzène et Langmuir pour le toluène. D'après les résultats, l'adsorption suit une cinétique de pseudo-second ordre avec des coefficients acceptables. Les résultats ont présenté les CuO-NP comme des composés efficaces d'adsorption des polluants. En fait, ils peuvent être utilisés pour développer une méthode simple et efficace pour éliminer les contaminants des solutions aqueuses. [52]

L'efficacité d'élimination maximale des CuO-NPs pour le benzène et le toluène avec la capacité d'adsorption la plus élevée à pH = 7 est de 307 mg/g pour le benzène et de 291 mg/g pour le toluène.

Les CuO-NP peuvent éliminer 98,7 % du benzène et 92,5 % du toluène des solutions. [52].

III. 2.4. Nanoparticules magnétiques Fe₃O₄@AC@SiO₂ fonctionnalisées à l'aide d'acide 8-hydroxyquinoléine-5-sulfonique (Fe₃O₄@AC@SiO₂@A8HQ5S)

- **Résultats**

Dans cette étude, Dans l'étude actuelle, Des nanoparticules magnétiques Fe₃O₄@AC@SiO₂ fonctionnalisées à l'aide d'acide 8-hydroxyquinoléine-5-sulfonique (Fe₃O₄@AC@SiO₂@8HQ5SA) ont été préparées de manière innovante Son application en tant que nouveau matériau nano-sorbant pour éliminer efficacement les fumées de BTX.

Il a été fabriqué par co-sédimentation et méthode sol-gel. Les précurseurs de nano-adsorbants proposés sont caractérisés par différentes méthodes spectroscopiques, notamment FTIR, SEM, TGA/DTA, BET, VSM, XPS et EDS. Les facteurs de fonctionnement sélectionnés, à savoir le temps de rétention, la concentration d'entrée de BTX et la température d'absorption, ont été largement et optimisés pour atteindre la capacité d'adsorption maximale de Fe₃O₄/AC@SiO₂@8HQ5SA vers l'absorption des fumées de BTX.. [53].

- **Discussion**

Selon les résultats des expériences d'adsorption,

Capacités d'absorption maximales des vapeurs BTX par Fe₃O₄ / AC @ SiO₂ @ 8HQ5SA 550, 600 et 745,54 mg/g ont été identifiés, respectivement. Fe₃O₄/AC@SiO₂@8HQ5SA maintenu des efficacités de réutilisation de 91,92 %, 91,17 % et 90,65 % pour les Vapeur de BTX respectivement.

Il indique que les résultats de cette étude Activation des nanoparticules Fe₃O₄@AC@SiO₂ avec 8HQ5SA C'était une stratégie efficace pour augmenter considérablement la capacité d'élimination de la vapeur de BTX,

Et qu'il s'agissait d'un matériau nano-absorbant prometteur et renouvelable pour un traitement efficace Composés organiques volatils polluants. [53]

Le tableau III.1 rassemble les capacités d'adsorption des nano-adsorbants pour le toluène et le benzène.

Adsorbants	Benzène	Toluène	temps de contact
Fe ₃ O ₄ / AC @ SiO ₂ @ Sulfanilamide	560 mg/g	612 mg/g	60 min
Fe ₃ O ₄ / AC @ SiO ₂ @ 1,4-DAAQ	1165 mg/g	1310 mg/g	60 min
CuO -NPs	307 mg/g	291 mg/g	60 min
(Fe ₃ O ₄ @AC@SiO ₂ @A8HQ5S)	550 mg/g	600 mg/g	60 min

La figure III.1 présente une comparaison entre les capacités des nano-adsorbants pour le toluène et le benzène.

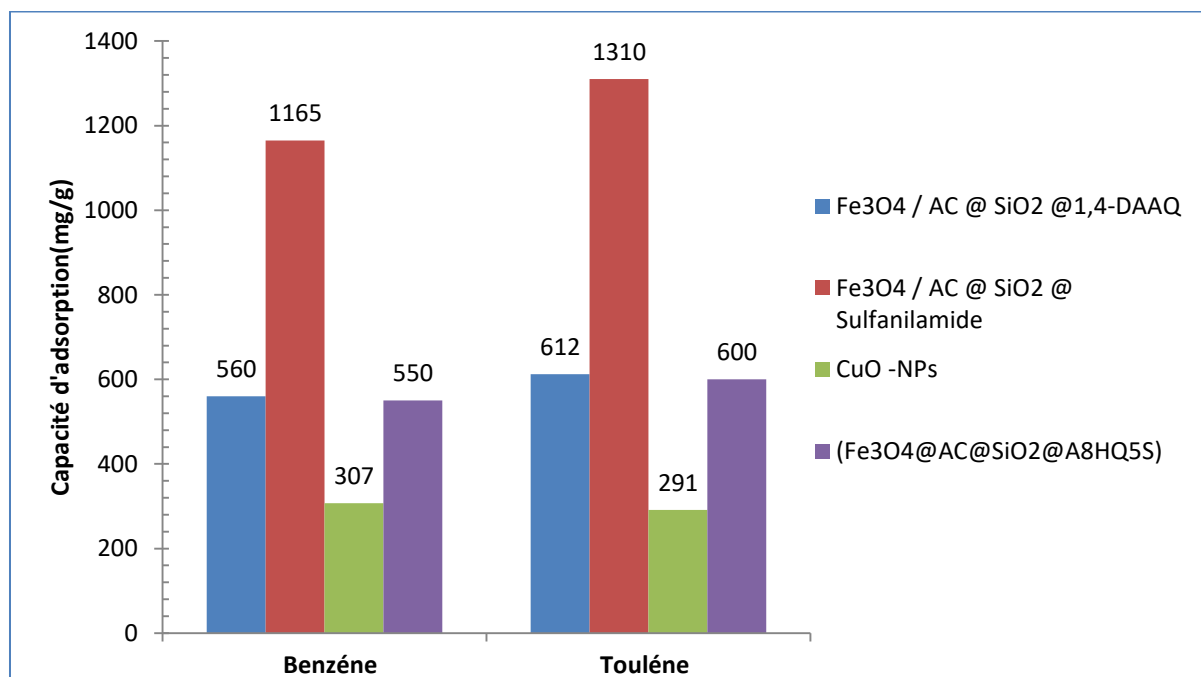


Figure III.1. Capacités d'adsorption des nano-adsorbants pour le toluène et le benzène.

En comparant le tableau III.1 et la Figure III.1. obtenue à partir de leurs résultats d'études antérieures, il a été montré que

Les nano-sorbants sont très efficaces pour éliminer les contaminants organiques et inorganiques des solutions aqueuses. Grâce à cette étude d'élimination du benzène et du toluène à l'aide de nanoparticules, et en comparant les résultats précédents avec différentes expériences, il a été constaté que la capacité d'adsorption était élevée à Fe₃O₄ / AC @ SiO₂ @ 1, 4-DAAQ puis suivie par les deux composés Fe₃O₄ / AC @ SiO₂ @ Sulfanilamide et (Fe₃O₄ @ AC). @SiO₂@A8HQ5S) dans des proportions proches puis CuO-NPs

La capacité est de 1165, 560 et 550,307 pour Bénézene respectivement, et de 1310, 612, 600 et 291 pour le toluène, respectivement.

III. 3. Utilisation des nanoparticules pour l'élimination du Pb(II)

III. 3.1 Nanoparticule de magnétite conjuguée au chitosane MNP modifiée par l'acide citrique (CH-MNP-CA)

- **Expérience**

Dans cette étude, le nouveau nano-adsorbant magnétique CH-MNP-CA a été efficacement synthétisé et utilisé dans le processus d'élimination des ions Pb(II)

En résumé, le MNP a été synthétisé par l'approche de co-précipitation et stabilisé avec de l'acide citrique, car Le MNP n'a pas de groupes fonctionnels appropriés pour lier directement le chitosane. Par la suite, MNP-CA a été lié de manière covalente au chitosane via la chimie du carbodiimide en utilisant l'activation EDAC/NHS.

Un des avantages notables de ce nano biocomposite est la valeur Ms élevée avant (76,01 emu/g) et après (61,68 emu/g) la conjugaison du chitosane, ce qui le rend plus attractif pour les industriels. [54]

- **Résultats et discussion**

Les conditions optimales se sont révélées être un pH de 6,1, une concentration de nano adsorbant de 1,04 g/L et un temps de contact de 59,9 min. résultant en un pourcentage d'adsorption de 92,15 %. Les données expérimentales étaient bien corrélées avec le modèle isotherme de Langmuir ($R^2 = 0,9922$). La valeur de la capacité maximale de sorption de

Langmuir (qm) s'est avéré être de 192,308 mg/g, ce qui était plus élevé que beaucoup d'autres nano-adsorbants signalés pour l'élimination des ions Pb(II).

On peut conclure que le nano-biocomposite CH-MNP-CA est un candidat efficace pour l'adsorption des ions Pb(II) à l'aide de la technologie de séparation magnétique avec de hautes performances dans le traitement des eaux usées. [54]

III. 3.2. Nanoparticules magnétiques de Fe₃O₄ @ SiO₂ – NH₂

- **Expérience**

Des MNP Fe₃O₄ @ SiO₂ – NH₂ avec une structure noyau-coquille uniforme et une charge relativement élevée de fonction amine ont été préparés via un procédé sol-gel proposé par revêtement conforme de particules Fe₃O₄ avec Groupements SiO₂ et -NH₂ dans un procédé sol-gel, évitant l'utilisation de solvants organiques toxiques tout au long de la procédure de préparation. Des MNP Fe₃O₄@SiO₂-NH₂ tels que préparés ont été utilisés pour l'adsorption d'ions Pb(II) à partir de systèmes aqueux. [55]

- **Résultats et discussion**

L'adsorption s'est produite dans la plage de pH 5 à 6 avec une capacité d'adsorption maximale de 238 mg / g à 25 ° C.

Sur la base des données expérimentales observées, la capacité d'adsorption acceptable des MNP Fe₃O₄@SiO₂-NH₂ synthétisés et la fascinante caractéristique de séparabilité magnétique de l'adsorbant leur confèrent une méthode de séparation plus efficace et pratique afin que la procédure de séparation en phase solide qui prend du temps peut être favorablement évité. [55]

III. 3.3. Nouvelles nanoparticules magnétiques fonctionnalisées par la glycine emprisonnées des billes d'alginate de calcium (N MNPs FGEBsAC)

- **Expérience**

Les nanoparticules magnétiques de Fe₃O₄ ont été fonctionnalisées avec de la glycine à pH 6. Les nanoparticules magnétiques fonctionnalisées de glycine (GFMNPS) ont ensuite été

piégées dans un polymère d'alginate sous forme de billes et utilisées comme adsorbant pour l'élimination des ions Pb(II).

Les adsorbants développés ont été caractérisés par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier, magnétomètre à échantillon vibrant et analyse au microscope électronique à balayage. La surface des billes contient des groupes amino et carboxylate qui en font des adsorbants efficaces pour l'élimination des ions Pb(II). [56]

- **Résultats et discussion**

L'adsorption des ions Pb(II) à partir d'une solution aqueuse s'est avérée fortement dépendante du pH= 6, 92,8 % Pb(II) était enlevé juste en 10 min.

L'équilibre était atteint en 100 min avec une élimination de 98 % des ions Pb(II) de la solution aqueuse. L'isotherme d'adsorption suit strictement le modèle de Langmuir avec une capacité d'adsorption maximale de 550 mg/g d'adsorbant.

L'adsorbant synthétisé s'est avéré écologique, rentable et efficace aux autres adsorbants à base de polymères pour l'élimination des ions Pb(II) de la solution aqueuse. [56]

III. 3.4 Nanotubes 3D MnO₂ @ hydrogel d'oxyde de graphène (Nt3DMN₀H₀G)

- **Expérience**

Dans ce travail, des nanotubes de MnO₂ @ hydrogel d'oxyde de graphène réduit (MNGH) ont été préparés via une approche de co-assemblage hydrothermique en une étape. Le MNGH tel que préparé présentait une architecture tridimensionnelle (3D) avec une surface élevée de 156 m² g⁻¹. En caractérisant la morphologie de MNGH, des nanotubes de MnO₂ de taille uniforme (~20 nm) ont été enveloppés par des feuilles poreuses interconnectées d'oxyde de graphène réduit (rGO), bénéficiant de la nanostructure poreuse 3D ainsi que de l'action synergique entre rGO et MNT [57].

- **Résultats et discussion**

La capacité d'adsorption de Pb²⁺ sur MNGH peut atteindre 300 mg /g et les données de sorption correspondent au modèle de Langmuir.

Chapitre III : Synthèse bibliographique sur l'application de la nanotechnologie pour l'élimination de quelques polluants

Ces résultats ont démontré que le MNGH tel que préparé pouvait être appliqué comme adsorbant prometteur pour l'élimination des ions de métaux lourds. [57]

Tableau III.2. Comparaison des capacités d'adsorption du Pb(II) avec différents matériaux adsorbants

Adsorbants	Capacité d'élimination (mg/g)	temps de contact
CH-MNP-CA	192.308	60 min
MNP Fe ₃ O ₄ @ SiO ₂ – NH ₂	140	60 min
N MNPs FGEBsAC	550	60 min
(Nt3DMNOHOG)	300	60 min

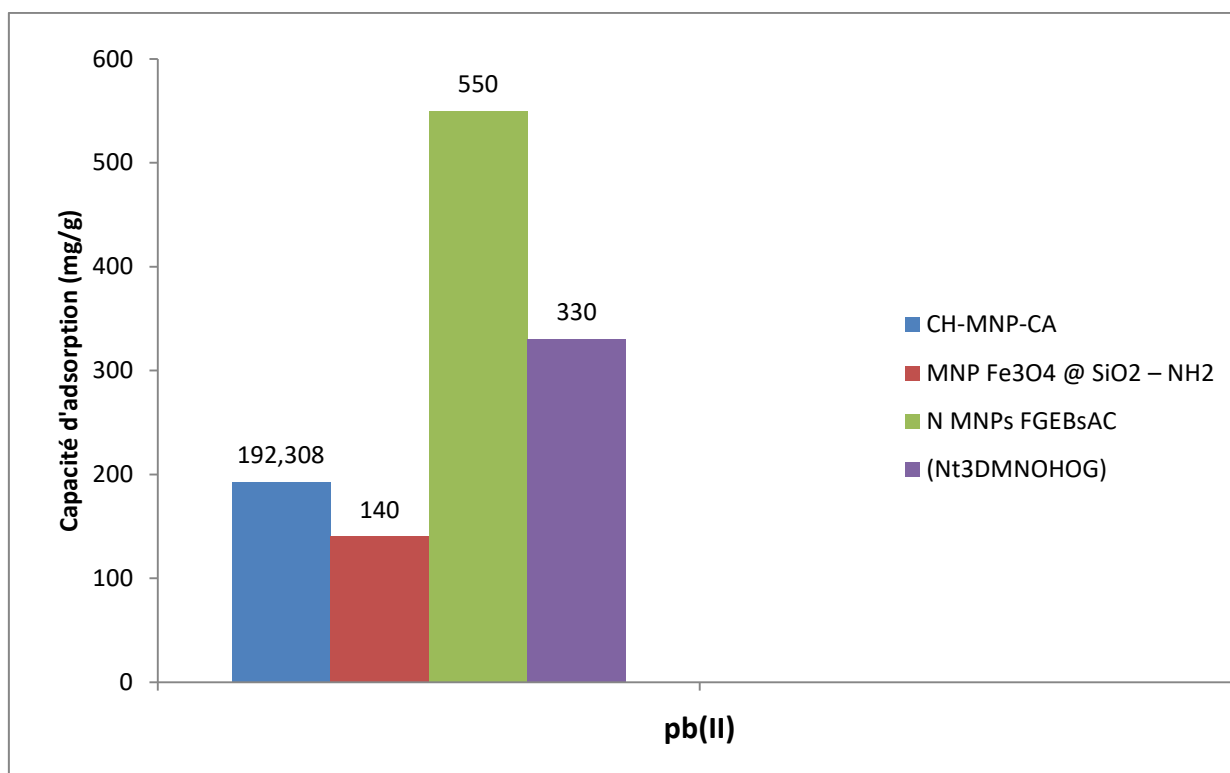


Figure III.2. Comparaison des capacités d'adsorption du Pb(II) avec différents matériaux adsorbants.

Sur la base des résultats de travaux antérieurs obtenus dans le **tableau III.2** et la **figure III.2**, il a été constaté que de nombreux composés de nanoparticules ont une sélectivité élevée pour l'adsorption des ions plomb(II).

Grâce à la comparaison sur une période de 60 minutes, il a été constaté que le composé (N MNPs FGEBsAC) avait la capacité d'absorption la plus élevée du plomb (II) 550 mg/g, suivi par d'autres composés en proportions variables (Nt3DMNOHOG) 300 mg/g et MNP Fe₃O₄ @ SiO₂ - NH₂ 140 mg/g et CH-MNP-CA 192.308 mg/g

III.4 Utilisation des nanoparticules pour l'élimination de colorant : Le vert de malachite

III.4.1 Nano ferrite de cuivre (CuFe_2O_4)

- **Expérience**

Un nouveau nano adsorbant CuFe_2O_4 a été synthétisé et utilisé pour l'adsorption du colorant cationique vert de malachite. Les caractérisations structurales et morphologiques ont révélé la structure cubique spinale et la morphologie poreuse de l'adsorbant CuFe_2O_4 . Des études d'adsorption par lots ont montré que l'adsorption du VM dépend de divers paramètres physico-chimiques tels que la charge d'adsorbant, le temps de contact. [58]

- **Résultats et discussion**

Les résultats de la cinétique d'adsorption montrent que l'adsorption du VM sur la ferrite de cuivre suit une cinétique de pseudo second ordre. En utilisant l'isotherme de Langmuir, une capacité d'adsorption maximale de 200 mg/g est trouvée. 40 mg de CF suffisent pour éliminer 85% du colorant VM en 30 min à pH neutre. Ainsi, il peut être utilisé comme nanoadsorbant magnétiquement récupérable pour l'élimination du vert de malachite en solution aqueuse par technique d'adsorption [58].

III.4.2 Nanocomposite oxyde de fer III feuilles de Juniperus procera activées magnétisées ($\text{Fe}_3\text{O}_4 @\text{FJPA}$)

- **Expérience**

Un nouvel adsorbant nanocomposite magnétique ($\text{Fe}_3\text{O}_4 @\text{AJPL}$) a été synthétisé avec succès par activation chimique du JPL et coprécipitation in situ avec Fe_3O_4 . Le nanocomposite $\text{Fe}_3\text{O}_4 @\text{AJPL}$ a été appliqué pour l'élimination du colorant VM des solutions aqueuses. Le nanocomposite $\text{Fe}_3\text{O}_4 @\text{AJPL}$ a été analysé à l'aide de différentes techniques analytiques, et les résultats ont confirmé que le nanocomposite $\text{Fe}_3\text{O}_4 @\text{AJPL}$ a été synthétisé avec succès. La surface du nanocomposite $\text{Fe}_3\text{O}_4 @\text{AJPL}$ a été identifiée par analyse BET et s'avère être de $38,44 \text{ m}^2/\text{g}$. Le nanocomposite $\text{Fe}_3\text{O}_4 @\text{AJPL}$ a été testé pour clarifier en profondeur les influences des facteurs sur l'adsorption de MV sur $\text{Fe}_3\text{O}_4 @\text{AJPL}$. Les facteurs d'adsorption optimisés se sont révélés être pH =7, temps de contact = 120 min, dose d'adsorbant =50 mg,

Chapitre III : Synthèse bibliographique sur l'application de la nanotechnologie pour l'élimination de quelques polluants

température = 45 °C et concentration initiale de VM = 150 mg/L. La cinétique et l'isotherme d'adsorption se sont avérées mieux adaptées au modèle cinétique pseudo-second ordre et isotherme de Langmuir. [59]

- **Résultats et discussion**

La capacité d'adsorption en monocouche était de 17.5 mg/g à 45°C et le temps de contact était de 30 min, ce qui était supérieur aux autres adsorbants magnétiques nanocomposites.

Dans l'ensemble, on pourrait conclure que l'adsorbant Fe₃O₄@AJPL préparé sera un adsorbant prometteur pour l'élimination du colorant VM des solutions aqueuses.[59]

III. 4.3 Nanotubes d'halloysite (HNT)

- **Expérience**

Des nanotubes d'halloysite (HNT) ont été utilisés comme nano-adsorbants pour éliminer le colorant cationique, Malachite Vert (MV), des solutions aqueuses. L'adsorption du colorant a été étudiée avec des expériences discontinues. Les HNT naturels utilisés comme adsorbant dans ce travail ont été initialement caractérisés par FT-IR et TEM. Les effets de la dose d'adsorbant, du pH initial, de la température, de la concentration initiale de colorant et du temps de contact ont été étudiés. L'adsorption a augmenté avec l'augmentation de la dose d'adsorbant, du pH initial et de la température. L'équilibre a été rapidement atteint après 30 min de temps de contact. Des modèles de diffusion de pseudo-premier ordre, de pseudo-second ordre et intraparticulaire ont été considérés pour évaluer les paramètres de vitesse. L'adsorption a suivi un modèle cinétique de pseudo-second ordre avec des coefficients de corrélation supérieurs à 0,999. Les facteurs contrôlant le processus d'adsorption ont également été calculés. [60]

- **Résultats et discussion**

Une capacité d'absorption maximale de 99,6 mg/g MV a été atteinte à pH = 9,5. La précipitation de vert de malachite adsorbée a été recueillie sur des nanotubes d'haloïte en 30 minutes.

Les nanotubes hélicoïdaux sont efficacement utilisés comme matériaux nano-sorbants non conventionnels et peu coûteux pour éliminer les colorants des solutions aqueuses [60].

III. 4.4. Nanoparticules de (α -Fe₂O₃-rGO)

- **Expérience**

La voie de synthèse facile en un seul pot pour préparer une composition de graphène 3D de matériaux hybrides à base d'hématite (α -Fe₂O₃) et d'oxyde de graphène réduit (rGO) a été rapportée. Les matériaux α -Fe₂O₃-rGO présentent une excellente capacité à éliminer le vert malachite (MV) de l'eau. La suspension d'oxyde de graphène (GO) de la méthode Hummers mélangée avec du FeCl₃ et de l'urée dans la solution est transformée in situ en composites α -Fe₂O₃ - rGO dans des conditions hydrothermales. La morphologie et la structure des composites α -Fe₂O₃ - rGO sont caractérisées par microscopie électronique à transmission, diffraction des rayons X, spectroscopie Raman, spectroscopie de photoémission de rayons X, spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier, etc. ils ont constaté que les nanoparticules α -Fe₂O₃ avec les formes cubiques et les particules avec le côté cubique de 10 à 30 nm sont uniformément réparties sur la couche de graphène. L'application de matériaux α -Fe₂O₃-rGO pour l'élimination du MV des solutions aqueuses est étudiée. Le modèle de Langmuir s'avère bien correspondre aux données expérimentales, [61]

- **Résultats et discussion**

Avec une capacité d'adsorption maximale de 438,8 mg/g pour le colorant MV à un temps de contact de 30 min, le processus d'adsorption par MV est contrôlé par un modèle de vitesse de pseudo-second ordre. L'excellente capacité de α -Fe₂O₃-rGO à éliminer le MV de l'eau est attribuée à l'effet d'adsorption synergique entre α -Fe₂O₃ et rGO.

La recherche fournit un matériau absorbant attrayant pour éliminer les substances dangereuses des eaux usées. [61]

Chapitre III : Synthèse bibliographique sur l'application de la nanotechnologie pour l'élimination de quelques polluants

Tableau III.3. Comparaison des capacités maximales d'adsorption de MV pour différents types d'adsorbants

Adsorbant	capacité d'adsorption	temps de contact
CuFe ₂ O ₄	200 mg/g	30min
(Fe ₃ O ₄ @AJPL)	17.5 mg/g	30 min
Nanotubes d'halloysite (HNT)	99,6 mg/g	30min
(α -Fe ₂ O ₃ -rGO)	200 mg/g	30min

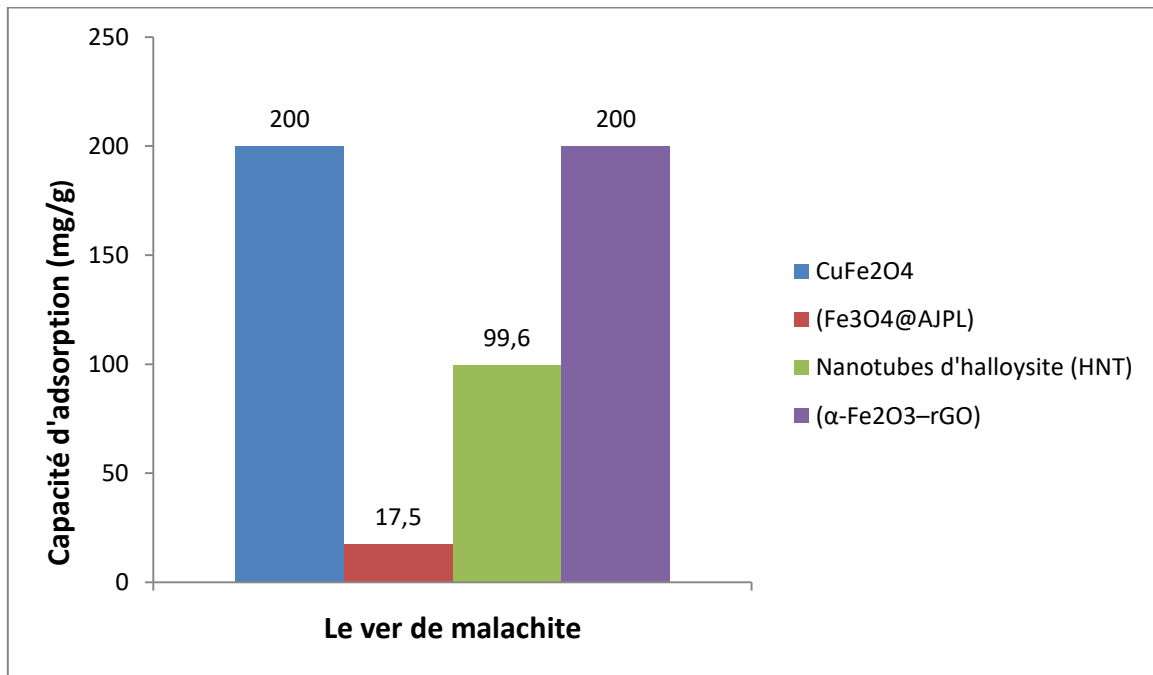
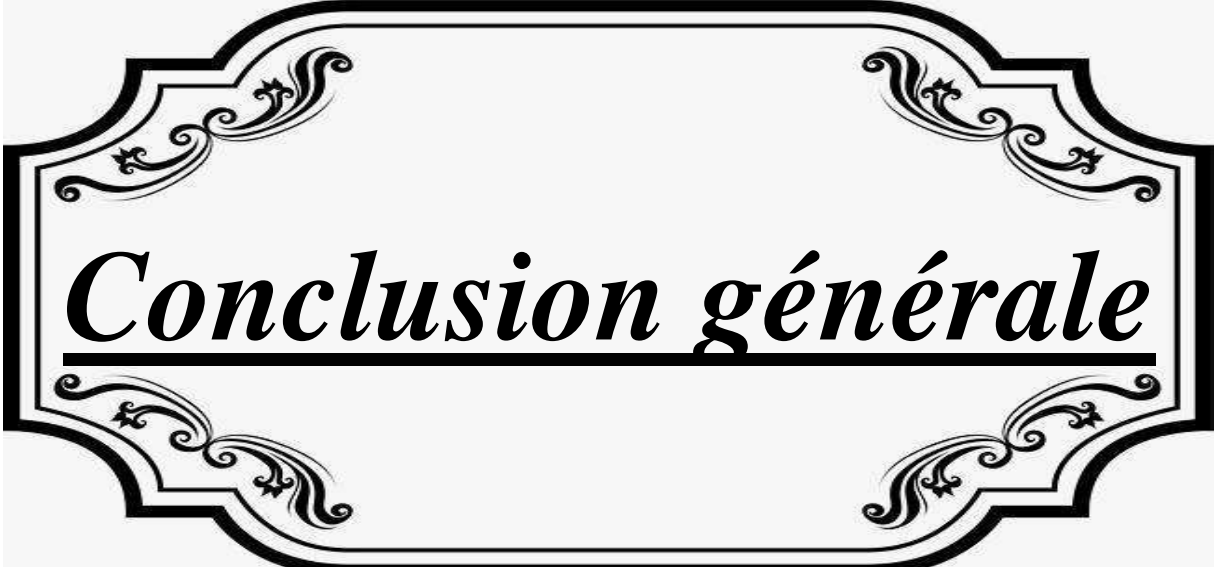


Figure III.3.comparaison entre les capacités maximales d'adsorption de Vert de malachite pour différents types d'adsorbants

Chapitre III : Synthèse bibliographique sur l'application de la nanotechnologie pour l'élimination de quelques polluants

A travers le **Tableau III.3** et la **Figure III.3** extraits des résultats de quelques expériences précédentes, Il a été constaté que les deux composés CuFe_2O_4 ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-rGO}$) atteignaient une capacité d'adsorption élevée pour MV

La capacité d'absorption des deux était de 200 mg/g sur une période de 30 minutes et la capacité d'adsorption moyenne était pour les Nanotubes d'halloysite (NTH) 99,6 mg/g et était faible à ($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{@AJPL}$) au cours de la même période et est estimée à 17,5 mg/g



Conclusion générale

Conclusion générale

À la fin de ce résumé biographique sur l'application de la nanotechnologie dans l'élimination de certains polluants, nous concluons que la nanotechnologie est l'une des technologies les plus importantes aujourd'hui, car la nanoscience est considérée comme l'une des sciences modernes avec des applications prometteuses à l'ère moderne et est devenue à l'avant-garde des domaines les plus importants dans tous les domaines de la science. Cette recherche s'est intéressée à la définition des nanosciences et a passé en revue certaines de ses différentes applications en mettant l'accent sur les applications industrielles. Cette science a expliqué que les propriétés des nanomatériaux se diffèrent de leurs propriétés mères, ce qui facilite l'utilisation de ces nouvelles propriétés dans l'élimination des polluants industriels. En comparant les études précédentes, nous montrons que les nanoparticules ont un rôle important dans l'élimination des polluants industriels en comparant l'élimination du benzène, du toluène, des colorants et métaux lourds.

Dans cette étude, l'adsorption du benzène et du toluène de l'eau a été réalisée à l'aide de nanotubes de carbone radioactifs avec des nanoparticules, où il a été démontré que l'adsorption des polluants à la surface des matériaux absorbants joue un rôle important dans l'efficacité de la technologie d'adsorption.

Nous avons également comparé différentes techniques de décoloration à l'aide de nanoparticules, qui sont représentées dans la méthode analytique, les méthodes de filtration membranaire et d'adsorption, et l'utilisation de nanoparticules pour se débarrasser des métaux lourds tels que le plomb (II) en utilisant la technologie de séparation magnétique haute performance dans le traitement des eaux usées.

A decorative frame with ornate, symmetrical scrollwork at the corners and midpoints. The word "Références" is centered within the frame in a bold, italicized serif font. A thick horizontal line is positioned directly beneath the text.

Références

Références

- [1] ف حلفاوي, ع مسعوي, التكنولوجيا النانوية ومعالجة المحيط, تطبيق الجسيمات النانوية في مجال تنقية المياه, قسم الكيمياء كلية الرياضيات و علوم المادة, جامعة قاصدي مرباح ورقلة (2020).
- [2] محمد حمزة احميدة, نجوى حمزة احميدة, عزيزة أنور احميدة, مقدمة مبسطة عن تقنية النانو: تعريفها مصطلحاتها وتطبيقاتها وتواجدها في البيئة, (2017), Libyan International Medical University Journal.
- [3] عبد الله احمد عبد الله, تطبيقات تقنية النانو: تأثير تطبيقات تقنية النانو على المواد المستخدمة في الواجهات الخارجية للمباني, كلية الهندسة, جامعة القاهرة, مصر. (2017).
- [4] Drexler K. E, Minsky M, «Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology Garden City, N.Y: Anchor Press/Doubleday, (1986).
- [5] Aumsri, « History Of Nanotechnology », creative sulekha, (2007)
- [6] Tarun Agarwalil, « Qu'est-ce que la nanotechnologie : types et ses utilisations », Elprocus, (2020)
- [7] رشا مضوي زائد مضوي نازك جاه الله النور عمر- نضال العجب إسماعيل زيدان- هناء الزين محمود الزين استخدام تقنية النانو تكنولوجي في الطب بحث تكميلي لنيل درجة البكالوريوس في التربية فيزياء قسم الفيزياء كلية التربية جامعة السودان للعلوم و التكنولوجيا, (2018)
- [8] د. محمد بن صالح الصالحي د. عبد الله بن صالح الضويان. مقدمة في تقنية النانو قسم الفيزياء والفلك كلية العلوم جامعة الملك سعود (2007)
- [9] Nadia Abu Ramis, «Qu'est-ce que la nanotechnologie », mawdoo3, (2017)
- [10] National Academies of Sciences Engineering and Medicine, «Small Wonders, Endless Frontiers: A Review of the National Nanotechnology Initiative », Washington DC, The National Academies Press. (2002).
- [11] Paul John, « Nanotechnologie No Free Lunch », Université nationale australienne, Canberra, (2010).
- [12] Joga, Srujana & Koyyala, Venkata Pradeep babu. « Nanotechnology in Oncology » Indian Journal of Medical and Paediatric Oncology, (2021).

- [13] Jeremy Ramsden, « Nanotechnologie Une introduction », 2e édition, Elsevier, (2016) .
- [14] Eun Ji Chung, Lorraine Leon, Carlos Rinaldi, « Nanoparticles for Biomedical Applications. Fundamental Concepts, Biological Interactions and Clinical Applications », 1st Edition, Elsevier, (2020).
- [15] Karn B, Kuiken T, Otto M. « Nanotechnology and in situ remediation: a review of the benefits and potential risks ». Environ Health Perspect. (2009)
- [16] Goyal, Amit & Johal, E. & Rath, G, « Nanotechnology for Water Treatment ». Current Nanoscience. (2011).
- [17] Mueller, N.C., Braun, J., Bruns, J., Černík, M., Rissing, P., Rickerby, D.G., & Nowack, B. « Application of nanoscale zero valent iron (NZVI) for groundwater remediation in Europe » Environmental Science and Pollution Research, (2011).
- [18] P.Yu. Apel, I.V. Blonskaya, S.N. Dmitriev, O.L. Orelovitch, B. Sartowska, « Structure of polycarbonate track-etch membranes: Origin of the “paradoxical” pore shape », Journal of Membrane Science, Volume 282, Issues 1–2, Pages 393-400, (2006).
- [19] Thembela Hillie, Mbhuti Hlophe, « nature Nanotechnology and the challenge of clean water », Nat Nanotechnol, (2007).
- [20] Burke A, Ding X, Singh R, et al. « Long-term survival following a single treatment of kidney tumors with multiwalled carbon nanotubes and near-infrared radiation », Proc Natl Acad Sci U S A. (2009)
- [21] Jennifer Chu , « MIT engineers develop "blackest black" material to date ». MIT News | Massachusetts Institute of Technology. Retrieved, (2021)
- [22] M Erickson, « Nanotherapy reduces plaque buildup in mouse arteries », Stanford Medicine, (2020).
- [23] Carl Feuer, »Nanotechnology and Construction », Elsevier, (2006)

- [24] Sobolev, Konstantin & Ferrada Gutierrez, Miguel, »How Nanotechnology Can Change the Concrete World », American Ceramic Society Bulletin, (2014).
- [25]H Raza, » Nanoelectronics Fundamentals Materials, Devices and Systems(NanoScience and Technology) », Springer International Publishing, (2019)
- [26] D Ghernaout,A Alghamdi, M Touahmia, M Aichouni, N Aït-Messaoudène, N Ait, M Nanotechnology,Nanotechnology Phenomena in the Light of the Solar Energy. Journal of Energy, Environmental & Chemical Engineering, January 2018
- [27]A.KHussein,«Applications of nanotechnology in renewable energies—A comprehensive overview and understanding », Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, vol. 42(C), pages 460-476. (2015).
- [28] Yong Li, Jie Yang, Jian Song »Nano energy system model and nanoscale effect of graphene battery in renewable energy electric vehicle », Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 69,Pages 652-663,(2017) .
- [29] Hanyan Xu, Hao Chen, Haiwen Lai, Zheng Li, Xiaozhong Dong, et all ,« Capacitive charge storage enables an ultrahigh cathode capacity in aluminum graphene battery », Journal of Energy Chemistry,Volume 45,Pages 40-44,(2020).
- [30] Stefan Lovgren, « Spray-On Solar-Power Cells Are True Breakthrough »,National Geographic News,(2005).
- [31] Alarjaly [تقنية النانو : 5 فوائد وتأثيرات وتطبيقات واستخدامات تقنية النانو, سعيد نت, (2021).
- [32] T.Hillie,, M. Hlophe, « Nanotechnology and the challenge of clean water » . Nature Nanotech 2, 663–664 (2007).
- [33] Rizzo LY, Theek B, Storm G, Kiessling F, Lammers T. « Recent progress in nanomedicine: therapeutic, diagnostic and theranostic applications ». Curr Opin Biotechnol, (2013)
- [34] Patil M, Mehta DS, Guvva S. « Future impact of nanotechnology on medicine and dentistry », J Indian Soc Periodontol,(2008)

- [35] ر هف سلامة, «تقنية النانو في الطب» اراجيك arageek,(2020).
- [36] Nikalje AP , »Nanotechnology and its Applications in Medicine ». Med chem 5: 081-089. doi:10.4172/2161-0444.1000247,(2015)
- [37] A Alshahrani, « The Advantages of Nanotechnology in Medical Field », University of Bridgeport, Electrical Engineering Department, Bridgeport, CT USA,(2016)
- [38] Coffey, Rebecca, « 20 Things You Didn't Know About... Nanotechnology »,Découvrez (2010).
- [39]Perán M, García MA, Lopez-Ruiz E, Jiménez G, Marchal JA » How Can Nanotechnology Help to Repair the Body? Advances in Cardiac, Skin, Bone, Cartilage and Nerve Tissue Regeneration », Materials (Basel),(2013).
- [40] Banoee M, Seif S, Nazari ZE, Jafari-Fesharaki P, Shahverdi HR, Moballegh A, Moghaddam KM, Shahverdi AR, « ZnO nanoparticles enhanced antibacterial activity of ciprofloxacin against Staphylococcus aureus and Escherichia coli », J Biomed Mater Res B Appl Biomater,(2010)
- [41]Sathya Achia-Abraham," Researchers develop buckyballs to fight allergies", VIRGINIA COMMONWEALTH UNIVERSITY, (2007)
- [42] J. Storrs Hall, » Nanofuture: what's next for nanotechnology,Amherst », NY: Livres Prometheus,2005.
- [43] S Neethirajan, D S Jayas « Nanotechnology for the Food and Bioprocessing Industries » Food Bioproc Tech, (2010)
- [44] ME Vance ,T Kuiken , EP Vejerano , SP McGinnis ,Jr Hochella , D Rejeski , MS Hull , « Nanotechnology in the real world: Redeveloping the nanomaterial consumer products inventory »Beilstein J Nanotechnol,(2015).
- [45] B Liston,« Nano-foods: The Next Consumer Scare? »,islameonline.net, (2008).

- [46], A. Y. Ghidan, T. M. Al Antary, « Applications of Nanotechnology in Agriculture ». In M. Stoytcheva, & R. Zlatev (Eds.), « Applications of Nanobiotechnology ». IntechOpen, (2019).
- [47] أ. م. د. سبأ جواد عبدالكاظم, التطبيقات الزراعية والاهمية المستقبلية لتقنيات النانو (4) تطبيقات النانو تكنولوجي في الزراعة, مجلة أريد الدولية للعلوم والتكنولوجيا (2021).
- [48] الصغير محمد الغربي, رغم المخاوف من مخاطرها ... تكنولوجيا النانو تُحدث تحولات كبرى في مجال الأغذية والزراعة, منظمة المجتمع العلمي العربي (2021).
- [49] George Tchobanoglous, H. David Stensel, Ryujiro Tsuchihashi, Franklin L. Burton, Mohammad Abu-Orf, Gregory Bowden, William Pfrang. « Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery », Fifth Edition, New York, McGraw-Hill, (2014)
- [50] Mehmet Şakir Ece, « Synthesis and characterization of activated carbon supported magnetic nanoparticles (Fe₃O₄/AC@SiO₂@Sulfanilamide) and its application in removal of toluene and benzene », Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Volume 617, (2021)
- [51] Mehmet Şakir Ece, Sinan Kutluay, Ömer Şahin, Sabit Horoz, « Development of Novel Fe₃O₄/AC@SiO₂@1,4-DAAQ Magnetic Nanoparticles with Outstanding VOC Removal Capacity: Characterization, Optimization, Reusability, Kinetics, and Equilibrium Studies », Engineering Chemistry Research, (2020).
- [52] Leili Mohammadi, Edris Bazrafshan, Meissam Noroozifar, Alireza Ansari-Moghaddam, Farahnaz Barahuie, Davoud Balarak, « Adsorptive Removal of Benzene and Toluene from Aqueous Environments by Cupric Oxide Nanoparticles: Kinetics and Isotherm Studies », Journals of chemistry, (2017)
- [53] Sinan Kutluay, « Excellent adsorptive performance of novel magnetic nano-adsorbent functionalized with 8-hydroxyquinoline-5-sulfonic acid for the removal of volatile organic compounds (BTX) vapors », Fuel, Volume 287, 119691, (2021)
- [54] Elham Cheraghipour, Mahmoud Pakshir, « Process optimization and modeling of Pb(II) ions adsorption on chitosan-conjugated magnetite nano-biocomposite using response surface methodology », Chemosphere, Volume 260, (2020)

- [55] Jianming Zhang, Shangru Zhai, Shi Li, Zuoyi Xiao, Yu Song, Qingda An, Ge Tian, « Pb(II) removal of Fe₃O₄@SiO₂-NH₂ core-shell nanomaterials prepared via a controllable sol-gel process, Chemical Engineering Journal », Volumes 215–216, Pages 461-471, (2013)
- [56] Renu Verma, Anupama Asthana, Ajaya Kumar Singh, Surendra Prasad, Md. Abu Bin Hasan Susan «Novel glycine-functionalized magnetic nanoparticles entrapped calcium alginate beads for effective removal of lead », Microchemical Journal, Volume 130, Pages 168-178, (2017).
- [57] Tianqin Zeng, Yong Yu, Zefan Li, Jiangtao Zuo, Zeyuan Kuai, Yang Jin, Yehe Wang, Anjun Wu, Chang Peng, « 3D MnO₂ nanotubes@reduced graphene oxide hydrogel as reusable adsorbent for the removal of heavy metal ions », Materials Chemistry and Physics, Volume 231, Pages 105-108, 2019.
- [58] B.R Vergis, R.Hari Krishna,N.Kottam, B.M.Nagabhushana ,R.Sharath,B. Darukaprasad « Removal of malachite green from aqueous solution by magnetic CuFe₂O₄ nano-adsorbent synthesized by one pot solution combustion method ». J Nanostructure in Chemistry,(2018).
- [59]] A Q. Alorabi,"Effective Removal of Malachite Green from Aqueous Solutions Using Magnetic Nanocomposite: Synthesis, Characterization, and Equilibrium Study", Adsorption Science & Technology, vol. 2021, Article ID 2359110, 15 pages, (2021)
- [60] Gholamreza Kiani, Mohammad Dostali, Ali Rostami, Ali R. Khataee, «Adsorption studies on the removal of Malachite Green from aqueous solutions onto halloysite nanotubes», Applied Clay Science, Volume 54, Issue 1,Pages 34-39,(2011)
- [61] Liu Airong ,Zhou Wen , Shen Kaile , Liu Jing , Xixi Zhang, « One-pot hydrothermal synthesis of hematite-reduced graphene oxide composites for efficient removal of malachite green from aqueous solution ». RSC Adv, (2015).

Abstract

In this work, nanotechnology and nanomaterials were identified and their impact on various areas of life, Their most important characteristics and advantages were mentioned, and many applications in various fields were addressed, where they had a prominent imprint in deleting pollutants from the environment and by comparing previous studies. It turns out to us that nanoparticles have a major role in removing industrial pollutants in terms of absorbing pollutants on the surface of absorbent materials, and they have an important role in the effectiveness of the adsorption technology.

Résumé

Dans ce travail, les nanotechnologies et les nanomatériaux ont été identifiés ainsi que leur impact sur divers domaines de la vie. Leurs caractéristiques et avantages les plus importants ont été mentionnés, et de nombreuses applications dans divers domaines ont été abordées, où ils avaient une empreinte prééminente dans l'élimination des polluants de l'environnement et en comparant les études précédentes. Il nous apparaît que les nanoparticules ont un rôle majeur dans l'élimination des polluants industriels en termes d'adsorption des polluants à la surface des matériaux adsorbants, et qu'elles ont un rôle important dans l'efficacité de la technologie d'adsorption.

المخلص

من خلال هذا العمل تم التعرف على تقنية النانو و المواد النانوية و أثرها على مختلف مجالات الحياة كما تم ذكر أهم خصائصها و مميزاتها وتم التطرق إلى العديد التطبيقات في مختلف المجالات أين كانت لها بصمة بارزة في حذف الملوثات من الوسط المائي و من خلال مقارنة دراسات سابقة تبين لنا ان الجسيمات النانوية لها دور كبير في إزالة الملوثات الصناعية من حيث إمتصاص الملوثات على سطح المواد الماصة و لها دور مهم في فعالية تقنية الإمتزاز.