



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة الشهيد حمزة لخضر الوادي

Université Echahid Hamma Lakdhar- EL OUED

كلية العلوم الطبية والحياة

قسم Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

البيولوجيا الخلوية والجزيئية

Département de Biologie Cellulaire et Moléculaire

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Sciences biologiques

Spécialité : toxicologie

THÈME

Préparation de nanoparticules à base de Lagmi Et leurs activités biologiques

Présenté par :

DEHEB Batoul

HABITA Chaïma

NECIRA Chaïma

Devant le jury :

PRESEDENT		
EXAMINATEUR		
PROMOTEUR	Dr. GHANIA Ahmed	M.A.A, Université d'El Oued.
CO PROMOTEUR	GHANIA Abdallah	

Année Universitaire : 2023-2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

يَرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ
وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ

Remercîments

Nous louons Dieu qui nous a accordé le courage et la patience, et qui a illuminé notre chemin pour accomplir ce travail avec succès. Nous adressons nos sincères remerciements et notre gratitude aux membres du corps professoral et aux administrateurs de la Faculté des Sciences Naturelles et de la Vie de l'Université d'El Oued, qui s'efforcent toujours de fournir un enseignement de haute qualité et déploient de grands efforts pour garantir la meilleure expérience éducative à leurs étudiants.

*Nous adressons nos remerciements particuliers au **Dr Ghania Ahmed**, directeur de notre thèse, pour la confiance qu'il a placée en nous, ses commentaires constructifs, ses conseils judicieux, ses précieuses suggestions, et son soutien continu tout au long des étapes de préparation et de réalisation de ce travail. Nous lui souhaitons les meilleures réussites dans sa carrière professionnelle pour son dévouement et sa persévérance à réaliser notre rêve. Nous exprimons également notre gratitude sincère au co-directeur **Ghania Abdallah** pour son soutien et son aide dans les moments difficiles.*

Nous remercions également tous les membres du jury, et pour leurs discussions constructives sur cette thèse et leur soutien et encouragement continus.

Nous exprimons notre profonde reconnaissance à tous ceux qui ont contribué au développement de ce travail, que ce soit directement ou indirectement.

Nous exprimons également nos remerciements et notre profonde gratitude à nos camarades pour leurs encouragements et leur soutien dans la réalisation de ce travail, et nous leur souhaitons un succès continu dans leur carrière académique et professionnelle.

Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à nos parents et nos frères et sœurs qui ont su nous faire confiance et nous soutenir dans ces circonstances, ainsi qu'à tous nos amis proches qui nous ont toujours soutenus et encouragés, même dans les moments les plus difficiles.



Dédicace

*Au terme de ce mémoire nous tenons à remercier tout d'abord et en premier lieu **ALLAH** tout puissant qui nous a donné la force, le courage et la patience de bien mener ce travail Je me remercie pour mes efforts et ma fatigue tout au long de ce parcours qui a duré 17 ans, Le rêve n'était pas proche et le chemin n'était pas pavé de facilités, mais je l'ai fait. Aujourd'hui, je me tiens sur le seuil de ma remise de diplôme, récoltant les fruits de mon labeur et levant mon chapeau avec fierté pour le niveau que j'ai atteint.*

*Je dédie ce succès à tous ceux qui ont œuvré avec moi pour accomplir ce parcours, aux piliers importants de ma vie, à ceux qui ont partagé mon difficile voyage, à ceux qui ont travaillé pour construire un avenir radieux pour moi. Merci pour vos efforts incommensurables, car la gratitude est le moindre des sentiments que je vous port **À ma merveilleuse famille.***

*A celui qui m'a soutenu sans limites et m'a donné sans rien attendre en retour, à celui qui m'a appris que la vie est une lutte et que son arme est la science et la connaissance, mon premier soutien dans mon parcours, mon pilier et ma force après **ALLAH**, mon cher **père Habita Djebbari.***

*À mon cœur tendre et la bougie qui a été pour moi dans les nuits sombres le secret de ma force et de mon succès, compagne de mon chemin et ma première supportrice, mon ange gardien qui m'a embrassé dans son cœur avant ses mains et a facilité les épreuves par ses prières, **ma douce mère.** Je la dédie également à mes belles, merci pour votre soutien en temps de faiblesse et votre soutien continu pour moi, mes sœurs **Sara et Maria** et mon amie d'enfance **Aya et Iness.***

À mon grand-père, ma grand-mère, tous les parents et amis proches.

Chaima





Dédicace

Celui qui dit "je suis pour elle" l'obtient.

Le voyage n'a pas été court et il ne devait pas l'être. Le rêve n'était pas proche et le chemin n'était pas parsemé de facilités, mais je l'ai fait et je l'ai obtenu.

Louange à Dieu pour Son amour, Sa gratitude et Sa bienveillance grâce auxquels je suis ici aujourd'hui, regardant mon rêve qui a longtemps attendu et qui est devenu une réalité dont je suis fier. Je me remercie pour les efforts et le travail acharné que j'ai fournis pendant 17 ans, et aujourd'hui, je me tiens au seuil de mon diplôme, récoltant les fruits de mon travail et levant mon chapeau avec fierté pour le niveau que j'ai atteint.

*À mon ange pur, mon premier héros, le soutien de ma colonne vertébrale, ma force après Dieu, mon premier soutien, celui qui m'a appris à donner sans attendre en retour et dont je porte le nom avec fierté. À mon cher et bien-aimé que j'aime autant que ce monde et plus, et à la patrie à laquelle j'appartiens et qui m'accueille, mon père (**Necira Saïd**).*

*À celle qui est la vie dans la vie, à toi se courbe la plume avec amour et gratitude, tu as bien pris soin de moi, **ma chère mère**.*

*À ma moitié, prunelle de mes yeux et compagnon de route, mon soutien après mon père, ma constante qui ne vacille pas, qui me supporte dans mes fatigues et mes pires états, m'encourage par ses bonnes paroles et ses consolations, mon cher mari (**Anis Bey**).*

*À ceux dont on dit "nous renforcerons ton bras avec ton frère", à ces mains tendues vers moi avec amour, mes frères (**Ousama, Walid, Lazhari, Adel, Aymen, Wafaa, Rouwida, Imane, Hadjer**).*

*À la famille de mon mari, à tous ceux qui m'ont soutenue et qui étaient à mes côtés en période de détresse, à mes deuxième père et mère, le pilier solide de notre maison (**Papa Al-Eid et Maman Khazania**).*

*Enfin, et non des moindres, je dédie mon diplôme à ma fille que je n'ai pas mise au monde, ma bien-aimée et compagne de vie, mon âme innocente qui m'a aimée sans contrepartie, la fille de mon frère (**Tasnim**).*

Chaima.N





Dédicace

Au nom de Dieu, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux.

Louange à Dieu par Sa grâce les bonnes actions s'accomplissent, et par Sa faveur les efforts sont couronnés de succès. Je Le loue et Le remercie pour la force, la patience et la volonté qu'Il m'a données pour réaliser ce rêve. Je me remercie pour chaque moment d'effort et de fatigue, pour la patience face aux difficultés et aux défis, et pour la foi que le rêve peut se réaliser avec persévérance et travail acharné.

Je dédie cette réussite à l'âme de mon cher grand-père, **(Hadj Saïd Deheb)**, qu'Allah lui accorde Sa miséricorde.

À mon cher père **(Azzeddine Deheb)**, je te dédie mon succès aujourd'hui. Tu as toujours été un modèle et un exemple pour moi, et tu as été mon soutien fort à chaque étape de ma vie. Je te remercie du fond du cœur pour tout ce que tu m'as donné. Grâce à tes conseils et à ton soutien continu, j'ai pu réaliser ce rêve et atteindre ce moment tant attendu.

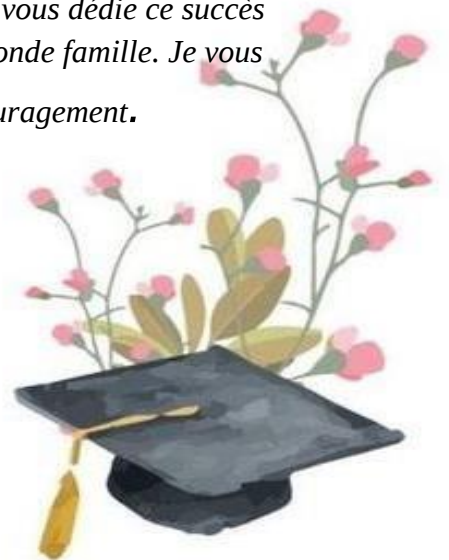
À ma chère mère, les mots de remerciement ne suffisent pas à exprimer ma gratitude. Tu as toujours été à mes côtés à chaque étape, veillant sur mon confort et m'encourageant dans les moments difficiles. Ce succès n'est dû qu'à Allah puis à toi, et je te le dédie avec fierté et reconnaissance.

À mes chers frères et sœurs : **Sadek Elamine, Belkis, Khaled**, et mes petites sœurs **Roudina et Roufan**, je vous dédie cette réussite. Vous êtes la lumière de mes yeux et ma joie éternelle. J'espère que mon succès sera une motivation pour vous réaliser vos rêves et ambitions. Je vous souhaite tout le succès et la réussite.

À mon cher fiancé **Souhaib**, je te dédie ce succès avec tout mon amour et mon estime. Tu as été mon soutien et mon appui à chaque étape de ce chemin, et sans ta présence à mes côtés et ton encouragement continu, je n'aurais pas pu atteindre ce moment.

À mes chères amies **Hadeel, Djoulan, Tasneem et Arwa**, je vous dédie ce succès avec tout mon amour et ma gratitude. Vous avez été ma seconde famille. Je vous remercie pour chaque instant de soutien et d'encouragement.

Deheb batoul



Résumé :

Le jus de palmier dattier, extrait du palmier, est une substance naturelle riche en composés biologiquement actifs, ce qui lui confère une grande importance dans les applications nanotechnologiques. Dans cette étude, nous avons synthétisé des nanoparticules de sélénium et évalué leurs activités biologiques à partir des Polysaccharides du jus de palmier dattier. Après notre travail, nous avons obtenu un rendement régulier dans tous les échantillons étudiés. Sur le plan technique, pour caractériser ces matériaux nanométriques et comprendre leurs propriétés, nous avons utilisé la technique de diffraction des rayons X (**DRX**), qui a montré des résultats remarquables. Ainsi, la taille cristalline de l'échantillon de zinc était de 21 nm, celle de l'échantillon de sélénium était de 14 nm, tandis que l'intégration du zinc avec le sélénium était de 17 nm. De plus, la spectroscopie UV-visible (**UV**) a montré que les composés dans les échantillons se trouvaient dans le même domaine théorique : Zn (340 nm), Se (379 nm) et extrait pur (409 nm). En revanche, la spectroscopie infrarouge (**FTIR**) a révélé la présence de liaisons hydrogène et carbone dans les échantillons, ce qui distingue les nanoparticules. De même, les résultats de la microscopie électronique à balayage (**MEB**) ont décrit la forme nanométrique et les types d'atomes présents, à savoir le sélénite de zinc (**ZnSe**), l'oxyde de sélénium (**SeO₂**) et l'oxyde de zinc (**ZnO**). Les résultats des activités biologiques ont montré une forte efficacité contre les bactéries en éliminant quatre souches connues, à savoir Escherichia-Coli, Pseudomonas aeruginosa, Staphylococcus et Bacillus subtilis. De plus, une forte activité contre l'hémolyse a été enregistrée avec les nanoparticules de **Zn_SeNPs** à 81,41 % et **SeNPs** à 98,62 %, indiquant une forte capacité antioxydante et une protection efficace contre la dégradation des globules rouges. Une autre activité biologique prometteuse étudiée pour les nanoparticules de sélénium SeNPs est le DPPH, le FRAP, le bêta-carotène, ainsi que l'activité anti-inflammatoire et anticoagulante.

Mots-clés: Applications nanotechnologiques - Nanoparticules de sélénium - Jus de palmier dattier - Sucres de palmier dattier - Activités biologiques - Activité antibactérienne - Activité anti-hémolyse.

الملخص:

دُعُ عَصِير القمي النخيل، المستخرج من النخيل، مادة طبيعية غنية بالمركبات النشطة بيولوجيًا، مما يجعله ذا أهمية كبيرة في التطبيقات النانوية. تهدف هذه الدراسة التي قمنا بها إلى تخليق جسيمات سيلينيوم نانوي وتقييم انشطتها البيولوجية انطلاقًا من سكريات القمي النخيل. بعد العمل الذي قمنا به، حصلنا على مردود عادي النسبة في جميع العينات المدروسة. ومن الناحية التقنية و لوصف هذه المواد النانوية وفهم خصائصها، استخدمنا تقنية حيود الشعاع السينية حيث أظهرت نتائج مبشرة و ذلك بتحصل على حجم البلوري لعينة الزنك 21 نانومتر و عينة السيلينيوم 14 نانومتر أما ادماج الزنك مع السيلينيوم 17 نانومتر. وكذلك تقنية الأشعة فوق البنفسجية-المرئية التي أظهرت نتائجها أن المركبات في العينات نوع ضمن نفس المجال النظري: Zn (340 نانومتر)، Se (379 نانومتر)، و 409 Extrait pur نانومتر). بالمقابل كشفت تقنية الأشعة تحت الحمراء عن وجود روابط هيدروجينية وكربونية في العينات، وهذا ما يميز الجسيمات النانوية. وكذلك وضحت نتائج المجهر الإلكتروني الماسح توصيف شكل النانوي وأنواع الذرات الموجودة وهي سيلينيت زنك و اوكسيد سيلينيوم و اوكسيد زنك. كما أظهرت نتائج الأنشطة البيولوجية تميز قوي وفعال في نشاط ضد بكتيريا بسبب قضاها على أربع سالات معروفة وهي E. Coli, Pseudomonas aeruginosa: Staphylococcus, Bacillus subtilis بالإضافة إلى ذلك تم تسجيل نشاط قوي ضد انحلال الدم بواسطة Zn-SeNPs بنسبة 81, 41% و Se-NPs بنسبة 98.62% وهذا ما يشير إلى قدرة قوية مضادة للأكسدة وحماية فعالة ضد تحلل كريات الدم الحمراء. أحد الأنشطة البيولوجية الواعدة الأخرى التي قمنا بدراستها لجسيمات سيلينيوم نانوي SeNPs هي DPPH, FRAP, Bêta-carotane بالإضافة إلى نشاط ضد التهاب و ضد تخثر الدم.

الكلمات المفتاحية: تطبيقات نانوية-جسيمات سيلينيوم نانوي- عصير النخيل (القمي)-سكريات القمي نخيل -انشطة بيولوجية - نشاط ضد بكتيريا -نشاط ضد تحلل الدم.

Abstract

The juice of date palm, extracted from the palm tree, is a natural substance rich in biologically active compounds, making it of great importance in nanotechnological applications. This study aimed to synthesize selenium nanoparticles and evaluate their biological activities using date palm sugars. After the work we carried out, we obtained a normal yield in all studied samples. From a technical standpoint, to characterize these nanomaterials and understand their properties, we utilized X-ray diffraction technique(**XRD**), which showed remarkable results. Consequently, the crystalline size of the zinc sample was 21 nm, selenium sample was 14 nm, and the zinc-selenium integration was 17 nm. Additionally, UV-visible(**UV**) spectroscopy results revealed that compounds in the samples fell within the same theoretical range: Zn (340 nm), Se (379 nm), and pure extract (409 nm). Conversely, infrared spectroscopy unveiled (**FT-IR**) the presence of hydrogen and carbon bonds in the samples, distinguishing the nanoparticles. Moreover, scanning electron microscopy(**SEM**) clarified the nano shape and types of atoms present, namely zinc selenite(**ZnSe**), selenium oxide(**SeO₂**), and zinc oxide(**ZnO**). Furthermore, the results of biological activities demonstrated strong and effective distinction in activity against bacteria by eliminating four known strains, including E. Coli, Pseudomonas aeruginosa, Staphylococcus, and Bacillus subtilis. Additionally, strong activity against hemolysis was recorded with **Zn-SeNPs** at 81.41% and **Se-NPs** at 98.62%, indicating powerful antioxidant capability and effective protection against red blood cell breakdown. Another promising biological activity studied for selenium nanoparticles SeNPs included DPPH, FRAP, Beta-carotene, in addition to anti-inflammatory and anti-coagulant activity.

Keywords: Nanotechnological applications - Selenium nanoparticles - Date palm juice (Lagmi)
- Date palm sugars - Biological activity - Antibacterial activity - Anti-hemolysis activity.

Liste des Figures

Figure n° 1: Présentation schématique des différentes parties d'un palmier dattier adulte	7
Figure n° 2: Répartition de l'espèce Phoenix.....	8
Figure n° 3: Répartition géographique du patrimoine phoénicicole avec les principales régions phoénicicole (Biskra, Ouargla, El-Oued)	9
Figure n° 4: Structure de. a) la section transversale d'un tronc d'arbre typique comparée à. b) la transversale d'un tronc de palmier à huile et. c) son faisceau vasculaire.....	12
Figure n° 5: Méthode d'extraction de la sève du palmier (Lagmi).....	13
Figure n° 6: Gamme de tailles des nanoparticules comparée à celles des principales structures chimiques et biologiques	15
Figure n° 7: Diagramme illustrant différentes classes de NM basées sur la dimensionnalité .	16
Figure n° 8: Types of organic NPs. A Dendrimers; B liposomes; C micelles; and D ferritin .	17
Figure n° 9: Représentation schématique de la structure des nanocapsules et des nanosphères (la flèche signifie la présence de médicament/bioactif dans les nanoparticules)	18
Figure n° 10: Représentation schématique des nanoparticules à base de carbone:(a) nanotubes de carbone (b) graphène (c) fullerène C60 (d) noir de carbone.....	19
Figure n° 11: Application des nanoparticules par secteur d'activité.....	23
Figure n° 12: Représente les formes organiques et inorganiques du sélénium	26
Figure n° 13: Les trois formes de sélénium sont le rouge, le gris et le noir	27
Figure n° 14: Biomedical application of SeNPs.....	28
Figure n° 15: Mécanisme de la photocatalytique de colorants par ZnNPs dopé au Se	36
Figure n° 16: Cible des anticancéreux (Anonyme 02)	39
Figure n° 17: Situation géographique de la wilaya d'El Oued Souf.	41
Figure n° 18: Une image brute de Google Earth de Site de prélèvement "El Magren "	41
Figure n° 19: Technique de Caractéristique de nanoparticule.	45
Figure n° 20: DPPH reaction with natural antioxidants	48
Figure n° 21: Spectres DRX d'échantillon Zn NPs.....	59
Figure n° 22: Spectres DRX d'échantillon SENPs.....	60
Figure n° 23: Spectres DRX d'échantillon Zn-SeNPs	61
Figure n° 24: Spectre UV-Visible des Zn_SeNPs/Se/ZnO/Ext Synthétisés par l'Extrait de lagmi.	62
Figure n° 25: Microscope électronique à balayage (MEB) d'échantillon Se-NPs.....	63
Figure n° 26: histogramme de spectre EDX de SePNs.	64
Figure n° 27: Microscope électronique à balayage (MEB) d'échantillon ZnNPs	65

Figure n° 28: histogramme de spectre EDX de ZnNPs.....	65
Figure n° 29: Microscope électronique à balayage(MEB) d'échantillon Zn-SeNPs.	67
Figure n° 30: histogramme de spectre EDX de Zn-SeNPs.	67
Figure n° 31: Histogramme de SeNPs pour infrarouge.....	69
Figure n° 32: Histogramme de ZnNPs pour infrarouge	70
Figure n° 33: Histogramme de Zn-SeNPs pour infrarouge	71
Figure n° 34: Histogramme d'Extrait pure pour infrarouge.....	73
Figure n° 35: Diagramme d'activité antioxydant l'échantillon nanoparticule test de DPPH....	74
Figure n° 36: Diagramme d'activité antioxydant l'échantillon nanoparticule test FRAP.....	75
Figure n° 37: Diagramme d'activité antioxydant l'échantillon nanoparticule test de B carotène.	76
Figure n° 38: Effet inhibiteur de différentes substances à différentes concentrations sur l'hémolyse par rapport à la vitamine c	77
Figure n° 39: Effet inhibiteur de différentes substances à concentration 60 mg/mL sur l'hémolyse par rapport à la vitamine C	78
Figure n° 40: histogramme d'absorbance de couleur pour photocatalytique	79
Figure n° 41: Diagramme d'anticoagulant TCK.	80
Figure n° 42: Diagramme de pourcentage d'inhibition d'anti inflammatoire	81
Figure n° 43: Illustration de la méthode de microdilution en bouillon utilisée pour l'activité antimicrobienne des SeNPs contre les souches bactériennes.	82
Figure n° 44: Illustration de la méthode de microdilution en bouillon utilisée pour l'activité antimicrobienne des ZnNPs contre les souches bactériennes.....	83
Figure n° 45: Illustration de la méthode de microdilution en bouillon utilisée pour l'activité antimicrobienne des Zn-SeNPs contre les souches bactériennes.	84

Liste des photos

Photo n° 1: Synthèse de SeNPs Par de « Lagmi ».....	42
Photo n° 2: Le poids des échantillons d'Acétate de Zn et VC.....	42
Photo n° 3: Synthèse de de ZnNPs Par de « Lagmi ».....	43
Photo n° 4: Étape de séparation par Centrifugeuse	44
Photo n° 5: Étape de séchage à l'aide d'un appareil de lyophilisation.	45
Photo n° 6: Photo de manipulation.	52
Photo n° 7: Photo des résultats.	52
Photo n° 8: Activités photo catalytique dans laboratoire de l'université d'EL OUED.	53
Photo n° 9: Teste Anticoagulant.	54
Photo n° 10: Matériel d activite anti-bacteriennes.....	56

Liste des tableaux

Tableau n° 1: Clacification du palmier.....	7
Tableau n° 2: Nombre de palmiers dattiers en Algérie d’après (Anonyme ,2002).....	9
Tableau n° 3: Caractéristiques de distribution et d’extraction de P. dactylifera	11
Tableau n° 4: Outils analytiques de base utilisés pour caractériser les nanoparticules	22
Tableau n° 5: Calcule de rendement.....	58
Tableau n° 6: Effet inhibiteur de différentes substances à concentration 60 mg/mL sur l'hémolyse par rapport à la vitamine c	77
Tableau n° 7: CMI, la CMB et le rapport CMB/CMI pour Se-NPs contre différentes bactéries.	82
Tableau n° 8: La CMI, la CMB et le rapport CMB/CMI pour ZnNPs contre différentes bactéries.	83
Tableau n° 9: La CMI, la CMB, et le rapport CMB/CMI pour Zn-SeNPs contre différentes bactéries.	83

Liste des abréviations

Liste des abréviations

%	Pourcentage	DPPH	2, 2 diphényle 1-1 picrylhydrazyl
μL	Microlitre	DRX	Diffractomètre à rayons X
Abc	Absorbance	EDTA	Ethylène diamine Téra acétique
Ac	Absorbance contrôle	FT-IR	Infrarouge à Transformée de Fourier
At	Absorbance teste	H	Heure
BHT	Hydroxytoluène butyle	H2O2	Eau oxygène
Cm	Centimètre	I %	Pourcentage d'inhibition
MB	Bleu de méthylène	UV-Vis	Ultraviolet Spectroscopie d'absorption visible.
mg/ml	Milligramme par millilitre	Zn	Zone d'inhibition.
Mn	Minute	Zn-SeNPs	Nanoparticule de sélénium+ acétate de zinc.
Nm	Nanomètre	Zn	Acétate de zinc.
PBS	Tampon de phosphate	Se	Sélénium gray.
R	Rendement	CMI	La concentration inhibitrice minimale
TCK	Temps du céphaline – Kaolin	CMB	La concentration bactéricide minimale.
SeNPs	Nanoparticule de sélénium	MEB	Microscopie Électronique à Balayage.
NaCl	Chlore de sodium	ml	Milli litre
VC	Vitamine C	mg	Milli gramme
°C	Percentage de grée	Zn	Nanoparticule de Zinc

Sommaire

Remercîments	
Dédicace.....	
Résume :	
Liste des Figures	
Liste des photos.....	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Sommaire.....	
Introduction générale.....	1

Partie bibliographique

I. Les polysaccharides.....	5
I.1. Définition des polysaccharides.....	5
I.2. Phoenix dactylifera.....	5
I.2.1. Généralité de Phoenix dactylifera	5
I.2.2. Description générale du palmier dattier	6
I.2.3. Systématique de Phoenix dactylifera	7
I.3. Répartition géographique	8
I.3.1. Répartition géographique dans le monde	8
I.3.2. La diversité variétale dans l'Algérie	8
I.4. Différents produits de phoenix dactylifera L	10
I.5. Lagmi	10
I.5.1 Définition de lagmi.....	10
I.5.2. Origine de « Lagmi » sucrée du palmier	10
I.5.3. Composition chimique de « Lagmi »	11
I.5.4. Caractéristiques de distribution et d'extraction de P. dactylifera.....	11
I.5.5. Transport de la sève « Lagmi » dans le palmier	12
I.5.6. Récolte du « Lagmi »	12
I.5.7. Conservation de « Lagmi »	13
I.5.8. Utilisation thérapeutique de « Lagmi » de palmier	13
II. Généralités sur Nanoparticule	14
II.1. Définition de la nanotechnologie	14
II.2. Origine du nom nano	14

II.2.1. Définition de nanoparticule.....	14
II.3. Classification des nanomatériaux	15
II.3.1. Classement selon les dimensions	15
II.3.2. Classification des nanoparticules.....	16
II.3.2. Nanoparticules inorganiques.....	18
II.3.3. Les nanoparticules à base de carbone	18
II.4. Synthèse de nanoparticules	20
II.4.1. Méthodes physiques.....	20
II.4.2. Méthodes chimiques	20
II.4.3. Méthodes biologiques	21
II.5. Caractérisation des nanoparticules.....	22
I.6. Applications des nanoparticules.....	23
II.6.1. Dans le domaine de médecine.....	23
II.6.2. Dans le domaine d'électronique.....	24
II.6.3. Dans le domaine d'environnement	24
III. Généralités de sélénium.....	25
II.1. Définition Le Sélénium.....	25
III.2. Rôle de sélénium	25
III.3. Différentes formes de sélénium	25
III.4. Les propriétés physico-chimiques	26
III.5. Carence et toxicité du sélénium.....	27
III.5.1. Carence en sélénium.....	27
III.5.2. Toxicité du sélénium	27
IV. Activités Biologiques	28
IV.1. Activité Antioxydants.....	28
IV.1.1. Définition d'antioxydant	28
IV.1.2. Types des Antioxydants	29
IV.1.2.3.2. La vitamine C ou acide ascorbique	30
IV.1.3. Sources des Antioxydants	31
IV.1.4. Classification des antioxydants	32
IV.1.5. Antioxydants mécanisme	32
IV.1.6. Caractéristiques des antioxydants	32
IV.2. Activité anti-hémolyse	33
IV.2.1. Hémolyses	33

IV.3. Activité Anti-Inflammatoire.....	33
III.3.1. Définition.....	33
IV.3.2. Types d'inflammation	33
IV.4. Activité Anticoagulation	34
IV.5. Activité PhotoCatalytique	34
IV.5.1. Définition.....	34
IV.5.2. Mécanisme de la photo catalytique	34
IV.6. Activité Anti- Bactérienne.....	36
IV.6.1. Définition.....	36
IV.6.2. Micro-organismes utilisés dans les tests antimicrobiens.....	36
IV.7. Activité Anti-Cancéreux.....	37
IV.7.1. Définition.....	37
IV.7.2. Cibles et mécanismes d'action des anticancéreux.....	38

PARTIE MATERIELS ET METHODES

V.1. Présentation de site expérimental	41
V.2. Matériel biologique.....	41
V.3. Préparations de nanoparticules	41
V.3.1 Préparation de SePNs	41
V.3.2. Préparation de ZnPNs	42
V.3.3. Préparation de Zn-SeNPs.....	43
V.3.4. Préparation de l'extrait pure « Lagmi »	43
V.3.5. Étape de séparation par centrifugeuse	43
V.3.6. Étape de séchage à l'aide d'un appareil de lyophilisation	44
V.4. Rendement de l'échantillon.....	45
V.5. Caractéristique de nanoparticule.....	45
V.5.1. Technique Diffraction des rayons X (DRX).....	46
V.5.2. Technique Spectroscopie UV-Vis	46
V.5.3. Technique Microscopie électronique à balayage (MEB)	46
V.5.4. Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FT-IR).....	47
V.6. Activités biologiques in vitro.....	47
V.6.1. Activités antioxydants	47
V.6.2. Activités anti hémolytique	50
V.6.3. Activités photo catalytique	52
V.6.4. Teste Anticoagulant	53

V.6.5. Activités anti- inflammatoire	54
V.6.5.1. Principe	54
V.6.6. Activités Antibactériennes.....	55
V.6.6.1. Principe	55
V.7. Analyse Statistique	56
 PARTIE RESULTAS ET DISCUTIONS 	
VI.1. Rendement de préparation et caractérisation.....	58
VI.2. Caractéristique des nanoparticules	58
VI.2.1 Diffraction des rayons X (XRD)	58
VI.2.2 Spectroscopie UV-Vis.....	62
VI.2.3 Microscopie électronique à balayage (MEB).....	63
VI.2.4 Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR).....	69
VI.3. Activités Biologique.....	73
VI.3.1. Activités Antioxydants	73
VI.3.1.2. Test de réduction du fer FRAP	75
VI.3.2. Activités anti-hémolytiques.....	77
VI.3.3. Activité photocatalytique	79
VI.3.4. Activité Anticoagulante.....	80
VI.3.5 Activité anti-inflammatoire	81
VI.3.6. Activity antibactérienne	82
 CONCLUSION GENERALE.....	 86
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	89
Annexe	106

Introduction générale

Les palmiers dattier, scientifiquement connus sous le nom de *Phoenix dactylifera*, sont des arbres emblématiques des régions arides et semi-arides du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord. Leur importance culturelle, économique et nutritionnelle remonte à des millénaires, où ils étaient non seulement une source essentielle de nourriture mais aussi un symbole de prospérité et de fertilité.

Les produits dérivés des palmiers dattier sont nombreux et variés. La datté, le fruit principal, est particulièrement prisée pour sa richesse en nutriments, notamment les glucides, les fibres, les vitamines et les minéraux. Elle est consommée fraîche, séchée ou transformée en divers produits alimentaires tels que les confitures, les sirops et les barres énergétiques. En plus des fruits, les palmiers dattier fournissent également des sous-produits précieux comme les feuilles, les graines et la sève. Les feuilles sont utilisées dans l'artisanat pour la fabrication de paniers, de tapis et d'autres objets utilitaires, tandis que les graines peuvent être moulues pour produire une farine nutritive ou utilisées comme combustible.

Parallèlement aux utilisations traditionnelles des produits des palmiers dattier, les avancées technologiques récentes ont ouvert de nouvelles perspectives passionnantes, notamment dans le domaine des nanotechnologies. Les nanoparticules, définies comme des particules ayant une taille inférieure à 100 nanomètres, offrent des propriétés uniques en raison de leur petite taille et de leur grande surface spécifique. Elles sont utilisées dans divers secteurs tels que la médecine, l'électronique, les matériaux de construction et les industries alimentaires.

L'intégration des nanoparticules avec les produits des palmiers dattier représente une convergence innovante entre tradition et modernité. Par exemple, les extraits de dattes peuvent être utilisés pour la synthèse écologique de nanoparticules de métaux comme l'or, l'argent et le cuivre, qui possèdent des propriétés antimicrobiennes, anticancéreuses et antioxydantes. Ces nanoparticules peuvent ensuite être utilisées dans des applications médicales, comme les systèmes de délivrance de médicaments, ou dans des emballages alimentaires intelligents pour prolonger la durée de conservation des produits.

De plus, les sous-produits des palmiers dattier, tels que les noyaux et les fibres, peuvent être exploités pour produire des nanocomposites, des matériaux renforcés par des nanoparticules, offrant des améliorations significatives en termes de résistance mécanique et de durabilité. Cette approche non seulement valorise les déchets agricoles mais contribue également au développement de matériaux plus durables et respectueux de l'environnement.

En somme, la combinaison des produits traditionnels des palmiers dattier avec les technologies de pointe des nanoparticules ouvre de nouvelles opportunités pour l'innovation et

le développement durable. Cette synergie promet de renforcer les économies locales, d'améliorer la santé publique et de promouvoir des pratiques industrielles plus écologiques.

La sève des palmiers dattier-lagmi-, quant à elle, est fermentée pour produire une boisson traditionnelle ou transformée en sucre de palmier, très apprécié pour ses propriétés naturelles et son goût distinctif.

Dans notre mémoire, nous avons essayé de produire des nouvelles nanoparticules à base des polysaccharides de lagmi ;

Dans le premier chapitre, une bibliographie de palmier dattier et les nanoparticules.

Dans le deuxième chapitre, la synthèse et les méthodes des activités biologiques des nanoparticules nouvelles synthétise.

Dans le troisième chapitre, présenter les résultats de synthèse de le caractérisation des nouvelles molécules synthétise et l'évaluation des activités biologiques.

Partie bibliographique



I. Les polysaccharides

I.1. Définition des polysaccharides

Les polysaccharides sont des glucides qui se composent de répétitions d'unités monosaccharidiques appelées "oses", dont le nombre dépasse généralement quelques dizaines. On peut les diviser en deux catégories principales : les polysaccharides homogènes, contenant un seul type d'unité d'ose, et les polysaccharides hétérogènes, contenant deux ou plusieurs types d'unités d'ose. Il est important de distinguer ces catégories des termes "holosides" et "hétérosides". L'usage moderne tend à remplacer le terme "polysaccharides" par celui de "glycanes", largement utilisé en anglais mais moins répandu en français (**WIDMER F. et al. 2000**).

Les polysaccharides sont des chaînes polymères longues d'unités de monosaccharides. La nature de ces chaînes peut varier, certaines étant linéaires tandis que d'autres sont ramifiées. Chez les animaux, l'excès de glucose est stocké sous forme d'un polysaccharide ramifié appelé le glycogène, tandis que dans la plupart des plantes, la principale forme de stockage du glucose est l'amidon, comme chez le palmier, qui est un autre polysaccharide long. Les bactéries et les levures stockent le glucose polymérisé sous forme d'un autre type de polysaccharide : le dextrane. Ces polysaccharides constituent des réserves nutritionnelles qui peuvent être dégradées en cas de besoin, les monosaccharides résultants étant ensuite métabolisés pour fournir l'énergie nécessaire. En revanche, la cellulose est un polysaccharide présent dans les structures des parois cellulaires végétales (**HAMES B.D et al., 2006**).

I.2. Phoenix dactylifera

I.2.1. Généralité de Phoenix dactylifera

C'est une plante dattier ou palmier dattier qui est classée dans la famille des Arecaceae, qui comprend environ 200 genres et plus de 200 espèces (Alawi et al., 2017). C'est une plante monocotylédone (**Mohammed IA, 2019**). C'est diploïde ($2n = 36$), (**Solangi et al., 2023**). Les variétés de palmiers dattiers se distinguent par leur qualité élevée dans un large éventail de climats, en particulier dans les régions semi-tropicales et tropicales telles que la péninsule arabique, l'Afrique du Nord et le Moyen-Orient, où ils s'adaptent parfaitement conditions sèches (**Baliga et al., 2011**). La durée de vie économique moyenne d'un palmier dattier est de 40 à 50 ans, mais sa durée de vie productive peut atteindre 150 ans dans certains cas (**Chao ,Krueger, 2007**). Elle est l'une des plantes les plus anciennes au monde, ayant été cultivée depuis plus de 6000 ans (**Zango et al., 2017**). Les palmiers se caractérisent par leur capacité à s'adapter aux

conditions environnementales désertiques, évoluant pour résister à la sécheresse et utiliser efficacement les ressources en eau (**Haddou et al., 2016**).

I.2.2. Description générale du palmier dattier

Sa longueur est estimée entre 15 et 25 mètres, car elle est constituée d'un groupe d'un ou plusieurs troncs, Elle se distingue par ses feuilles pennées, mesurant de 3 à 5 mètres de long, avec des épines sur les pétioles portant environ 150 feuilles. Chaque feuille mesure environ 30 cm de long et 2 cm de large(**G.Neuhaus,2013**). On peut distinguer trois parties : les racines du système racinaire, un organe végétal composé de la tige (stipe) et des feuilles (palmes), et un organe reproducteur (spathe) composé d'inflorescences mâles ou femelles (**Munier, 1973**).

I.2.2.1. Les organes reproducteurs

Les fleurs se forment dans la partie supérieure du tronc du palmier, à partir des bourgeons qui poussent dans l'aisselle des feuilles. Elles sont entourées à leur base par une grande feuille appelée spathe, qui protège la fleur de la chaleur et du soleil. En raison de sa nature dioïque, les fleurs mâles et femelles sont portées par des plantes différentes et diffèrent donc dans leur apparence. Les fleurs femelles contiennent 3 carpelles, dont un (généralement) se transforme en fruit (**Gros-Balthazard, 2013**).

Le palmier est caractérisé par la présence de fleurs unisexuées, où les fleurs femelles se distinguent par leur base circulaire et sont composées de trois pétales ovales et de six répartitions de pétales, tandis que les fleurs mâles sont composées de trois pétales et de six répartitions. Les fleurs femelles sont de taille plus petite et apparaissent en grappes denses, tandis que les fleurs mâles sont relativement longues et apparaissent en grappes moins denses.

Pendant la pollinisation, seulement un ovule est fécondé dans chaque fleur femelle, ce qui conduit à la formation d'un seul fruit appelé "datte" lors de sa maturation, tandis que les autres ovules régressent et tombent (**IPGRI, FEM, 2005**).

I.2.2.2. Les organes végétaux

La tige est un monopode couverte de bases de feuilles mortes, appelée stipe, qui peut atteindre plus de 30 mètres de hauteur, avec une couronne de feuilles à son sommet. Le diamètre moyen du stipe adulte est d'environ 60 cm, mais il peut présenter des zones de rétrécissement dues à des perturbations de croissance résultant de périodes de sécheresse ou de froid (**Munier, 1973**).

I.2.2.3. Le système racinaire

Le système racinaire du palmier est dense et fasciculé, composé de plusieurs types de racines dont le diamètre ne dépasse pas 1,5 cm. Ce système racinaire comprend des racines de

premier ordre, également appelées "auxirhyzes", qui donnent naissance à des racines de deuxième ordre appelées "mésorhyses", lesquelles produisent à leur tour des racines de troisième ordre appelées "brachyrhyses", et ainsi de suite. Ces racines suivent une séquence de croissance pyramidale, chaque type de racine se ramifiant pour produire de nouveaux types de racines en fonction de l'ordre (Sedra, 2003).

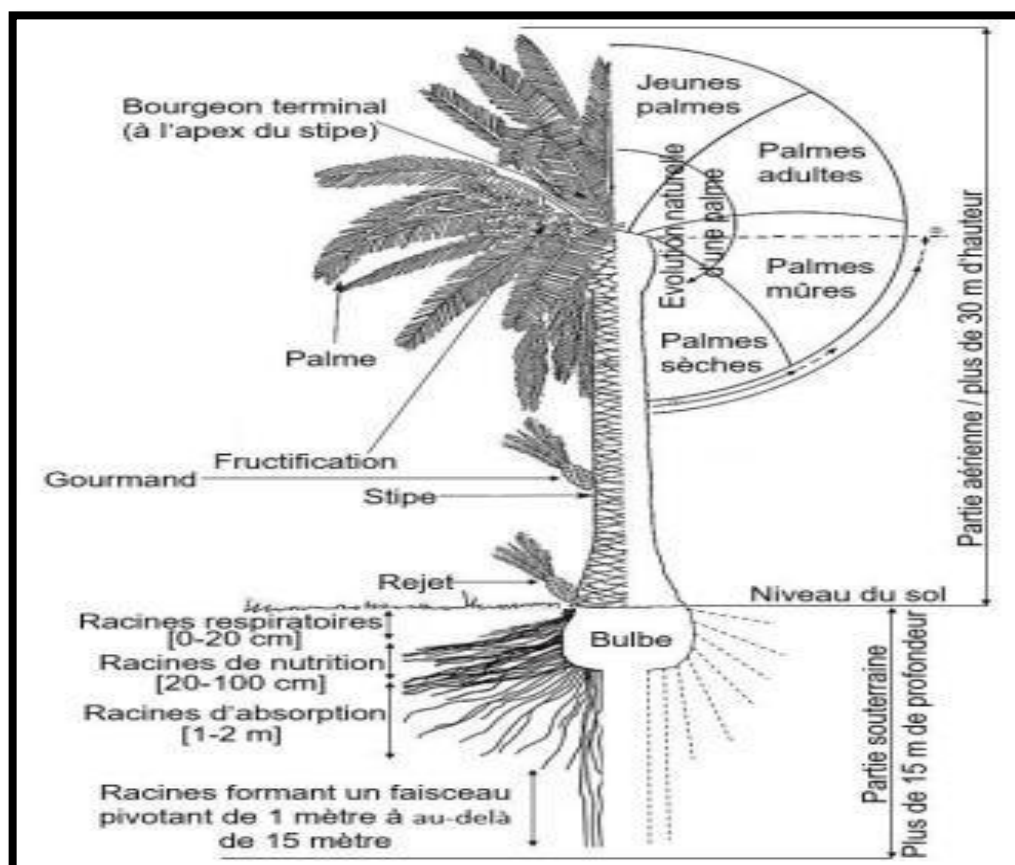


Figure n° 1: Présentation schématique des différentes parties d'un palmier dattier adulte (Munier, 1973).

I.2.3. Systématique de *Phoenix dactylifera*

La classification botanique du palmier dattier est la suivante : (DJERBI ,1994).

Tableau n° 1: Clacification du palmier.

Groupe	Spadiciflores
Ordre	Palmales
Famille	Palmacées
Sous famille	Coryphoidées
Tribu	Phoenicées
Genre	Phoenix
Espèce	Phoenix dactylifera L.

I.3. Répartition géographique

I.3.1. Répartition géographique dans le monde

Au niveau mondial, les oasis plantées de palmiers-dattiers (*Phoenix dactylifera* L.) couvrent une superficie d'environ 1,11 million d'hectares, avec un nombre total estimé à environ 120 millions de palmiers-dattiers (**Rao et al.,2009**). L'aire de culture des palmiers dattiers s'étend dans l'hémisphère Nord, entre les parallèles 9° (Cameroun) et 39° (Elche en Espagne), où les conditions sont particulièrement propices à la maturation des fruits. Les zones les plus favorables se situent entre les latitudes 24° et 34° Nord, englobant des pays comme le Maroc, l'Algérie, la Tunisie, l'Égypte et l'Irak. Aux États-Unis, cette culture se développe principalement entre les parallèles 33° et 35° (**Chaouch, 2012**).

Les régions les plus adaptées se situent entre les latitudes 24° et 34° nord, comprenant des pays tels que le Maroc, l'Algérie, la Tunisie, l'Égypte, l'Irak, et d'autres. Aux États-Unis, l'agriculture s'étend de la latitude 33° à la latitude 35° selon (**Munier ,1973**). *Phoenix dactylifera*.

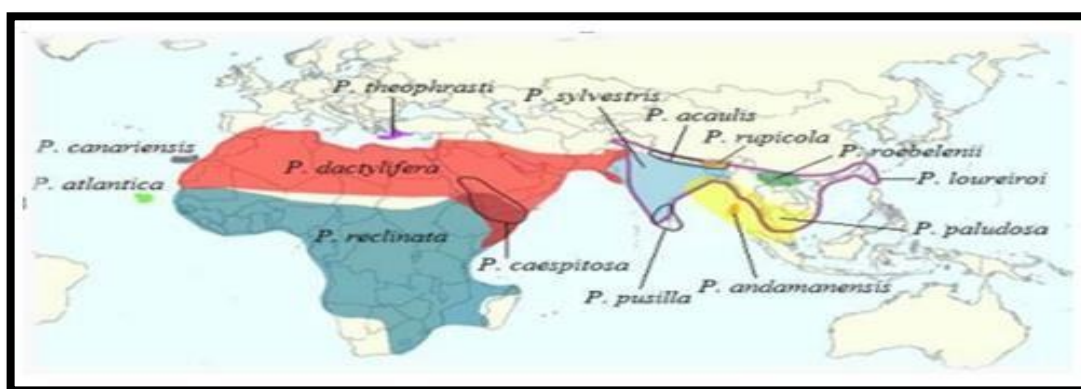


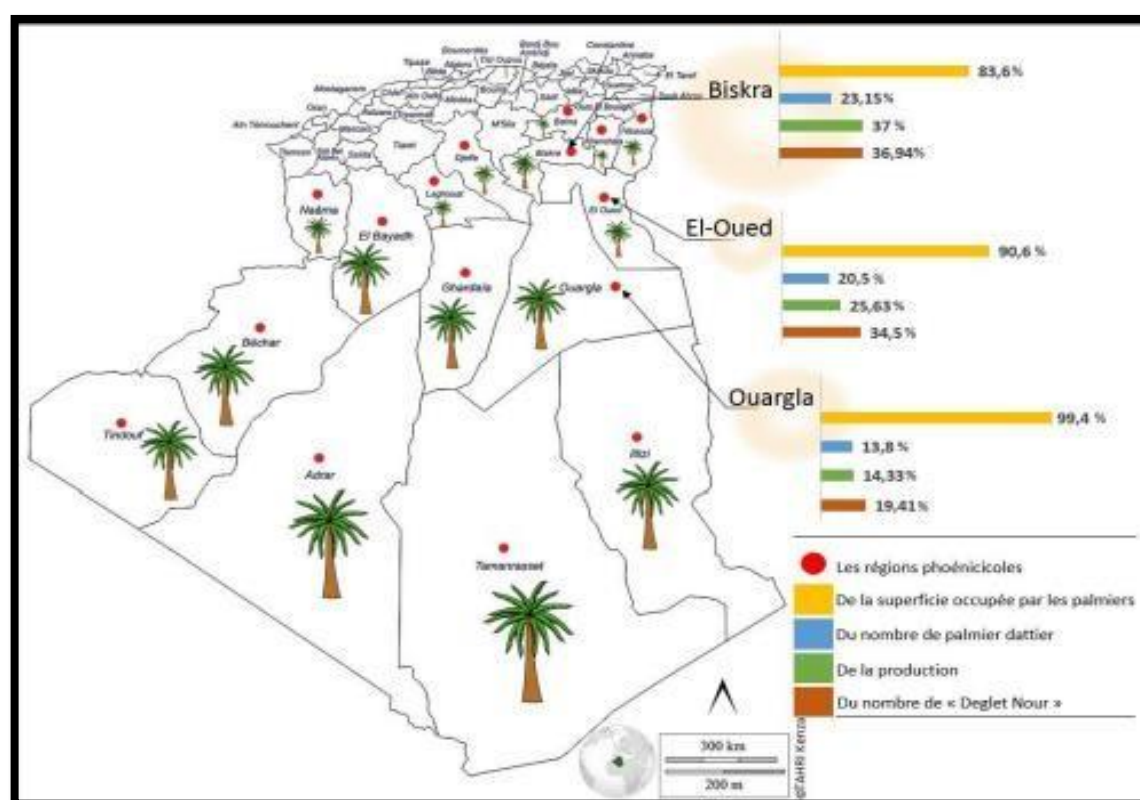
Figure n° 2: Répartition de l'espèce *Phoenix*
(Henderson ,2009).

I.3.2. La diversité variétale dans l'Algérie

L'inventaire variétal, réalisé dans une quinzaine de régions algériennes, a montré que les palmeraies conservent encore une importante diversité. En effet, 940 cultivars ont été recensés (Hannachi et al., 1998). En général, les plantations de palmiers en Algérie se trouvent dans le nord-est du Sahara, au niveau des oasis. Seulement 17 wilayas pratiquent la culture des palmiers dattiers, sur une superficie d'environ 120 830 hectares. Cependant, quatre wilayas représentent 83,6% du patrimoine national en termes de cultures phoénicoles : Biskra avec 23%, Adrar avec 22%, El-Oued avec 21% et Ouargla avec 15% (**Anonyme, 2002**).

Tableau n° 2: Nombre de palmiers dattiers en Algérie d'après (Anonyme ,2002) .

wilaya	Deglet-Nour (datte fine)	Ghars (datte molle)	Degla Beida (datte sèche)	Total palmier dattier
Adrar	0	0	2150904	2904150
Laghouat	8470	7650	11580	27 700
Batna	700	3900	21270	25870
Biskra	1 964 460	436 530	748 200	3 149 190
Bechar	5650	0	0	770 030
Tamanrasset	2970	0	0	167 760
Tébessa	49 550	49 550	10 650	68 970
Djelfa	2610	860	210	3 680
M'sila	18 000	0	0	18 000
Ouargla	1092330	783850	193130	2310069
El-Bayedh	0	45 900	0	193130
Illizi	2250	16340	73030	91620
Tindouf	350	24250	0	24600
El-Oued	1 884030	703330	296300	2660883
Khenchla	21 290	44 800	73 70	73460
Naama	0	19600	2600	22 200
Ghardaïa	377 100	154 400	378 900	910 400
total	3559930	1660761	4048710	13 505880

**Figure n° 3:** Répartition géographique du patrimoine phoénicole avec les principales régions phoénicoles (Biskra, Ouargla, El-Oued) (Blama, 2014).

I.4. Différents produits de phoenix dactylifera L

- Les palmiers dattiers femelles produisent des fruits riches en sucre :
- Datte minéraux, vitamines et en divers composés pharmaceutiques utilisés en médecine traditionnelle **(Omran et al.,2017)**. Lorsque les dattes arrivent à maturité, elles passent par plusieurs étapes, notamment le stade Hababouk (immature et non comestible), le stade Kimri (immature, de couleur verte et non comestible), le stade Khalal (taille complète et comestible), le stade Rutab (moelleux, de couleur brun à noir et comestible) et enfin le stade Tamer (complètement mûr, avec une teneur en humidité réduite et comestible) **(Hussain et al., 2020)**.
- Le jus de palmier dattier, également connu sous le nom de "lagmi", est un liquide cireux blanc, ayant une composition nutritionnelle riche en sucres, en minéraux et en composés phytochimiques **(Thabet et al.,2009)**.

I.5. Lagmi

I.5.1 Définition de lagmi

Le jus de palmier-dattier « Lagmi » est célèbre, obtenu en extrayant la sève des palmiers selon une méthode locale, La récolte du jus se déroule pendant le printemps, s'étalant sur environ quatre mois (mars-juin), avec un rendement moyen de 8 à 10 litres par jour et par palmier **(Barreveld,1993)**. Lagmi se distingue par son goût sucré et sa saveur distinctive. Bien que la sève fraîche ait un pH presque neutre, elle peut rapidement chuter lorsqu'elle est soumise à une fermentation spontanée pendant la période de collecte **(Al- Farsi ,2003)**. Le seuil minimum de production annuelle de jus de palmier-dattier est d'environ 960 litres par arbre. Le jus de palmier-dattier se distingue par un taux de sucre compris entre 92 et 95 % sur une base de matière sèche, principalement constitué de saccharose, qui représente plus de 90 % du total des sucres, en plus de la présence d'une variété de minéraux **(Appiah-Nkansah et al.,2018)**. Plus le Lagmi est sucré, meilleure est sa qualité, et sa qualité est identifiable par sa couleur. En cas de fermentation, sa couleur devient gris-blanc **(Thabet et al., 2009)**, il est un liquide qui transporte les produits végétaux de la photosynthèse vers différents tissus pour soutenir la croissance. Il est extrait des palmiers et est également connu sous le nom de "vin de palme" **(Harifara et al., 2016)**.

I.5.2. Origine de « Lagmi » sucrée du palmier

De nombreuses espèces de palmiers conservent leurs produits végétaux, issus de la photosynthèse des feuilles sous forme d'amidon dans leurs tissus. Pendant la période de floraison et de fructification, l'amidon se transforme en sucres et est transporté dans le flux de sève vers les parties en croissance des plantes. Le liquide contenant les nutriments et les sucres

forme ce qu'on appelle la sève. Le processus de photosynthèse, la décomposition de l'amidon et le flux de sève "Lagmi" nécessitent de l'eau, qui peut être absorbée de l'environnement par les racines des palmiers en croissance ou provenir de l'environnement en général (Tamunaïdu, Saka, 2011).

I.5.3. Composition chimique de « Lagmi »

I.5.3.1. Composés organiques mineurs

Le jus de palmier dattier "lagmi" se compose principalement d'un mélange de sucres et d'autres composés secondaires. Il contient une quantité élevée de glucides totaux, avec une moyenne de 94,98 grammes pour 100 grammes de matière sèche, ainsi que des quantités modérées de protéines (2,72 grammes) et de minéraux (2,29 grammes). Les résultats indiquent que la composition en sucre est principalement constituée de saccharose à hauteur d'environ 95,27 %, de glucose à hauteur de 2,51 % et de fructose à hauteur de 1,61 %. Une petite quantité de myo-inositol (0,36 %) a également été identifiée (Ben Thabet et al., 2009).

I.5.3.2. Composés inorganiques mineurs

Le Lagmi est riche en minéraux tels que : Ca, Mg, Fe, Na, K, Zn, Cu et P, etc (Barh et al., 2008).

I.5.4. Caractéristiques de distribution et d'extraction de *P. dactylifera*

Tableau n° 3: Caractéristiques de distribution et d'extraction de *P. dactylifera*
(Harifara et al., 2016).

Nom scientifique	<i>Phoenix dactylifera</i> L.
Nom commun	Palmier dattier
Distribution	Palmier dattier Régions arides et semi-arides d'Asie occidentale et du Nord Afrique (Arabie saoudite, Égypte, Iran, Émirats arabes unis, Pakistan, Algérie, Irak, Soudan, Oman, Libye ,etc.)
Zone d'extraction	Point de croissance de palmier (terminal bourgeon)
Méthode d'extraction	Non destructif
Durée d'extraction (jour)	90-120
Âge de la première extraction (an)	-
Années d'extraction (an)	25
Rendement de la sève (L/palme/jour)	5-15

I.5.5. Transport de la sève « Lagmi » dans le palmier

Le palmier se distingue de l'arbre modèle par la formation des tissus vasculaires, qui ne sont pas centralisés mais plutôt dispersés en faisceaux vasculaires dans le parenchyme cortical. En ce qui concerne la circulation de la sève et son transport, la sève est transportée dans le palmier à travers le liber, tandis que dans l'arbre modèle, elle circule à travers les tissus vasculaires. En ce qui concerne les fonctions de la sève, le liber dans le palmier est utilisé pour transporter les solutions aqueuses et nutritives, tandis que le bois est utilisé pour transporter l'eau et les minéraux. Ces différences dans les structures et les fonctions de la sève entre les deux types d'arbres soulignent les variations dans la circulation de la sève et son impact sur leur croissance (Harifara et al., 2016).

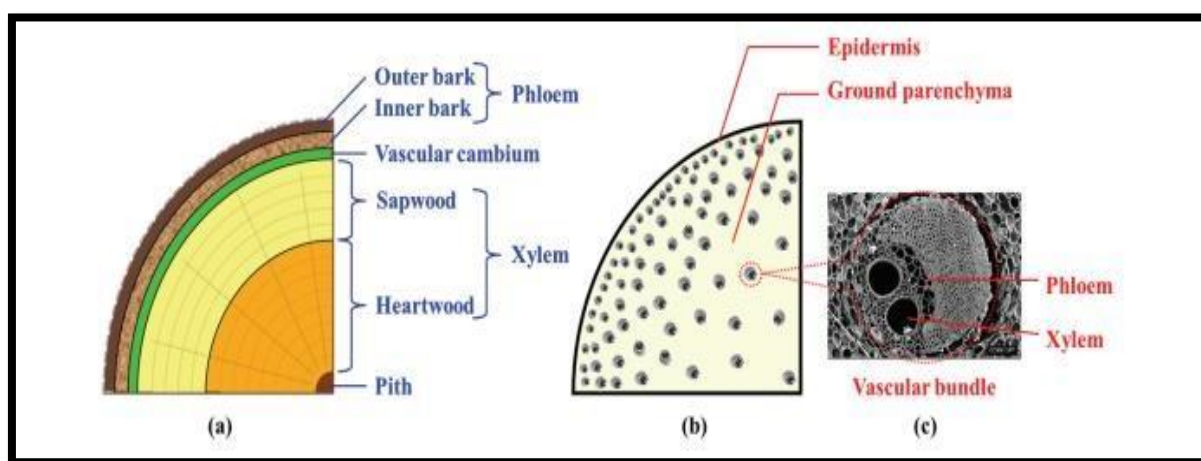


Figure n° 4: Structure de. a) la section transversale d'un tronc d'arbre typique comparée à. b) la transversale d'un tronc de palmier à huile et. c) son faisceau vasculaire (Harifara et al., 2016).

I.5.6. Récolte du « Lagmi »

Dans le processus d'extraction de la sève de palmier, les cueilleurs de dattes escaladent les palmiers en utilisant des cordes autour du tronc pour atteindre la couronne, où ils font des incisions profondes dans la couche externe à l'aide d'outils tranchants tels que des machettes ou des couteaux bien aiguisés. Un entonnoir est placé dans ces incisions profondes afin de recueillir et de diriger le flux de sève vers de petits récipients suspendus soigneusement aux feuilles. Une fois les récipients remplis, ils sont remplacés avant que la sève ne mûrisse et ne s'évapore. Les agriculteurs de palmiers indiquent que l'extraction de la sève de palmier était généralement pratiquée sur les palmiers non productifs atteignant un certain âge, qui étaient régénérés en plantant de nouveaux plants (Mjaied, 2019). Le couteau à sève, appelé "Hajamya", est utilisé pour la coupe et le pelage afin d'assurer un flux continu de sève. La sève est consommée naturellement ou fermentée pour produire une boisson alcoolisée connue sous le

nom de "Qeshem". De nombreux jardins réservent chaque année un palmier pour la production de sève de palmier (**Battesti, 1997**).



Figure n° 5: Méthode d'extraction de la sève du palmier (Lagmi)
(Harifara et al., 2016).

I.5.7. Conservation de « Lagmi »

Pour préserver la composition chimique et les propriétés du Lagmi frais, nous pouvons :

- On peut placer une couche de chaux à l'intérieur du récipient (**Hussain, 2001**).
- La zone d'extraction a été couverte pour réduire la pollution de l'environnement et éviter l'accélération de la fermentation due à l'exposition au soleil et à la chaleur (**Thabet et al., 2007**).
- La conservation du Lagmi dans une boîte plus froide avec de la glace congelée (**NurAimi et al., 2013**).

Une autre méthode utilisée par les habitants locaux consiste à faire bouillir le Lagmi de palmier pour obtenir un produit de qualité sous forme visqueuse ou de sucre solide. Pendant ce processus, les microorganismes peuvent être détruits par la chaleur, et la forte concentration en sucre dans le produit obtenu peut entraver leur croissance (**Naknean et al., 2013**).

I.5.8. Utilisation thérapeutique de « Lagmi » de palmier

Des composés phénoliques ont été découverts dans des produits du palmier dattier comme le Lagmi ces dernières années. L'intérêt pour ces composés a considérablement augmenté en raison de leurs bienfaits potentiels pour la santé et de leur capacité à prévenir de nombreuses maladies chroniques telles que le cancer, les maladies cardiaques, l'hypertension artérielle, le diabète, la sclérose en plaques, la maladie de Parkinson, et d'autres encore (**Ben Thabet et al., 2009**).

Le jus de palmier-dattier contribue au traitement de l'anémie et de la déshydratation, favorise la production de lait chez les femmes, améliore la vision et régule la pression artérielle. Mélangé à divers ingrédients, le jus peut être utilisé dans le traitement des maladies infectieuses,

de la fièvre et des affections respiratoires, et il est également utilisé à des fins esthétiques. De plus, les autres propriétés médicinales du palmier-dattier incluent une activité antioxydante, la stimulation de la mémoire et de l'apprentissage, ainsi qu'un rôle dans la stimulation de la digestion (Abdennabi et al.,2016).

II. Généralités sur Nanoparticule

II.1. Définition de la nanotechnologie

La nanoscience et la nanotechnologie sont deux domaines importants dans les sciences modernes. La nanoscience se concentre sur l'étude des propriétés et des phénomènes qui se produisent à l'échelle nanométrique, où elle traite des particules très petites dont la taille varie entre 1 et 100 nanomètres, appelées nanoparticules. Les matériaux à cette échelle se distinguent par des propriétés uniques différentes de celles qui apparaissent à une échelle plus grande. La nanotechnologie se concentre sur les applications de ces concepts dans la fabrication et le développement de matériaux d'appareils et de technologies qui dépendent des propriétés uniques des matériaux nanométriques. Ces applications incluent un large éventail de domaines tels que les nanotechnologies électroniques la médecine, l'énergie, l'environnement et l'industrie (Nayak et al.,2021 ; Joudeh, Linke,2022).

II.2. Origine du nom nano

Le terme "nano" désigne quelque chose de très petit et précis en taille. Il est dérivé du mot grec "Nanos", qui signifie nain. En langage scientifique, "nano" représente un milliardième de mètre. Des termes tels que nanoscience, nanotechnologie, nanorobotique et nanoaimants font partie de ce domaine (Joudeh, Linke,2022).

II.2.1. Définition de nanoparticule

Les nanoparticules sont également désignées par le terme "particules ultrafines et précises (Sircar et al.,2022).

Elles se présentent sous forme d'agrégats de petites particules, dont les dimensions varient entre 1 et 100 nanomètres. Ces matériaux peuvent être de différentes dimensions 0D, 1D, 2D ou 3D (Khan,2019).

Les particules nanométriques se caractérisent par des propriétés physiques et chimiques qui les distinguent totalement des matériaux de plus grande taille, ce qui les rend idéales pour de nombreuses applications (Khan et al.,2022).

A titre de comparaison avec les structures organiques naturelles, les NPs se situent principalement dans la gamme de taille correspondant aux protéines, et Elles sont plus grandes que les atomes et plus petites que les cellules (Figure 1).

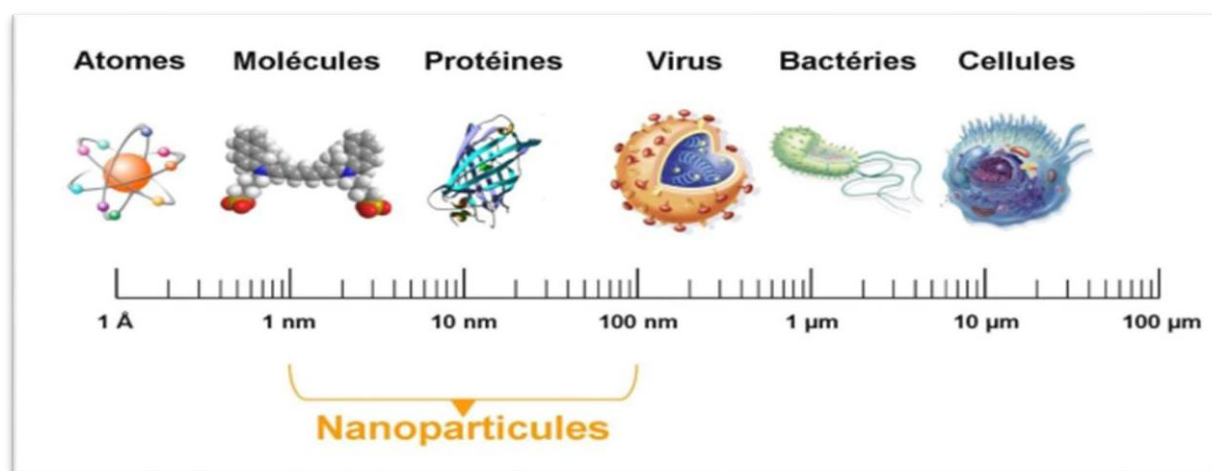


Figure n° 6: Gamme de tailles des nanoparticules comparée à celles des principales structures chimiques et biologiques (Belfennache, 2010).

II.3. Classification des nanomatériaux

II.3.1. Classement selon les dimensions

❖ Nanomatériaux de dimension 0 :

Une dimension zéro signifie que le matériau est nanométrique dans les trois directions de l'espace, et n'a en conséquence aucune dimension micro ou macrométrique. Les nanomatériaux peuvent se présenter sous forme dispersée, aléatoire ou organisée, comprenant les nanopoudres, les fullerènes et les nanocapsules (Ostiguy et al., 2010 ; Nanomateriaux, 2006).

❖ Nanomatériaux de dimension 1 :

Les matériaux nanométriques à une dimension incluent des exemples tels que les nanofils et les nanotubes (Al Shammari, 2022).

❖ Nanomatériaux de dimension 2 :

Cette catégorie comporte deux dimensions en dehors de l'échelle nanométrique, telles que les nanofeuilles et se présentent également sous forme de couches minces ou de revêtements de surface épais (Joudeh, Linke, 2022).

❖ Nanomatériaux de dimension 3 :

Le terme "trois dimensions" est utilisé car les dimensions sont mesurées sur les axes de la troisième dimension (Z, Y, X) (Al Shammari, 2022).

Ces nanomatériaux se présentent sous forme de nanocomposites compacts, tels que les céramiques et les métaux à structure nanométrique. Ils comprennent également des nanocristaux et des nanoparticules (Shuaibu et al., 2021).

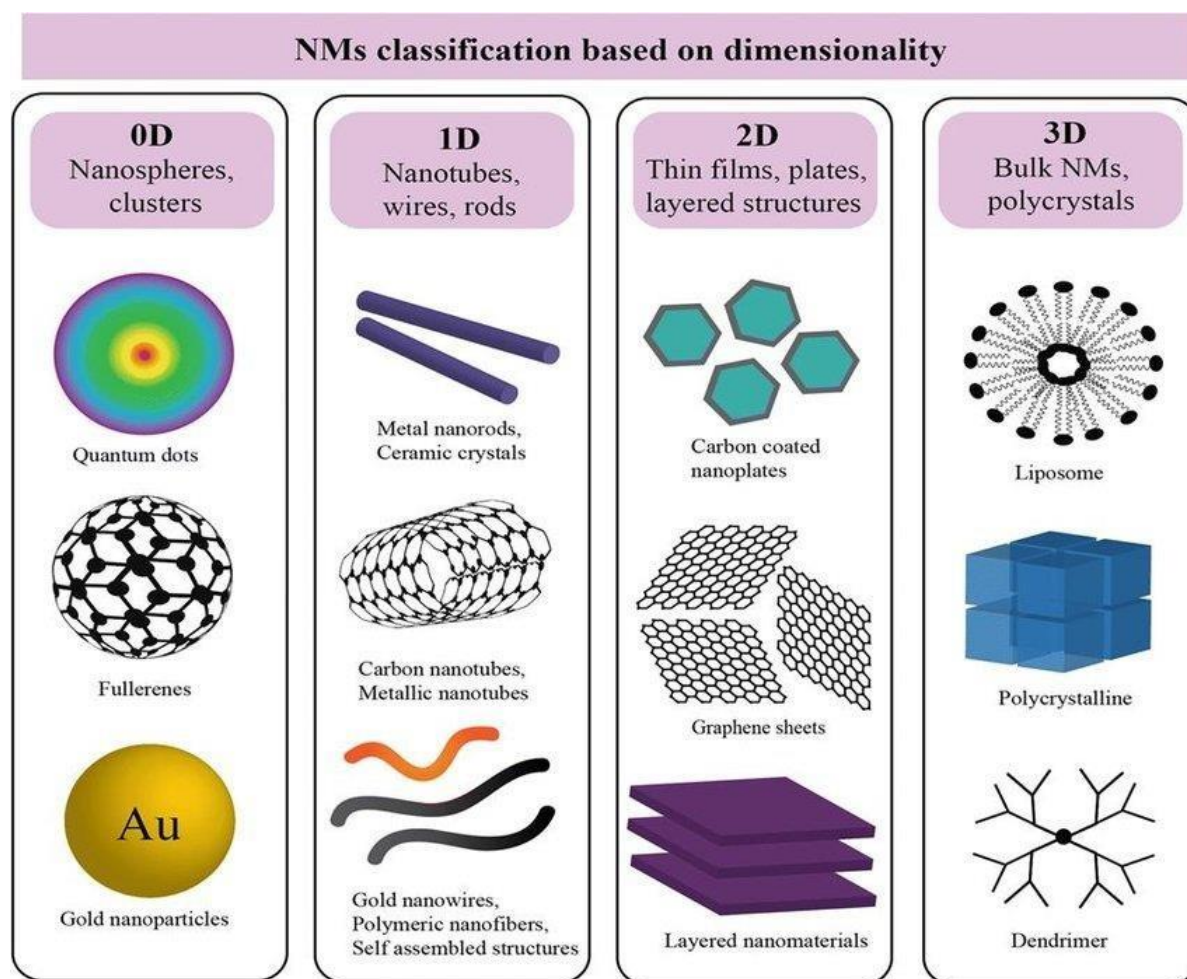


Figure n° 7: Diagramme illustrant différentes classes de NM basées sur la dimensionnalité (Poh et al.,2018).

II.3.2. Classification des nanoparticules

Les nanoparticules sont généralement classées en trois catégories différentes en fonction de leur composition chimique, de leur apparence, de leur taille et de leurs propriétés chimiques : organiques, carbonées et inorganiques) Joudeh, Linke,2022).

II.3.2.1 Les nanoparticules organiques

Les nanoparticules organiques (ONP) sont formées de protéines, de glucides, de lipides, de polymères ou de tout autre composé organique ayant une taille égale ou inférieure à 100 nm (Khan et al.,2022). Cette classe sont généralement non toxique et biodégradable, sensibles à la chaleur et aux rayonnements électromagnétiques chaleur et lumière. Des exemples de cette classe sont les nanoparticules ou polymères organiques bien connus, y compris la ferritine, les micelles, les dendrimères et les liposomes (Comme le montre la figure 2). Les NP organiques sont majoritairement utilisées dans le domaine biomédical administration ciblée de médicaments et traitement du cancer (Joudeh, Linke ,2022).

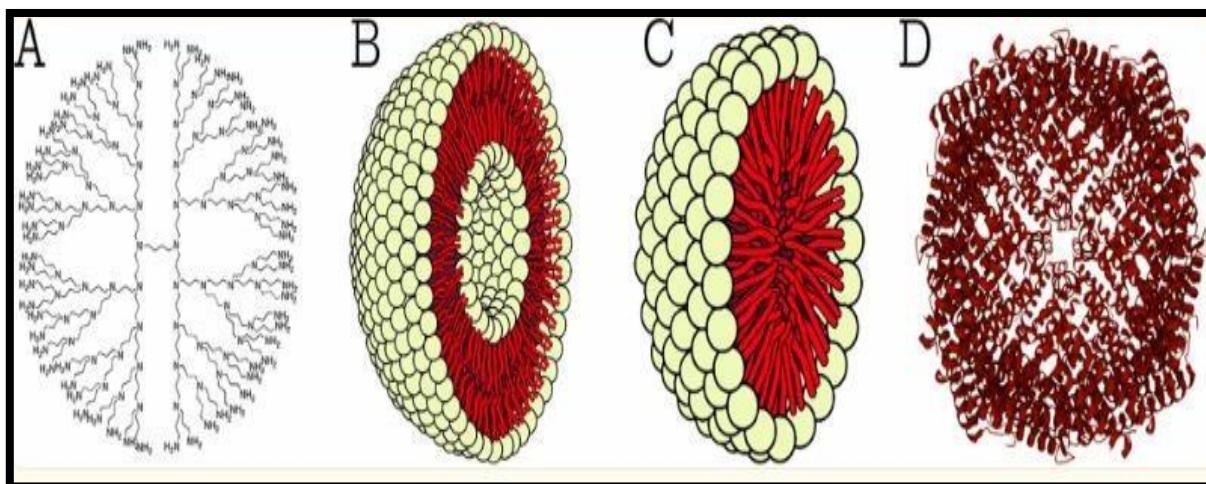


Figure n° 8: Types of organic NPs. A Dendrimers; B liposomes; C micelles; and D ferritin (Joudeh, Linke ,2022).

II.3.2.1.1. Les nanoparticules polymères (NP)

On définit les nanoparticules polymères comme étant des objets colloïdaux préparées à partir de polymères, sont globalement sphériques et de taille submicronique, c'est-à-dire de dimension inférieure à 1 μm et peuvent être chargées de composés actifs piégés à l'intérieur ou adsorbés en surface sur le noyau polymère. Les NP polymères ont montré un grand potentiel pour l'administration ciblée de médicaments pour le traitement de plusieurs maladies (**Zielinska et al.,2020 ; Yetisgin et al.,2020**). Il existe deux types de nanoparticules polymères qui se distinguent essentiellement par leur morphologie : les nanosphères (NSs) et les nanocapsules (NCs) Ces particules sont constituées d'un noyau interne contenant le médicament ou le composé actif, et ce noyau est entouré d'une enveloppe polymère. Le revêtement polymère libère le médicament du noyau et agit également pour protéger le noyau et le diriger vers la cible spécifique dans le corps, Quant aux nanosphères polymères, ce sont de petites particules constituées d'un réseau polymère cohérent. Ce réseau est formé à partir de certains matériaux polymères de sorte qu'il est continu. Le médicament peut être retenu dans ce réseau ou absorbé à sa surface. Ils sont généralement utilisés pour délivrer le médicament vers une zone spécifique du corps ou pour le libérer de manière étanche (**Zielinska et al.,2020**).

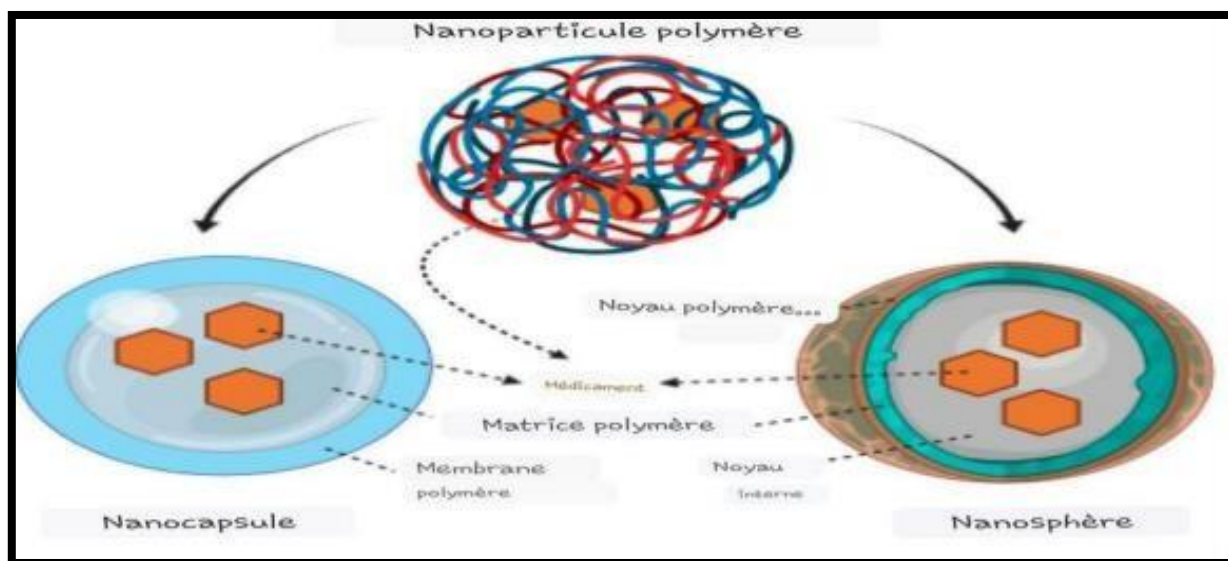


Figure n° 9: Représentation schématique de la structure des nanocapsules et des nanosphères (la flèche signifie la présence de médicament/bioactif dans les nanoparticules) (Zielinska et al.,2020).

II.3.2. Nanoparticules inorganiques

Les nanoparticules inorganiques ne sont pas toxiques. Cette classe comprend les nanoparticules non constituées de carbone ou de matières organiques. Elles peuvent être classées en métaux, oxydes métalliques, céramiques et semi-conducteurs. Elles sont principalement utilisées dans des applications biomédicales en raison de leur grande stabilité et de leur capacité de charge élevée. Elles sont biocompatibles, hydrophiles et très stables par rapport aux nanoparticules organiques (Ijaz et al.,2020 ; Joudeh, Linke,2022).

II.3.3. Les nanoparticules à base de carbone

Cette classe constituée uniquement d'atomes de carbone. Des exemples célèbres de cette classe sont les fullerènes, graphène, nanotubes de carbone, nanofibres de carbone et noir de carbone (Joudeh, Linke ,2022).

La grande diversité de morphologie et de composition des nanoparticules à base de carbone leur confère de grandes propriétés pour les applications médicales (Liu et Liang,2012).

II.3.3.1. Fullerènes

Les fullerènes C60 sont constitués de 60 atomes de carbone disposés en forme de ballon de football et sont les plus courants (Joudeh, Linke ;2022). Il a été découvert en 1985, Environ 28 à 1500 atomes de carbone forment la structure sphérique avec des diamètres allant jusqu'à 8,2 nm pour une seule couche et 4 à 36 nm pour les fullerènes multicouches (Kumari, Sarkar,2021).

II.3.3.2. Les nanotubes de carbone (NTC)

Découvertes en 1950, sont des feuilles de graphène carboné. Les atomes de carbone sont disposés en nid d'abeilles dans des nanotubes de carbone et forment des cylindres creux de 0,7 nm de diamètre pour un NTC monocouche et d'environ 100 nm pour un NTC multicouche. Les nanotubes de carbone ont suscité un intérêt particulier dans la communauté scientifique de par leurs propriétés physiques mécaniques, électroniques et chimiques remarquables. Du fait de leur cavité interne et leur grande surface spécifique, les nanotubes de carbone semblent être le vecteur idéal pour la délivrance de médicaments. Les nanotubes peuvent être utilisés comme sonde pour l'imagerie médicale (Kotchey et al.,2013 ; Ealias, Saravanakumar, 2017).

II.3.3.3. Noir de carbone

Le noir de carbone est un matériau quasiment pur en carbone avec une teneur massique de plus de 97 %. Il se présente sous la forme de fines particules agrégées composant des structures plus ou moins complexes appelées agrégats ou agglomérats suivant la taille de ces structures.

Généralement de 20 à 70 nm. L'agrégat se différencie aussi de l'agglomérat par son indissociabilité sous contrainte mécanique. Les particules composant les agrégats sont appelées particules primaires. Le diamètre moyen des particules primaires varie en fonction du type de noir de carbone. Il est en général compris entre quelques dizaines et quelques centaines de nanomètres, Ou ils peuvent atteindre environ 500nm (Kumari, Sarkar,2021).

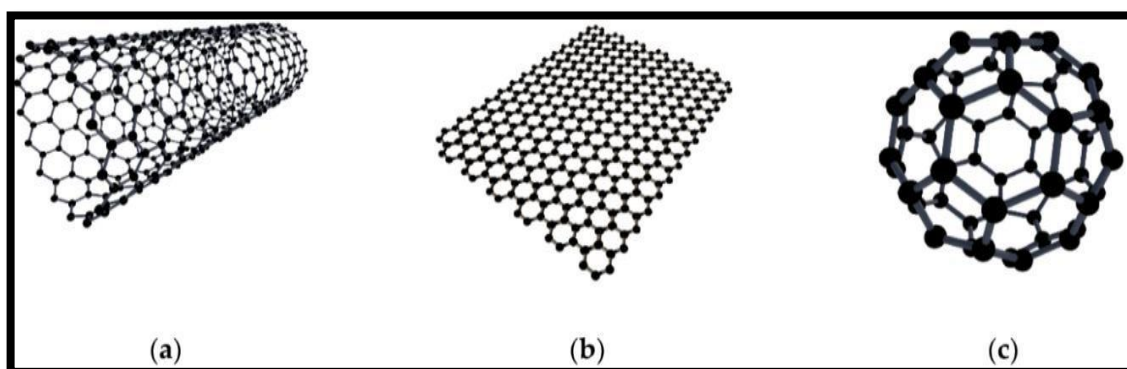
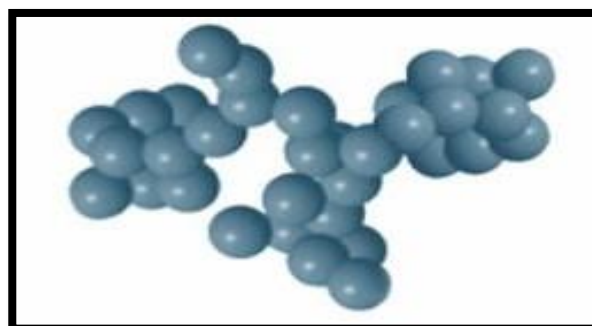


Figure n° 10: Représentation schématique des nanoparticules à base de carbone:(a) nanotubes de carbone (b) graphène (c) fullerène C60 (d) noir de carbone
(Joudeh, Linke,2022 ; Wang et al.,2020).



II.4. Synthèse de nanoparticules

II.4.1. Méthodes physiques

Plusieurs processus physiques à grande échelle sont généralement utilisés pour créer des nanoparticules, y compris le broyage à billes à haute énergie, l'électro-pulvérisation, Le dépôt physique en phase vapeur, le mélange en fusion, la condensation de gaz inerte, la pyrolyse laser et la pyrolyse par pulvérisation flash sont quelques exemples de procédés laser (**Ngoan et al.,2022**). Ces méthodes fonctionnent principalement selon une stratégie descendante (Top-Down), où un matériau plus grand est d'abord décomposé en unités plus petites, qui sont ensuite converties en nanoparticules appropriées (**Ijaz et al .,2020**). Ces nanoparticules peuvent avoir des tailles allant de plusieurs millimètres ou quelques centimètres jusqu'à quelques nanomètres, ne dépassant pas 100 nanomètres. C'est une méthode connue pour être économique et consommatrice d'énergie et à long terme (**Shuaibu et al., 2021**).

II.4.2. Méthodes chimiques

La synthèse chimique est une technique qui utilise des matières premières simples telles que des atomes ou de petites molécules, et qui permet souvent de produire des quantités importantes de particules nanométriques. Les matériaux nanométriques sont fabriqués en utilisant une approche ascendante, où l'on commence par la séparation des atomes ou des molécules, puis en les assemblant pour former des particules nanométriques plus grandes, afin d'atteindre l'échelle nanométrique. La méthode chimique prend également beaucoup de temps et nécessite des machines coûteuses telles qu'un four tubulaire, qui fonctionne à des températures très élevées et peut présenter un danger pour l'environnement et les personnes en raison de l'utilisation de solvants et de produits chimiques toxiques.

Parmi les méthodes les plus couramment utilisées pour la synthèse des nanoparticules, on trouve la méthode sol-gel) **Shuaibu et al.,2021 Maïssa,2020**).

II.4.2.1. Méthode sol-gel

Il s'agit d'un processus chimique humide Elle a une grande capacité d'adaptation et Ils sont utilisés dans la fabrication d'oxydes métalliques, de céramiques et de verre. Le procédé sol-gel contient des matières premières telles que des alcoxydes métalliques ou des sels organométalliques ou inorganiques. Dans ce processus, une réaction séquentielle d'hydrolyse et de condensation multiple se produit, aboutissant à une suspension colloïdale ou (gel) des molécules existantes. Liquide(sol) en gel. Ce processus se produit à température et pression ambiantes. Une fois le gel ou le gel formé, il est séché puis calciné à différentes températures pour obtenir une nanopoudre constituée d'oxyde métallique. Les propriétés structurales et

physiques des matériaux résultants peuvent être modifiées en modifiant les propriétés conditions de condensation et températures utilisées dans le processus de calcination (le processus sol gel) (Khan et al.,2022).

II.4.3. Méthodes biologiques

La synthèse biologique des nanoparticules implique l'utilisation d'organismes vivants tels que les bactéries, les champignons, les virus, les levures, les algues, les actinomycètes, ainsi que les extraits de plantes qui sont considérés comme la seule possibilité idéale pour les particules nanométriques métalliques et les oxydes métalliques. Les méthodes biologiques ou de biofabrication permettent de créer un environnement bénin en utilisant un protocole à faible toxicité et à faible coût pour la fabrication des NPS, ce qui les a fait surnommer "synthèse verte" (Dhand et al.,2015). Les extraits de plantes contiennent des composés biologiquement actifs tels que l'acide ascorbique, les flavonoïdes, les polyphénols et l'acide citrique. Ces composés jouent un rôle dans les fonctions de modulation immunitaire, l'hématopoïèse, les effets antioxydants et anti-inflammatoires et les activités anticancéreuses (Yahia et al.,2020).

II.4.3.1. Biosynthèse de nanoparticules à l'aide de micro-organismes

Dans cette méthode, les bactéries primitives, les actinomycètes, les champignons, les algues et les levures sont largement utilisées comme hôtes vivants pour la fabrication de nanoparticules (NPS) afin de produire une gamme variée d'éléments tels que l'argent (Ag), l'or (Au), le palladium (Pd), le dioxyde de titane (TiO₂) et le sulfure de cadmium (CDs). Les organismes microscopiques ciblent directement les ions métalliques de leur environnement, puis ces ions métalliques sont convertis en éléments métalliques par les enzymes sécrétées par les activités cellulaires.

Cette procédure est classée en deux types en fonction de l'endroit où la fabrication se déroule, à l'intérieur ou à l'extérieur des cellules. Le processus interne implique le transfert des ions métalliques dans une cellule micronique pour former les NPS en présence d'enzymes appropriées. Quant au processus externe, il implique la capture des ions métalliques à la surface de la cellule et leur conversion en particules nanométriques en présence d'enzymes appropriées, sans qu'ils pénètrent à l'intérieur de la cellule (Zhang et al.,2011 ; Dhand et al.,2015).

II.4.3.2 Synthèse biogénique à partir d'extraits de plantes :

L'utilisation d'extraits de plantes et de matériaux d'origine végétale est la méthode la plus étudiée pour la synthèse de nanoparticules et constitue l'une des méthodes efficaces, rapides, respectueuses de l'environnement et peu coûteuses. Il est utilisé comme alternative aux méthodes chimiques et physiques car il est non toxique. Les plantes peuvent contenir des

métabolites primaires tels que : des acides aminés, des enzymes , Vitamines, protéines, glucides et métabolites secondaires tels que : Alcaloïdes, terpénoïdes, phénoliques, flavonoïdes. Ces composés actifs agissent comme des agents de stabilisation et de réduction et contribuent à la fabrication de nanoparticules **(Kumar, Seth,2021)**. Les NP végétales sont plus stables et l'extrait végétal peut mettre moins de temps à réduire les ions métalliques par rapport aux NPS microbien **(Kumar et al.,2020)**.

II.5. Caractérisation des nanoparticules

Les possibilités et les utilisations des nanoparticules sont déterminées par leurs propriétés uniques Dans de nombreuses applications **(Joudeh, Linke, 2022)**. Il existe une large gamme d'appareils permettant de mesurer ces caractéristiques afin de déterminer Si nous pouvons utiliser une nanoparticule particulière dans une application spécifique ou améliorer sa structure chimique ou sa fonction, ces techniques peuvent manipuler la composition, la longueur et la conception des nanoparticules de manière La gamme nanométrique est ce qui lui permet de réaliser des progrès supérieurs dans de nombreux domaines tels que la science et la technologie. Les nanoparticules sont caractérisées pour déterminer leurs détails topographiques, structurels, physiques, chimiques et superficiels à l'aide de diverses techniques de mesure. Ces nanoparticules sont soumises à plusieurs procédures de caractérisation pour déterminer Leur taille, leur forme, leur répartition, leur morphologie et leur superficie de surface, ainsi que leur cristallisation **(DAS,2018)**. Le diagnostic des nanoparticules se divise en trois techniques, Ils sont résumés dans le tableau suivant :

- Caractérisation microscopique.
- Caractérisation de la dispersion.
- Caractérisation spectrale.

Tableau n° 4: Outils analytiques de base utilisés pour caractériser les nanoparticules
(DAS,2018).

Techniques de caractérisation	Appareille utilisant	Fonctionnalités définies par chaque appareil
Microscopique Caractérisation	La microscopie électronique à balaya (SEM)	SEM et TEM sont utilisés pour caractériser la forme, la Taille, morphologie et distribution des particules
	La microscopie électronique à transmission (TEM)	
	Microscopie à force atomique (AFM)	It is used to analyze the surface structure or determine the topographic structure
Diffusion Caractérisation	Diffraction des rayons X (DRX)	Il est utilisé pour étudier la structure cristalline et la taille moyenne des particules

	Diffusion dynamique de la lumière (DLS)	Il est utilisé pour déterminer la taille et la distribution des nanoparticules dans les liquides
Spectroscopie Caractérisation	Ultraviolet -spectroscopie d'absorption visible (UV-Vis)	La spectroscopie UV est utilisée pour mesurer l'absorption ou la réflectance d'un échantillon et pour déterminer le plasmon de surface.
	Spectroscopie infrarouge à Transmission de Fourier (FTIR)	FTIR est utilisé pour identifier les groupes fonctionnels potentiels présents à la surface des NP
	X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)	Utilisé pour analyser les atomes de surface d'un échantillon.

I.6. Applications des nanoparticules

Les NPs ont des applications larges champs indifférents comme le montre la figure

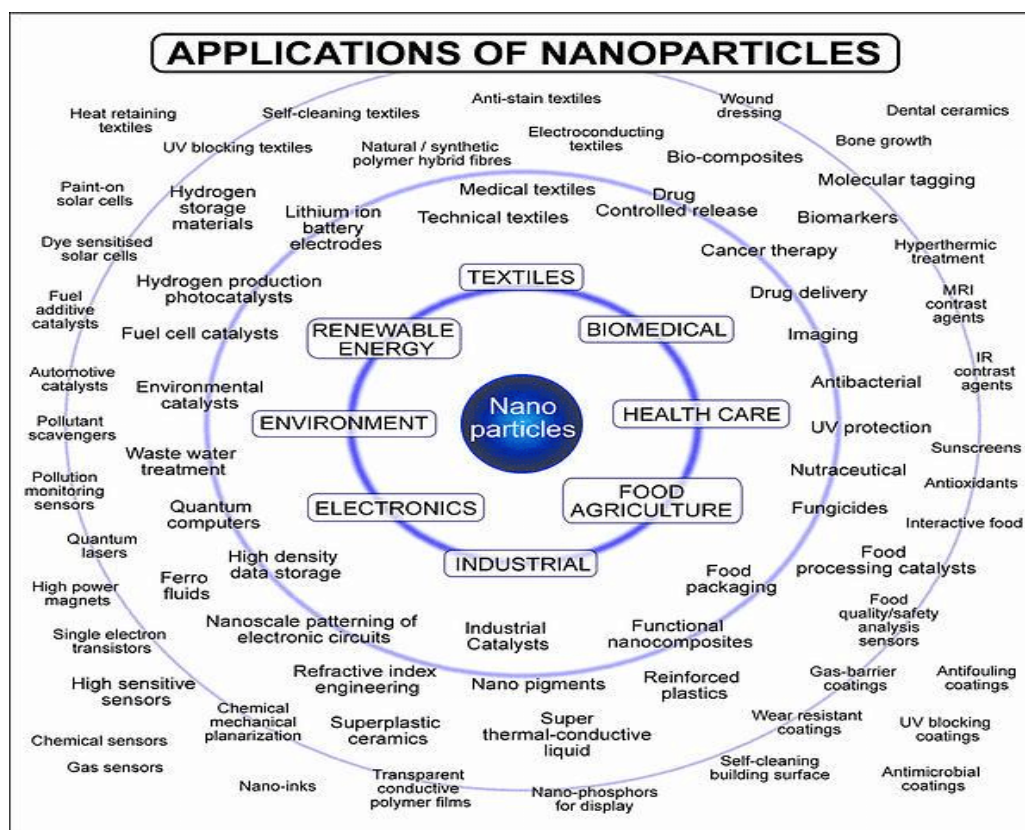


Figure n° 11: Application des nanoparticules par secteur d'activité (Tsuzuki,2009).

Les nanoparticules sont utilisées dans une large gamme d'applications en raison de leurs propriétés distinctives et uniques. Parmi ces applications :

II.6.1. Dans le domaine de médecine

Le changement de surface des nanoparticules remplies de protéines s'est révélé affecter la capacité de la nanoparticule à stimuler les réponses immunitaires (Marwat,2014). Les chercheurs pensent maintenant que ces nanoparticules peuvent être utilisées dans des vaccins inhalables. La nouvelle nanoparticule soutient l'adéquation de l'IRM (imagerie par résonance

magnétique en examinant particulièrement les récepteurs qui se trouvent dans les cellules malignes, de sorte qu'il est plus indubitable sur le balayage **(Swed,2014)**. Un autre type de nanoparticule a démontré un potentiel de transport plus efficace de la chimiothérapie pour traiter la croissance.

Dans les études de centre de recherche, les analystes ont créé et essayé une autre sorte de nanoparticule capable de transmettre de plus grandes mesures d'un médicament et de ne pas libérer le médicament pendant que la molécule se dirige vers l'objectif. Nanoparticule a le potentiel pour la livraison plus efficace de médicaments chimio-thérapeutiques pour traiter le cancer **(Ito,2014)**. Dans des études récentes, les chercheurs ont mis au point une nouvelle nanoparticule capable de délivrer d'énormes quantités d'un médicament et de ne pas laisser fuir le médicament lorsque la particule circule dans la circulation sanguine avant d'atteindre la cible. **(Morris,2014)**.

II.6.2. Dans le domaine d'électronique

Dans l'industrie de l'électronique et des communications, les nanomatériaux permettent des vitesses de traitement plus rapides et une plus grande capacité d'enregistrement telle que : des mémoires à haute densité et des processeurs miniaturisés, de nouvelles cellules solaires, batteries et cellules à combustion, des composantes digitales logiques, des écrans plats à éclairage brillant, un couplage silice/substances organiques. Les propriétés structurales, optiques et électriques uniques des semi-conducteurs et des nanomatériaux unidimensionnels en font le bloc structurel clé pour une nouvelle génération de matériaux électroniques, de capteurs et photoniques **(Khan ,2019)**.

II.6.3. Dans le domaine d'environnement

La place croissante des NPs d'ingénierie dans les applications industrielles et domestiques conduit à la libération de ces matériaux dans l'environnement. L'évaluation du risque de ces NPs dans l'environnement nécessite de comprendre leur mobilité, leur réactivité, leur écotoxicité et leur persistance **(Ripp et Henry, 2011 ; Zhuang et Gentry, 2011)**. Ces nanoparticules fournissent une grande surface pour la réaction qui est activée par la lumière du soleil et peut travailler dans l'eau, ce qui les rend utiles pour nettoyer les déversements d'hydrocarbures. Les chercheurs utilisent des nanoparticules d'or délimitées dans un oxyde de manganèse poreux à un catalyseur à température ambiante pour décomposer les polluants organiques volatils dans l'air. Les nanoparticules de fer sont utilisées pour nettoyer la pollution au tétrachlorure de carbone dans les eaux souterraines. Les nanoparticules d'oxyde de fer sont également utilisées pour nettoyer l'arsenic des puits d'eau **(Bundschuh et al.,2018)**.

III. Généralités de sélénium

II.1. Définition Le Sélénium

Le sélénium élémentaire (Se) est un métal semi-solide qui appartient au groupe 6 du tableau périodique avec un numéro atomique de 34 et ses nanoparticules ont été montrées comme un matériau potentiel dans différents domaines, y compris l'agriculture, la biomédicale, l'environnementale et l'industrielle **(Nayak,2021)**. Le sélénium (Se) est l'un des oligo-éléments essentiels dans le corps humain. Le Se est le principal composant structurel des sélénoprotéines contenant de la sélénocystéine (les sélénomélanines antioxydantes) **(Steinbrenner, Sies, 2013; Ajmone-Cat et al., 2022)**. Les personnes utilisent le sélénium pour maintenir des articulations, un cœur et des yeux en bonne santé **(Wickleder,2013)**.

III.2. Rôle de sélénium

- Le sélénium joue un rôle fondamental comme cofacteur biologique de la glutathion peroxydase dans la lutte contre les radicaux libres **(Murray et al.,2000)**.
- Et Il joue un rôle crucial dans le système ADN, le système immunitaire et le système reproducteur. Il aide également à combattre le cancer et d'autres maladies et antioxydant **(Wickleder,2013)**.
- Le sélénium joue également un rôle vital dans diverses fonctions biologiques, notamment dans le développement et la fonction du cerveau **(Steinbrenner and Sies, 2013 ; Ajmone-Cat et al., 2022)**. En plus des applications biologiques et médicales, le sélénium est également utilisé dans la fabrication de verres colorés et décolorés. Le sélénium vitreux est l'un des matériaux potentiels les plus productifs en science des matériaux **(Choudhary et al,2016)**.
- Récemment, le sélénium s'est avéré utile pour les batteries rechargeables et les applications de cellules solaires également **(Nayak,2021)**.

III.3. Différentes formes de sélénium

Le sélénium est présent dans la nature et les organismes animaux et végétaux sous des formes organiques et inorganiques **(Zambonino et al.,2023)**.

- Les formes organiques sont : la sélénométhionine et la sélénocystéine
- Les formes inorganiques sont : sélénite, sélénure, sélénate et l'élément sélénium (figure7).

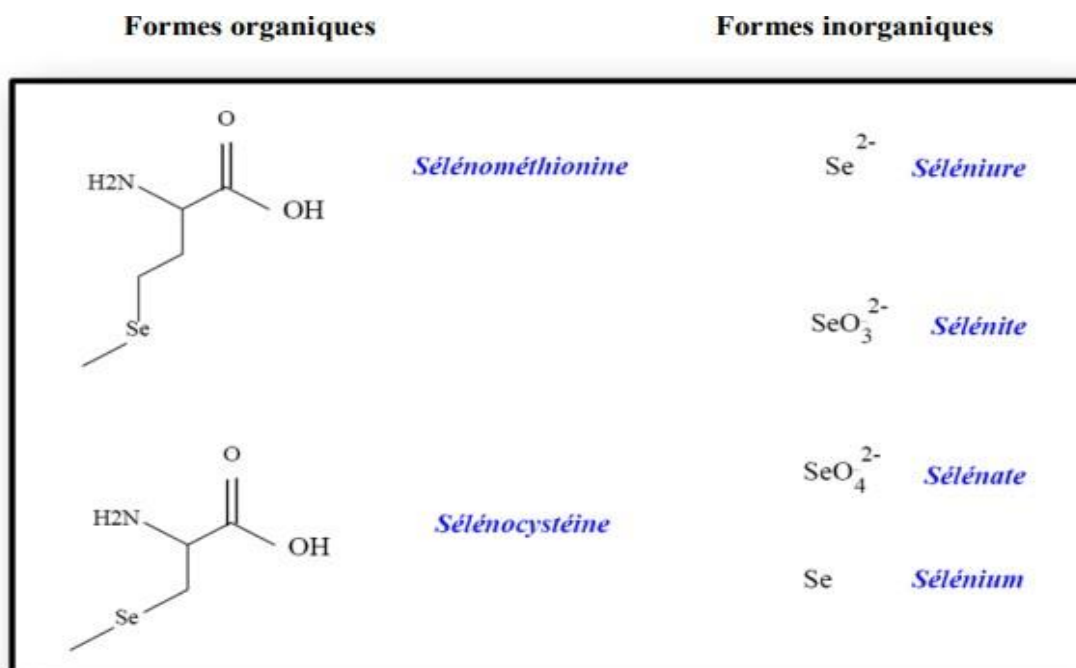


Figure n° 12: Représente les formes organiques et inorganiques du sélénium (Graham, 1991).

III.4. Les propriétés physico-chimiques

Le sélénium est un métalloïde de la même famille que l'oxygène ou le soufre. Il appartient au groupe VI de la classification des éléments périodique de Mendeleïev.

Sa masse atomique est de 78,96 (TEBANI, 2014). Du fait de l'identité de la couche électronique externe, les éléments de la colonne VI (groupe 16 du tableau périodique) ont un grand nombre de propriétés physicochimiques communes, Le sélénium possède plus de 20 isotopes différents, dont 6 seulement sont stables : ^{74}Se , ^{76}Se , ^{77}Se , ^{78}Se , ^{80}Se , ^{82}Se (Zambonino et al.,2023).

Le sélénium existe sous plusieurs états d'oxydation, notamment (+2, 0, +2, +4 et +6), et peut former des composés similaires à ceux du soufre (liaison Se-Se), comme le sélénure, le sélénium élémentaire, le sélénite et le sélénate (Läuchli, 1993). Le sélénium agit comme un catalyseur dans la synthèse de plusieurs protéines, où il est incorporé sous la forme d'un acide aminé appelé sélénocystéine (Therond et al., 1997).

Le sélénium se trouve dans la nature dans plusieurs minerais, remplaçant partiellement le soufre dans ces minerais. Il existe sous différentes formes allotropiques (Perrone et al.,2015):

- Le sélénium rouge non cristallin, qui apparaît sous forme de poudre de couleur rouge brique (Nayak et al.,2021).

- Le sélénium noir non cristallin, qui a une structure vitreuse et se forme par refroidissement rapide du sélénium liquide.
- Le sélénium tertiaire gris, connu sous le nom de sélénium métallique, se présente sous forme de cristaux. Le sélénium cristallin est la structure la plus stable thermodynamiquement (Nayak et al.,2021).



Figure n° 13: Les trois formes de sélénium sont le rouge, le gris et le noir (Anonyme01).

III.5. Carence et toxicité du sélénium

III.5.1. Carence en sélénium

Le sélénium est essentiel pour la plupart des organismes vivants, mais dans une gamme de concentrations très étroite, mais à des doses élevées, il peut devenir toxique (Hodson et Hilton, 1983).

Les apports nutritionnels journaliers en sélénium nécessaires dans l'espèce humaine sont estimés de 50 à 70 $\mu\text{g}/\text{jour}$ (Rayman,2000). Chez l'homme, les cas de carence sévère en sélénium n'apparaissent qu'en réponse à des apports vraiment très faibles ($<20 \mu\text{g}/\text{jour}$). Une carence totale provoque une cardiomyopathie mortelle (maladie de Keshan) ou augmenter les risques cardiovasculaires ou de cancer. Un apport suffisant journalier en sélénium permet de traiter mais également de prévenir le développement de ces deux pathologies. Une carence en sélénium réduit le nombre de cellules de Langerhans de l'épiderme, un effet qui pourrait compromettre l'immunité cutanée (Rafferty,2003).

III.5.2. Toxicité du sélénium

Un apport excessif en sélénium peut entraîner une intoxication. Les cas de sélénose (excès en sélénium) sont moins répandus que ceux liés à une déficience en sélénium. Mais cependant, l'organisation mondiale de la santé (OMS) préconise un apport maximum de 400 $\mu\text{g}/\text{j}$ par adulte

(Nait, Merazig,2014). La toxicité du sélénium chez l'homme dépend de sa forme chimique, d'après l'OMS, les formes inorganiques seraient plus toxiques que les formes organiques. De plus, au sein des formes inorganiques, le sélénite serait plus néfaste que le séléniate (Dodig, Cepelak,2004). Lors d'une intoxication aiguë, la dose létale 50 (entraînant la létalité de 50 % de la population) est estimée entre 0,5 et 1 g sous forme de sélénite ou séléniate de sodium (Thérond et al.,1997).

IV. Activités Biologiques

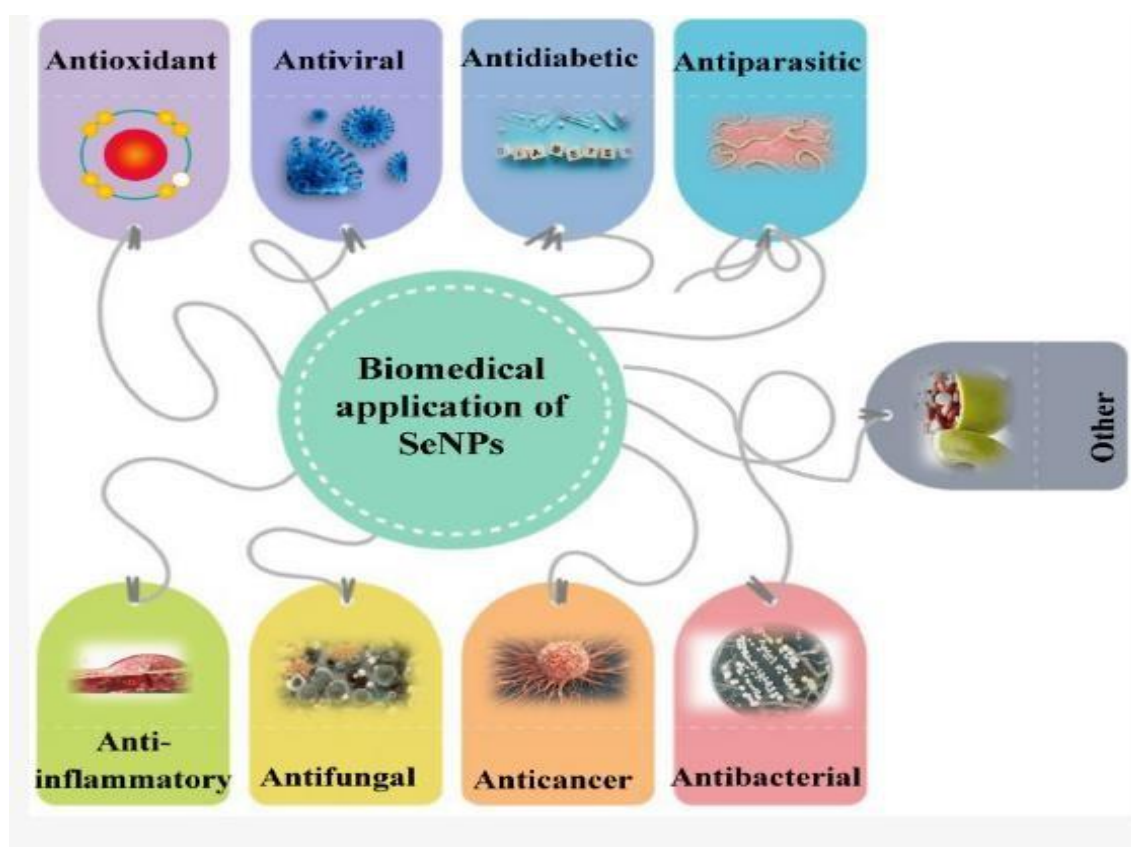


Figure n° 14: Biomedical application of SeNPs
(Ekaterina,2023).

IV.1. Activité Antioxydants

IV.1.1. Définition d'antioxydant

Un antioxydant est par définition une espèce chimique plus ou moins complexe diminuant le stress oxydant au sein de l'organisme. Un antioxydant peut donc :

- prévenir la synthèse de radicaux libres en inhibant l'initiation des chaînes réactionnelles décrites ci-dessus, ou désactiver directement les ROS.

L'organisme possède des systèmes endogènes dédiés à cette action protectrice. Cependant, cette ligne de défense est facilement saturée. De nombreux antioxydants exogènes sont également présents dans l'alimentation apportant un soutien significatif dans la

lutte antioxydant. Nous les trouvons dans les fruits (pommes, poires, fruits rouges...), les légumes (brocoli, oignon...), les boissons (café, thé, vin...) ainsi que dans les épices, le cacao ou encore les céréales. Ces antioxydants sont surtout connus pour leur capacité à réagir directement réagir avec les radicaux libres en les « neutralisant » par réaction de réduction. Les antioxydants sont un groupe hétérogène composé de systèmes antioxydants endogènes, enzymatiques ou non, de vitamines, d'oligo-éléments ou encore de polyphénols (**Valko M et al., 2006**).

IV.1.2. Types des Antioxydants

IV.1. 2.1. Enzymatiques

IV.1.2.1.1. La catalase

C'est une enzyme que l'on retrouve principalement au sein des peroxysomes, dans les hépatocytes, les érythrocytes et les cellules rénales (**Valko Met al.,2006**).

IV.1.2.1.2. La glutathion peroxydase

La glutathion peroxydase (GSH-Px) est une enzyme à sélénium ayant la propriété de pouvoir catalyser la réduction des hydroxyperoxydes. Elle se retrouve dans les liquides extracellulaires ainsi que dans les cellules, au sein du cytosol et des mitochondries (**Richard et al., 1997**). Elle est constituée de 4 sous-unités contenant chacune un atome de sélénium. Cette enzyme constitue la voie majeure de dégradation des hydroperoxydes. Cette fonction antioxydante est d'autant plus importante qu'elle joue un rôle essentiel avec les superoxydes dismutases et la vitamine E (**Frei et al.,1988**). Elle va donc assurer l'équilibre intra et extracellulaire de la balance pro-antioxydants.

IV.1.2.1.3. La superoxyde dismutase

La superoxyde dismutase (SOD) est une protéine métallique possédant une activité enzymatique lui permettant de catalyser la dismutation de l'anion superoxyde O_2^- (**Peltier et al., 1998**). Il existe plusieurs SOD, elles diffèrent par le ou les métaux présent(s) dans sa structure qui va (vont) permettre la liaison enzyme-ligand. Il est important de noter qu'il existe des SOD avec deux types de métaux qui pourront être du Cuivre, du Zinc, du Manganèse et/ou du Fer.

IV.1.2.2. Non enzymatiques

Le glutathion est un tripeptide constitué d'acide glutamique, de cystéine et de glycine (γ -L-Glutamyl-L-cystéinyglycine). On le retrouve dans de nombreux compartiments

intracellulaires (cytosol, noyau, mitochondries) soit sous forme réduite (GSH) soit sous forme oxydée (GS-SG).

IV.1.2.3. Les vitamines

IV.1.2.3.1. La vitamine E

C'est une vitamine liposoluble présente en grande quantité dans les huiles végétales (e.g., l'huile de palme, d'olive et de tournesol).

IV.1.2.3.2. La vitamine C ou acide ascorbique

C'est une molécule hydrophile que l'on retrouve dans de nombreux fruits comme les oranges, les citrons et les fraises. Son caractère hydrophile ne lui permet pas d'avoir une activité intracellulaire. Toute fois la vitamine C est capable de piéger des radicaux libres mais son intérêt majeur en termes de pouvoir antioxydant réside en sa capacité à régénérer la vitamine E au sein de la membrane **(Fabre et al.,2015)**.

IV.1.2.3.3. La vitamine A

C'est une vitamine liposoluble que l'on retrouve en grande quantité dans l'organisme surtout au niveau du foie, son lieu de stockage principal. On distingue deux groupes, à savoir les rétinoïdes (rétinol, trétinoïne...) et les provitamines A (principalement les α - et β -carotènes). Le β - carotène peut agir comme un inhibiteur de la peroxydation lipidique uniquement à une faible pression partielle en O₂. Il peut être oxydé tout comme un acide gras et ainsi avoir un effet pro oxydant **(Higdon ,2004)**.

IV.1.2.4. Les oligo-éléments

Les oligo-éléments se définissent comme une classe de nutriments nécessaires, en quantité très faible, à la vie d'un organisme. En effet, ils n'agissent pas directement contre les ROS, mais ils sont nécessaires aux enzymes décrites précédemment.

IV.1.2.4.1. Le sélénium

Le sélénium est un oligo-élément constituant des séléno-protéines dont fait partie le principal antioxydant intracellulaire, la glutathion peroxydase.

IV.1.2.4.2. Le cuivre

Le cuivre est un des cofacteurs essentiels de la SOD étant donné sa facilité à passer de l'état réduit à l'état oxydé **(Jomova et al., 2011)**.

IV.1.2.4.3. Le zinc

C'est un cofacteur de la SOD. Le zinc a également comme fonction de protéger le groupement thiol des protéines. De plus, il peut lutter contre la formation des ROS induite par le fer ou le cuivre.

IV.1.2.5. Les polyphénols

Les polyphénols représentent une classe de métabolites secondaires. Ils sont très largement représentés dans le règne végétal et donc dans notre alimentation. Nous les consommons sous forme de fruits ou de légumes. Leur étude a été croissante ces dernières décennies en raison de leurs bienfaits sur la santé, notamment grâce à leur pouvoir antioxydant mais aussi dans la prévention ou le traitement de nombreuses pathologies comme les cancers, les maladies cardiovasculaires ou dégénératives (**Chen Et al.,2004**).

IV.1.3. Sources des Antioxydants

Des études épidémiologiques prospectives montrent qu'une consommation plus élevée de fruits, légumes et légumineuses riches en antioxydants est associée à un risque plus faible de maladies chroniques liées au stress oxydatif comme les maladies cardiovasculaires, le cancer et les décès toutes causes confondues (**Bhupathiraju et al.,2013 ; Aune et al, 2017;Milleret al .,2017**) .On pense qu'un régime à base de plantes protège contre les maladies chroniques liées au stress oxydatif (**Carlsen et al.,2010**) .

Il n'est pas clair si cet effet protecteur est dû aux antioxydants, à d'autres substances présentes dans les aliments ou à une combinaison des deux. Voici les nutriments ayant une activité antioxydante et les aliments dans lesquels ils se trouvent :

- **Vitamine C** : Brocoli, choux de Bruxelles, cantaloup, chou-fleur, pamplemousse, légumes-feuilles (navet, moutarde, betterave, chou vert), miellat, chou frisé, kiwi, citron, orange, papaye, pois mange-tout, fraises, patate douce, tomates et poivrons (toutes les couleurs).
- **Vitamine E** : Amandes, avocat, bette à carde, légumes-feuilles (betterave, moutarde, navet), arachides, poivrons rouges, épinards (bouillis) et graines de tournesol.
- **Caroténoïdes dont bêta-carotène et lycopène** : Abricots, asperges, betteraves, brocoli, cantaloup, carottes, poivrons, chou frisé, mangues, navets et chou vert, oranges, pêches, pamplemousse rose, citrouille, courge d'hiver, épinards, patate douce, mandarines, tomates et pastèque.
- **Sélénium** : Noix du Brésil, poisson, crustacés, bœuf, volaille, orge, riz brun.
- **Zinc** : Bœuf, volaille, huîtres, crevettes, graines de sésame, graines de citrouille, pois chiches, lentilles, noix de cajou, céréales enrichies.

- **Composés phénoliques** : Quercétine (pommes, oignons), catéchines (thé, cacao, baies), acide coumarique (épices, baies), anthocyanes (myrtilles, fraises).

IV.1.4. Classification des antioxydants

Selon leur mécanisme d'action, les antioxydants peuvent être classés en antioxydants primaires et secondaires. Les antioxydants inhibent la réaction en chaîne de l'oxydation, agissant comme donneurs d'hydrogène ou accepteurs de radicaux libres, générant ainsi des radicaux plus stables. Les antioxydants de ce groupe ont principalement une structure phénolique et comprennent les éléments suivants : minéraux antioxydants, vitamines antioxydants et composés photochimiques, parmi lesquels se trouvent les flavonoïdes, les catéchines, les caroténoïdes, le β -carotène, le lycopène, le di terpène et leurs dérivés. Ces composés interagissent par divers mécanismes, notamment la liaison des ions métalliques, l'élimination des espèces réactives de l'oxygène, la conversion des hydroperoxydes en espèces non radicalaires, l'absorption des UV rayonnement ou désactivation de l'oxygène singulet. Cette catégorie comprend : le butylhydroxyanisol (BHA), le butylhydroxytoluène (BHT) et le galate de propyle (PG) (Moharram,2014).

IV.1.5. Antioxydants mécanisme

Le mécanisme d'activité des antioxydants est basé sur le processus redox, c'est-à-dire où les processus d'oxydation et de réduction se produisent simultanément. Les réactions redox sont des réactions chimiques très courantes et importantes qui se produisent dans notre vie quotidienne. De nombreux changements vitaux se produisant dans notre système biologique ont lieu dans notre corps et dans d'autres organismes vivants uniquement par le biais de réactions redox. À titre d'exemple, lors d'un processus de digestion, les glucides, les molécules de graisse, etc. présentes dans nos aliments se décomposent pour former du dioxyde de carbone et de l'eau. Dans ce processus, de l'énergie est libérée et utilisée pour accomplir nos diverses activités quotidiennes. Au cours de ces processus, des radicaux libres sont également générés en tant que sous-produits inévitables qui peuvent endommager nos cellules par une série de mécanismes réactionnels (Sundaram et al., 2021).

IV.1.6. Caractéristiques des antioxydants

- Un composé est considéré antioxydant in vivo, lorsqu'il requière les propriétés suivantes.
- Agi spécifiquement sur les radicaux libres ;
- Chélate les métaux de transition ;
- Agi en synergie avec d'autres antioxydants pour se régénérer ;

- Agi à des concentrations physiologiques relativement faibles ;
- La demi-vie de l'antioxydant doit être suffisamment longue pour réagir avec l'oxydant (Valko et al., 2006).

IV.2. Activité anti-hémolyse

IV.2.1. Hémolyses

L'hémolyse, un phénomène irréversible, conduit à la destruction des hématies et à la libération de leur contenu cellulaire, en particulier l'hémoglobine (Hb) (kato et al.,2017). Le niveau d'hémolyse peut être influencé par divers facteurs, soit internes, tels que l'état de la membrane, le métabolisme énergétique intracellulaire et la structure de l'hémoglobine, ou externes, comme la composition du plasma, l'état anatomique du système circulatoire et la fonctionnalité du système mononucléaire phagocytaire (composé de macrophages, monocytes et de leurs précurseurs) (Mezzou et al., 2006).

IV.3. Activité Anti-Inflammatoire

III.3.1. Définition

La réaction inflammatoire représente la réponse de l'organisme à une agression, qu'elle soit d'origine physique (comme la chaleur, le froid, les rayonnements ionisants) ou externe par des éléments solides (tels que des agents pathogènes microbiens, des piqûres d'insectes, des produits chimiques ou biologiques), ou encore liée à des éléments internes tels que des composés résultant de la réaction immunitaire (tels que des complexes immuns, des anticorps cytotoxiques, des cytokines). Peu importe la nature du déclencheur, les manifestations de la réponse inflammatoire seront similaires, bien que leur intensité et leur durée puissent varier (Xue et al., 2018 ; Ndiaye et al., 2006).

IV.3.2. Types d'inflammation

IV.3.2.1. Inflammation aigue

L'inflammation aiguë est la réaction immédiate de l'organisme à un agent agresseur. Elle peut durer de quelques jours à quelques semaines et se décline en trois phases distinctes :

- La phase vasculaire initiale se caractérise par la dilatation et la perméabilisation des vaisseaux sanguins.
- La phase cellulaire consécutive est marquée par l'afflux de polynucléaires et de macrophages, la libération d'enzymes, la phagocytose et la production de lymphokines.
- La phase de résolution, de régénération et de cicatrisation implique la synthèse de collagène par les fibroblastes (Weill et al., 2003 ; Serhan et al., 2010).

IV.3.2.2. Inflammation chronique

L'inflammation chronique est une inflammation prolongée, caractérisée par sa persistance dans le temps, elle peut durer plusieurs semaines voire plusieurs années (**Iwalewe et al., 2007 ; Serhan et al., 2010**). Dans ce type d'inflammation, les processus inflammatoires, la destruction tissulaire et la réparation tissulaire se déroulent simultanément et de manière continue tout au long de l'évolution de l'inflammation, contrairement à l'inflammation aiguë où ces processus sont distincts et séquentiels. Cette coexistence entraîne une perturbation du processus de régénération tissulaire, conduisant à une cicatrisation pathologique (**Weill et al., 2003**).

IV.4. Activité Anticoagulation

La coagulation sanguine est un processus physiologique complexe qui se déroule en cascade et implique de nombreuses protéines plasmatiques. L'activation de ce processus aboutit à la formation d'un caillot sanguin, qui, dans des conditions physiologiques normales, permet d'arrêter ou de contrôler les saignements. Dans le cadre des traitements anticoagulants, l'héparine, qu'elle soit synthétique ou d'origine animale et de bas poids moléculaire, est le seul sulfate de polysaccharide utilisé (**Necas , Bartosikova, 2013**). En raison de leurs effets indésirables, tels que la thrombocytopénie, les anticoagulants classiques font l'objet d'une recherche active d'alternatives. Dans ce contexte, nous avons évalué in vitro l'activité anticoagulante des nanoparticules de Se, en nous basant sur des dosages du temps de prothrombine (TP), du temps de thromboplastine partielle activée (TPTA) et du temps de thrombine (TT) sur du sang humain.

IV.5. Activité PhotoCatalytique

IV.5.1. Définition

D'une manière générale, la photocatalyse se définit comme une modification du taux des réactions chimiques ou de leur initiation sous l'influence de la lumière en présence de substances appelées photocatalyseurs. Ces derniers absorbent les photons et interviennent dans les transformations chimiques des réactifs (**Van leeuwen,2006**).

IV.5.2. Mécanisme de la photo catalytique

IV.5.2.1. Mécanisme de réduction

La réduction de l'oxygène présent dans l'air s'effectue par une réaction de couplage. La réduction de l'oxygène constitue une alternative à la production d'hydrogène car il s'agit d'un réactif facilement réductible. Les électrons de la bande de conduction réagissent avec les espèces d'oxygène dissoutes pour former des anions superoxydes. Ces anions superoxydes se

lient aux intermédiaires de la réaction d'oxydation, formant du peroxyde ou se décomposant en peroxyde d'hydrogène puis en eau. La réduction est plus susceptible de se produire en présence de matière organique que dans l'eau. Par conséquent, une concentration élevée de matière organique tend à augmenter le nombre de trous positifs. Cela réduit la recombinaison des porteurs de charge et améliore l'activité photocatalytique (Muhammad , *al .*, 2022; Tsegaye ,Gijs, 2020).

IV.5.2.2. Mécanisme d'oxydation

La surface du photocatalyseur présente une couche d'eau adsorbée, communément appelée «eau absorbée». Cette eau est oxydée par les trous positifs générés dans la bande de valence suite à l'excitation des électrons vers la bande de conduction sous l'action de la lumière. Cette oxydation libère des radicaux hydroxyles ($\text{OH}\cdot$), des espèces hautement réactives possédant un fort pouvoir oxydant et dégradant. Ces radicaux hydroxyles interagissent ensuite avec la matière organique contenue dans les polluants, initiant leur dégradation. En présence d'oxygène, les radicaux intermédiaires issus des composés organiques et les molécules d'oxygène peuvent s'engager dans des réactions en chaîne radicalaires, consommant de l'oxygène dans certains cas. Cette succession de réactions aboutit à la décomposition de la matière organique en dioxyde de carbone et en eau. Dans des conditions spécifiques, les composés organiques peuvent également réagir directement avec les trous positifs, conduisant à leur dégradation oxydative (Muhammad et *al .*,2022; Tsegaye , Gijs, 2020).

IV.5.2.3. Semi-conducteurs

La réaction photocatalytique est largement conditionnée par la longueur d'onde ou l'énergie du rayonnement lumineux (photon) employé ainsi que par le catalyseur. En général, les matériaux semi-conducteurs sont privilégiés comme catalyseurs. Ces matériaux agissent comme des sensibilisateurs pour l'irradiation du processus redox stimulé par la lumière, en raison de leur structure électronique particulière caractérisée par une bande de valence pleine et une bande de conduction vide (Khan et *al.*, 2015; Van,Leeuwen2006 ;Muhammad et *al .*,2022).

Certaines études ont démontré que les nanoparticules de ZnO dopées au Se présentent une efficacité de dégradation des colorants plusieurs fois supérieure, comme le révèlent les observations de décoloration des colorants. Cette amélioration de l'efficacité de dégradation pourrait être attribuée à une augmentation du taux de production d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) ainsi qu'à une concentration élevée de lacunes d'oxygène, comme en témoigne

l'intensité du pic d'émission verte large et intense associé aux nanoparticules (**Figure 01**) (Ikhazuagbe et al., 2022).

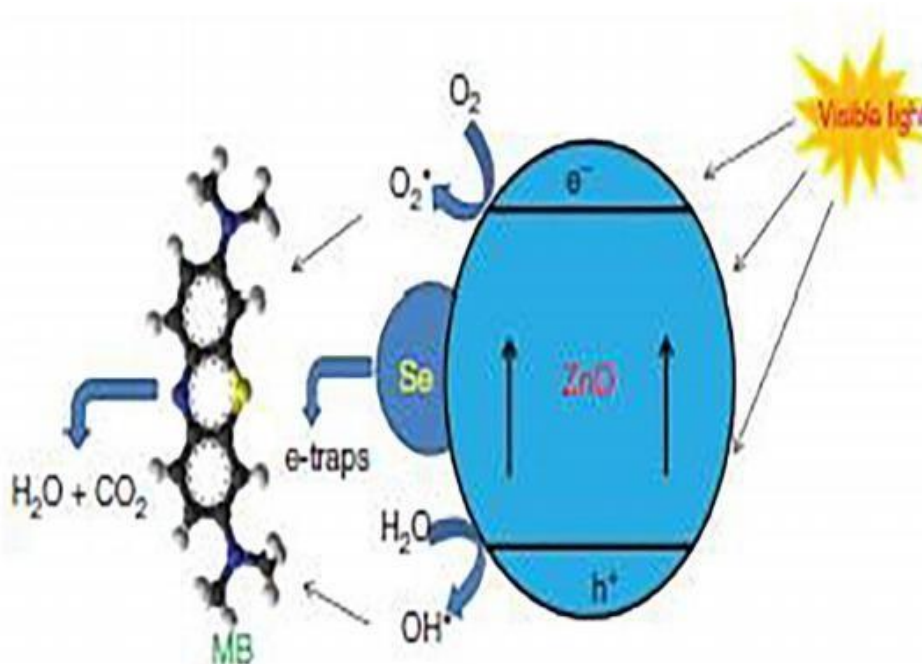


Figure n° 15: Mécanisme de la photocatalytique de colorants par ZnNPs dopé au Se (Ikhazuagbe et al., 2022).

IV.6. Activité Anti- Bactérienne

IV.6.1. Définition

Les êtres vivants sont susceptibles d'être infectés par des microbes, ce qui peut provoquer un éventail de maladies et engendrer des problèmes de santé significatifs. De nos jours, la résistance des agents pathogènes aux médicaments est devenue répandue en raison de l'utilisation généralisée et constante d'antibiotiques. En particulier, les micro-organismes et les champignons résistants à plusieurs médicaments sont devenus très difficiles à traiter, car ils ont acquis une résistance à pratiquement tous les agents antimicrobiens disponibles. Par conséquent, il est impératif de développer de nouveaux antibiotiques pour contrer ces infections. Les propriétés antimicrobiennes des nanoparticules métalliques, ainsi que des oxydes métalliques et de leurs combinaisons, ont été étudiées. Par exemple, les nanoparticules de sélénium ont montré des capacités antibactériennes et antifongiques, ce qui en fait des candidats prometteurs pour diverses applications médicales (Neha et al., 2022).

IV.6.2. Micro-organismes utilisés dans les tests antimicrobiens

❖ *Escherichia coli*

C'est une bactérie à Gram négatif qui se trouve habituellement dans le tube digestif humain et animal, faisant partie de la famille des Entérobactéries. Elle se présente sous une

forme non sporulée, est aérobie facultative, et est généralement mobile grâce à ses flagelles. Sa taille varie de 2 à 6 µm de longueur et de 1,1 à 1,5 µm de largeur. *Escherichia coli* est la bactérie la plus fréquemment associée aux infections urinaires aiguës, ainsi qu'à des affections telles que les diarrhées estivales, la diarrhée infantile et les intoxications alimentaires (**Kaper et al., 2004**).

-Staphylococcus aureus

Ce sont des cocci Gram positif appartenant à la famille des Micrococcaceæ, ayant un diamètre compris entre 0,5 et 1,5 µm. Ils se présentent sous une forme non sporulée, tendant à former des paires et de petites chaînes, et sont généralement non capsulés ou avec des capsules limitées. Ce sont des bactéries anaérobies facultatives. *Staphylococcus aureus* est l'agent pathogène courant associé aux infections postopératoires, aux blessures, à l'endocardite aiguë et aux intoxications alimentaires (**Dworkin et al., 2006**).

❖ ***Pseudomonas aeruginosa***

Ces sont des bacilles Gram négatif qui adoptent une forme non sporulée, sont aérobies et mobiles grâce à la présence de 1 à 2 flagelles. Elles produisent principalement deux types de pigments : la pyocyanine, qui est bleue, et la pyoverdine, qui est jaune-vert. Ces bactéries sont également reconnues pour leur résistance à plusieurs antibiotiques (**Percival et al., 2004**).

❖ ***Bacillus subtilis***

Bacillus subtilis est une bactérie aérobie à croissance rapide, Gram-positive, avec des cellules de forme allongée qui mesurent généralement de 2 à 6 µm de longueur et un peu moins de 1 µm de diamètre. La température optimale de croissance est d'environ 30 à 35 °C, ce qui permet un temps de duplication aussi court que 20 minutes. Sous certaines conditions de croissance, les cellules ont tendance à former de longues chaînes reliées par du matériel paroi septal non clivé. En cas de privation de nutriments, les cellules peuvent subir un processus complexe de différenciation cellulaire conduisant à la formation d'une endospore, qui est libérée par lyse de la cellule mère enveloppante. Les cellules végétatives peuvent être mobiles. Alternativement, elles peuvent former des biofilms et des « corps fructifères » contenant des spores (**Errington et al., 2020**).

IV.7. Activité Anti-Cancéreux

IV.7.1. Définition

Les médicaments anticancéreux sont développés pour lutter contre le cancer en visant différents mécanismes de la maladie. Ils peuvent agir en éliminant les cellules cancéreuses dont la croissance est désordonnée, en ralentissant cette croissance, ou en stimulant les défenses naturelles de l'organisme pour éliminer les cellules cancéreuses de manière plus efficace.

IV.7.2. Cibles et mécanismes d'action des anticancéreux

Les mécanismes menant à l'inhibition de la croissance tumorale ou à la mort cellulaire par apoptose sont variés et sont le résultat de l'interaction entre les médicaments anticancéreux et différents cibles cellulaires. En conséquence, il est possible de catégoriser les médicaments anticancéreux selon les cibles qu'ils visent et leurs modes d'action:

IV.7.2.1. Les médicaments agissant au niveau de l'ADN

Certains médicaments anticancéreux agissent au niveau de l'ADN, en bloquant sa réplication et en empêchant sa transcription. Ces médicaments comprennent les cytotoxiques, qui se divisent en plusieurs catégories :

- Les anti métabolites, qui inhibent la synthèse de l'ADN en s'intégrant dans sa structure à la place des bases puriques et pyrimidiques.
- Les agents alkylants, qui établissent des liaisons covalentes avec l'ADN.
- Les inhibiteurs de topo-isomérases, qui provoquent des cassures simples ou doubles brins dans l'ADN.
- Les inhibiteurs d'histones désacétylases, qui altèrent la conformation de l'ADN, entraînant une réactivation de gènes anti-oncogéniques et des voies apoptotiques et de différenciation.

IV.7.2.2. Les médicaments agissant au du fuseau mitotique

Les poisons du fuseau ciblent les molécules de tubuline, essentielles à la formation du fuseau mitotique et à la migration des chromosomes pendant la mitose. Cela perturbe l'alignement des chromosomes lors de la métaphase, entraînant la mort des cellules tumorales par apoptose. Deux principales catégories de poisons du fuseau sont les vinca-alkaloïdes, qui inhibent la polymérisation de la tubuline, et les taxanes, qui stabilisent les microtubules en empêchant leur dépolymérisation.

IV.7.2.3. L'hormonothérapie

Les hormones stéroïdiennes, telles que les œstrogènes, la progestérone, les androgènes et les corticostéroïdes, jouent un rôle dans la régulation de la croissance de certains tissus, comme la glande mammaire, la prostate et les cellules lymphoïdes. L'identification des récepteurs hormonaux membranaires sur les biopsies tumorales aide à déterminer si les cancers sont dépendants des hormones et à sélectionner les patients appropriés pour ce type de traitement.

IV.7.2.4. Immunothérapie

L'immunothérapie fonctionne en activant le système immunitaire pour combattre les tumeurs. Ce domaine englobe plusieurs approches, y compris l'immunothérapie non spécifique, l'immunothérapie ciblée et l'immunothérapie cellulaire. L'immunothérapie non spécifique vise à stimuler de manière générale les défenses immunitaires, telles que les lymphocytes T

cytotoxiques anti-tumoraux. L'immunothérapie ciblée cherche à rompre la tolérance immunologique en ciblant spécifiquement des protéines membranaires impliquées dans la régulation de l'immunité.

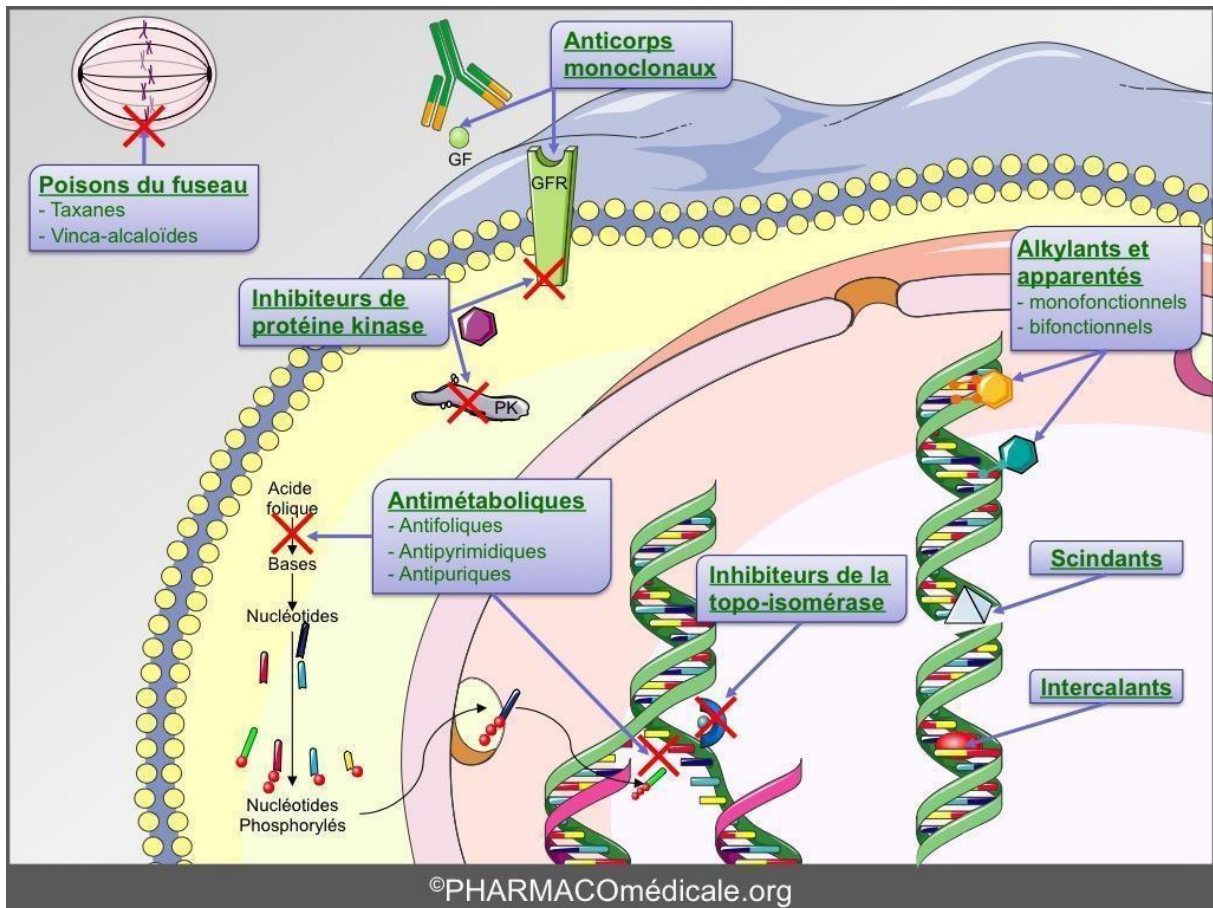


Figure n° 16: Cible des anticancéreux (Anonyme 02)