



Institut des Sciences
Département de Sciences de la Matière
Filière : Chimie
Mémoire
Pour l'Obtention du Diplôme de Master
Spécialité Chimie Macromoléculaire
Thème :

Élaboration et application des nanoparticules d'argent

Présenté par :

Melle. BERRACHED Siham

Melle. BELLOUATI Souheyla

Soutenu en : 03 / 09 / 2020

Devant le jury composé de :

Présidente :

Mme. KIBOU Zahira

Examinatrice :

Mme. RAMDANI Nassima

Encadreur:

Mr. BOUSSALEM Smain

Co-Encadreur:

Mr. BELDJILALI Mohammed

Remerciements

Nous remercions notre créateur Allah Tout-Puissant, qui nous a donné la santé, la volonté, la patience et nous a aidés à terminer nos études et notre mémoire.

Nous remercions également nos parents pour le soutien qu'ils nous ont apporté tout au long de notre période d'étude.

*Nous tenons à remercier chaleureusement notre encadreur Dr **Smain BOUSSALEM**, pour sa confiance et son soutien au cours de cette année.*

*Un merci spécial et sincère à Co-encadreur le Dr **Mohammed BELDJILALI**, pour son soutien, ses conseils et son suivi de l'avancement de nos travaux avec sincérité, que ce soit de près ou de loin.*

*Nous remercions également le Professeur **Lahcene BELARBI**, qui nous a ouvert les portes de son laboratoire pour achever nos travaux pratiques, ce fut pour nous un enrichissement exceptionnel tant d'un point de vue humain que scientifique.*

Nous adresse aussi mes vifs remerciements aux membres des jurys d'Avoir Bien voulu évalué et juger ce travail.

*Mes remerciements particuliers à la doctorante **Yousra**, pour son aide précieuse dans les expériences réalisées et le temps qu'elle a consacré à soutenir ce travail.*

Merci à tous les professeurs qui nous ont aidés à atteindre cette étape de notre parcours éducatif et à nous motiver.

*Merci à tous les ingénieurs du laboratoire **Mme. Bahria AMRAOUI**, **Mme. Ouahiba BAKADA** et à la doctorante **Najla KEDJAR** de leur avoir fourni de l'aide.*

*Ce travail est le fruit de nombreuses collaborations pluridisciplinaires, il se situe à la frontière de notre **Université de - Belhadj Bouchaïb - Ain Témouchent** en général et à **l'Institut des sciences** en particulier, ainsi qu'à tous les membres du système universitaire.*

Mes chaleureux remerciements à toutes les personnes qui ont soutenus ce mémoire.

Merci à tous !

Dédicace

Avec profonde gratitude et sincérité, je dédie ce modeste travail aux paradis de ma vie «Ma mère» et «Mon père», qui étaient la raison principale et ma motivation pour que j'atteigne cette phase de ma carrière d'étude, prie Dieu de leur accorder santé, bien-être, bonheur et longue vie, et demande à Dieu apporter de la joie dans leurs cœurs et relever leurs têtes.

*Je dédie également ce travail à mes frères **Mohammed** et **Ritadj**.*

*Je dédie ce travail à tous ceux qui m'ont encouragé continuer, et qui ont mis dans mon cœur l'amour de mon domaine d'étude " La chimie", aux professeurs, parmi lesquels le **Dr Mohammed Beldjilali**.*

À mes copines, ainsi qu'aux amis de l'étude et à ma deuxième famille pour les beaux moments et les jours agréables que nous avons passés ensemble.

Souheyla.

Dédicace

*Dédicaces à l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, Que Dieu te protège
« Mon cher père ».*

À mon ange et âme sœur, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; « Maman » que j'adore.

*À la grâce que je remercie Dieu d'être dans ma vie ; mes chers frères : *Zakaria* et *Mahmoud*. A Ma cousine et ma sœur *Melouka*.*

*Ainsi, aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé à « mon grand-père », « ma grand-mère » Et ma belle tante *Naïma* Ce fut un professeur vertueux pour moi. À toute la famille.*

*Aux professeurs qui ont été mes modèles et qui m'ont inculqué l'amour du savoir et de la connaissance au cours de ma carrière académique : *Dr Khadija Bouhanía*, *Dr Mohammed BELDJILALI*.*

*Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études : *Asma*, *Fadia*, *Sanae*, *Siham*, *Kawthar*, *Marwa*. Sans oublier les amis d'étude avec qui j'ai partagé les beaux moments et qui m'ont toujours soutenu*

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

Siham

Liste des figures :

Figure 1	Liposome.....	11
Figure 2	Méthode descendante top down.....	13
Figure 3	Méthode Pyrolyse laser.....	14
Figure 4	Méthode ascendante Bottom up.....	15
Figure 5	Schéma des synthèses biologiques des nanoparticules d'argent.....	17
Figure 6	Métabolite primaire.....	18
Figure 7	Les métabolites secondaires.....	19
Figure 8	Quelques exemples des métabolites secondaires.....	19
Figure 9	Mécanisme de la bioréduction des ions Ag.....	21
Figure 10	Stabilisation des nanoparticules d'argent[63], (a) stérique ,(b) électrostatique.....	22
Figure 11	Schéma de principe de fonctionnement de spectrophotomètre UV-Visible.....	24
Figure 12	Image de MEB des nanoparticules d'argent.....	25
Figure 13	Répartition en pourcentage de l'impact économique global des nanotechnologies en 2010.....	27
Figure 14	Représentation schématique et image de <i>Mantha aquatica L</i>	37
Figure 15	La préparation de l'extrait.....	38
Figure 16	Les tubes des différents pourcentages pour la formation des AgNPs.....	39
Figure 17	Schéma représente protocole de la biosynthèse d'AgNPs.....	40
Figure 18	Les tubes à essai de rapport (1/9) par différentes concentrations d'AgNO ₃	41
Figure 19	Appareil d'UV-visible d'université d'Ain témouchent.....	42
Figure 20	Les solutions ZnCl ₂ préparées.....	43
Figure 21	Les solutions BaCl ₂ préparées.....	44

Figure 22	Changement de couleur en fonction du temps de différents rapports d'extrait de plante.....	48
Figure 23	Les spectres UV-Vis des AgNPs de solution 10 % au cours du temps différents à température ambiante.....	51
Figure 24	Le mécanisme de formation des AgNPs.....	52
Figure 25	Stabilité des AgNPs.....	52
Figure 26	Changement de couleur en fonction du temps de différentes concentrations d'AgNO ₃	53
Figure 27	Spectres UV-Vis d'AgNPs de différentes concentrations de ZnCl ₂	55
Figure 28	Les spectres UV-Vis de détection de métal « Ba ».....	56

Liste des tableaux

Tableau 01	Propriétés physiques de l'argent métal.....	09
Tableau 02	Les plus importants minéraux d'argent.....	09
Tableau 03	Principaux réducteurs et stabilisants biologique des nanoparticules.....	20
Tableau 04	Les différentes utilisations des nanoparticules d'argent.....	26
Tableau 05	Compositions chimiques de <i>Mantha aquatica L</i>	37
Tableau 06	Les différentes conditions utilisées dans l'expérience de formation des AgNPs.....	39
Tableau 07	les concentrations utilisées pour préparer les rapports (1/9) pour former des AgNPs.....	41
Tableau 08	les concentrations des solutions ZnCl ₂ utilisés.....	43
Tableau 09	les concentrations des solutions BaCl ₂ utilisés.....	44
Tableau 10	Spectres UV-Vis d'AgNPs de différents rapports d'extrait et AgNO ₃ à différent temps.....	49
Tableau 11	Le changement de couleur de la solution de 10 % pendant 48h.....	50
Tableau 12	Les valeurs des pics caractéristiques.....	52
Tableau 13	Spectres UV-Vis d'AgNPs de différentes concentrations d'AgNO ₃	54



Listes d'abréviation :

Ag	Le métal d'argent.
AgNP	Une nanoparticule d'argent.
AgNPs	Les nanoparticules d'argent.
AgNO₃	Nitrate d'argent.
Ag⁺	Ion d'argent.
Ag⁰	Argent de charge neutre.
NPs	Les nanoparticules.
SPR	La résonance plasmonique de surface.
DPPH	2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle

Sommaire

Introduction générale	01
-----------------------	----

CHAPITRE I : Rappel bibliographique

Introduction.....	07
I. L'argent.....	07
I.1. Définition.....	07
I.2. Les isotopes d'argent.....	07
I.3. Les propriétés de l'argent.....	08
I.4. L'utilisation.....	10
II. Les nanoparticules d'argent.....	10
II.1. Définition.....	10
II.2. Classification des nanoparticules.....	11
II.2.1. Nanoparticules organique.....	11
II.2.2. Nanoparticules inorganiques.....	12
II.3. Propriétés des nanoparticules d'argent.....	12
II.4. Les méthodes de synthèse des AgNPs.....	13
II.4.1. Méthode physique (L'approche descendante, ou top down).....	13
II.4.2. Méthodes chimiques (L'approche ascendante, ou bottom up).....	14
II.4.2.1. Réduction chimique d'une solution d'ions Ag^+	16
II.4.3. Méthode biologique.....	16
II.4.3.1. Les plantes.....	18
II.4.3.2. La bioréduction (mécanisme).....	20
II.4.3.3. Stabilisation des nanoparticules d'argent.....	22
II.5. Risques liés à l'utilisation de nanoparticules d'argent.....	22
II.6. Caractérisations.....	23
II.6.1. UV Visible.....	23
II.6.2. La diffraction des rayons X (RDX).....	24
II.6.3. La spectroscopie Infrarouge à transformée de Fourier.....	24

II.6.4.	La microscopie électronique à balayage (MEB).....	24
II.6.5.	Caractérisation structurale des nanoparticules métalliques par Microscopie Electronique à Transmission (MET).....	25
II.7.	Les applications des nanoparticules d'argent.....	25
	Conclusion.....	28

CHAPITRE II : Matériels et méthodes

	Introduction.....	36
I.	Matériels.....	36
I.1.	Matériels végétales : LA MENTHE AQUATIQUE : <i>Mentha aquatica L</i>	36
a)	Définition.....	36
b)	Composition chimique des feuilles de <i>Mantha aquatica L</i>	37
II.	Méthodes.....	38
II.1.	Préparation de l'extrait.....	38
II.2.	La biosynthèse des nanoparticules d'argent.....	39
II.2.1.	Préparation des AgNPs par différents rapports d'extrait et AgNO ₃	39
II.2.2.	Préparation des AgNPs de rapport 10% (1/9) par différents concentrations d'AgNO ₃	41
III.	Caractérisations.....	42
III.1.	UV-Visible.....	42
IV.	Applications.....	42
IV.1.	La détection des métaux lourds par les AgNPs	42
	Conclusion.....	45

CHAPITRE III : Résultats et discussion

	Introduction.....	48
I.	Effet du rapport d'extrait de plante et de la solution de nitrate d'argent.....	48
II.	La cinétique de formation des AgNPs.....	50
III.	L'influence de la concentration d'AgNO ₃ sur la formation des AgNPs.....	53
IV.	Application.....	55
IV.1.	La détection des métaux par les AgNPs.....	55

IV.2.2. La détection de métal « Zn ».....	55
IV.2.2. La détection de métal « Ba ».....	56
Conclusion.....	58
Conclusion générale.....	60
Résumé	
Abstract	
ملخص	

Introduction générale

Introduction générale

Le terme « nano » est une très petite unité de mesure, il équivaut à un millionième de millimètre, ce qui signifie qu'il est impossible de la voir à l'œil nu ou avec des simples loupes, il est utilisé dans les mesures atomiques afin de déterminer la taille des particules de matière qu'elles contiennent[1]. Par conséquent, la nanotechnologie peut être définie comme la science qui étudie la possibilité de changer la matière à l'échelle atomique et moléculaire[2], il s'intéresse à l'élaboration des nouvelles techniques et procédés aux dimensions nanométriques (1 nm et 100 nm)[3-5]. La nanotechnologie s'intéresse d'une part, aux nouveaux phénomènes au niveau des nanomatériaux, qu'ils sont des matériaux naturels ou synthétisés formés accidentellement ou manufacturé[6], ils possédants des propriétés particulières par rapport aux matériaux massifs[7]. Il existe deux grandes familles de nanomatériaux :

- ❖ Les nano-objets qui sont des matériaux à une, deux ou trois dimensions nanométrique externes. Ils peuvent être utilisés sous forme de poudre, de suspension liquide ou de gel. il est possible de marquer trois types dans cette famille :
 - Les nanoparticules : à trois dimensions externes nanométriques.
 - Les nanofibres, nanotubes, nanofilaments ou nanobâtonnets : à deux dimensions à l'échelle nanométrique et une dimension très supérieure.
 - Les nano-feuillets, nano-plats ou nano-plaquettes : à une dimension à l'échelle nanométrique et deux autres dimensions sont très supérieures.
- ❖ Les matériaux nanostructurés qui ont une structure interne ou de surface à l'échelle nanométrique. il est possible de marquer plusieurs types dans cette famille :
 - les agrégats et agglomérats de nano-objets.
 - les nanocomposites.
 - les matériaux nanoporeux [8].

Selon le type de nanoparticule, La nanotechnologie se développe rapidement avec des nanoparticules produites et utilisées dans une large gamme des produits en raison de son échelle nanométrique qui lui confère une énorme surface développée et les propriétés complètement différentes de celles de matériaux massifs[7]. Parmi les nanoparticules les plus connues les nanoparticules d'argent[9], qu'ils sont utilisées dans l'électronique, la biodétection, l'habillement, l'industrie alimentaire, les peintures, les écrans solaires, les cosmétiques et les dispositifs médicaux[10]. Ce genre des nanoparticules peuvent synthétiser par plusieurs techniques ; tel que des techniques traditionnelles comme physique et chimique[11] qui besoin beaucoup d'énergie et très couteux, et biologique[12] a l'aide des

Introduction générale

bactéries[13], des champignons[14], des plantes[15]... Cette dernière technique biologique a base du plante est atteindre la biosynthèse, qui est écologique, rentable et pas toxique.

A partir des nanoparticules produites, il est possible de produire des nanocomposites[16], ce dernier peut défini comme un matériau à double phase composé des nanoparticules et une matrice, dans ce cas les polymères sont les plus utilisant comme les polymères biodégradables, qui ne sont pas nocifs pour l'environnement.

Dans ce mémoire, nous présenterons l'élaboration de nanoparticules d'argent par une méthode biologique simple et non nocif pour l'environnement, cette synthèse est basée sur l'extrait du plante (*Mantha aquatica L*) (Domrane) qui utilisé comme un bioréducteur.

Ce travail est constitué des chapitres suivants :

- ✚ **Le premier chapitre** est une étude bibliographique qui s'intéresse à la description des nanoparticules d'argent, leurs propriétés, leurs méthodes de synthèse telle que physique, chimique ou biologique.
- ✚ **Le deuxième chapitre** est constitué de matériel et méthodes de synthèse des nanoparticules d'argent.
- ✚ **Le troisième chapitre** contient les résultats, discussion de synthèse, caractérisation des nanoparticules d'argent et l'application.

Références

1. Rumais, N.A. *Qu'est-ce que la nanotechnologie?* 19 juin 2017; Available from: mawdoo3.com.
2. Mansoori, G.A., *Principles of nanotechnology: molecular-based study of condensed matter in small systems* 2005: World Scientific.
3. Virender K. Sharma ☐, R.A.Y., Yekaterina Lin, *Silver nanoparticles: Green synthesis and their antimicrobial activities*. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2009. **145**: p. 83–96.
4. *NANOMATÉRIAUX, NANOPARTICULES*. INRS Santé et sécurité au travail, 2018.
5. Joachim, C., *To be nano or not to be nano?* *Nature materials*, 2005. **4**(2): p. 107.
6. witschger, m.r.e.o., *les nanomatériaux définition,risque toxicologique,caracterisation de l'exposition professionnelle et mesure de prevention*, ed. inrsseptembre 2012.
7. Rafique, M., et al., *A review on green synthesis of silver nanoparticles and their applications*. *Artificial cells, nanomedicine, and biotechnology*, 2017. **45**(7): p. 1272-1291.
8. Gaffet, E., *Aspects sécurité des nanomatériaux et nanoparticules manufacturés*. Editions Techniques de l'ingénieur, 2009: p. 186.
9. Baghshahi3, S.P.M.G.S., *Green synthesis of silver nanoparticles using the plant extract of Salvia spinosa grown in vitro and their antibacterial activity assessment*. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 2018.
10. Ahamed, M., M.S. AlSalhi, and M. Siddiqui, *Silver nanoparticle applications and human health*. *Clinica chimica acta*, 2010. **411**(23-24): p. 1841-1848.
11. Pirtarighat, S., M. Ghannadnia, and S. Baghshahi, *Green synthesis of silver nanoparticles using the plant extract of Salvia spinosa grown in vitro and their antibacterial activity assessment*. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 2019. **9**(1): p. 1-9.
12. Sharma, V.K., R.A. Yngard, and Y. Lin, *Silver nanoparticles: green synthesis and their antimicrobial activities*. *Advances in colloid and interface science*, 2009. **145**(1-2): p. 83-96.

Introduction générale

13. Slawson, R.M., J.T. Trevors, and H. Lee, *Silver accumulation and resistance in Pseudomonas stutzeri*. Archives of microbiology, 1992. **158**(6): p. 398-404.
14. Durán, N., et al., *Antibacterial effect of silver nanoparticles produced by fungal process on textile fabrics and their effluent treatment*. Journal of biomedical nanotechnology, 2007. **3**(2): p. 203-208.
15. Ahmed, S., et al., *A review on plants extract mediated synthesis of silver nanoparticles for antimicrobial applications: a green expertise*. Journal of advanced research, 2016. **7**(1): p. 17-28.
16. Prucek, R., et al., *The targeted antibacterial and antifungal properties of magnetic nanocomposite of iron oxide and silver nanoparticles*. Biomaterials, 2011. **32**(21): p. 4704-4713.

CHAPITRE I :
Rappel bibliographique

Introduction

On appelle nanomatériau, un matériau constitué d'un assemblage des nanoparticules[1]. Au sens strict une nanoparticule est un assemblage d'atome dans le domaine nanométrique est inférieure à 100 nm[2]. Il existe déjà différentes sources de production des nanoparticules : les sources naturelles, les sources accidentelles et les sources industrielles[3]. Parmi les nanoparticules distinctives il y'a les nanoparticules de métal noble l'argent (Ag), qu'ils ont reçu beaucoup d'attention en raison de leurs propriétés intéressantes et uniques qui permettent des applications attrayantes dans divers domaines tels que la biotechnologie, la médecine, les cosmétiques[4],... Ils pouvant rassembler environ 20-15000 atomes d'argent, ont montrés les mêmes propriétés physico-chimiques et activités biologiques que l'argent[5]. Il peut être combiné par ces nanoparticules métalliques et une matrice massive pour produire des nanocomposites multiphasés.

I. L'argent

I.1. Définition

L'argent est l'un des métaux les plus anciennement connus, son histoire a débuté il y a des milliers d'années. C'est un métal précieux, datant de l'antiquité, de couleur blanc éblouissant. Ensuite, il est connu et utilisé depuis plus de 7000 ans[6]. De plus, cet élément se distingue comme un métal de transition qui ne présente pas des propriétés catalytiques et magnétiques très particulières, mais il est bien connu pour son aptitude à former des agrégats de faible nucléarité, dans différents matrices et supports. Il est le seul cation monovalent noble qui forme des espèces mononucléaires stables dans l'eau. Par ailleurs, parmi les ions de métaux de transitions[7].

I.2. Les isotopes d'argent

L'argent possède 38 isotopes connus, de nombre de masse variant entre 93 et 130, et 36 isomères nucléaires. Parmi ces isotopes, deux sont stables, ^{107}Ag et ^{109}Ag et constituent la totalité de l'argent naturel. On attribue à l'argent une masse atomique standard de 107,8682 u. Les isotopes de masse 112 et 117 sont des produits de fission de l'uranium.

I.3. Les propriétés de l'argent

I.3.1. Propriétés biocides de l'argent

Les propriétés bénéfiques de l'argent pour limiter la propagation des infections et améliorer l'hygiène quotidienne[8, 9]. Ses qualités antimicrobiennes, attribuées au relargage d'ions Ag^+ , ont été admises dès l'identification des bactéries comme agents responsables d'infections [10]. L'argent est considéré comme un élément «oligo-dynamique», en raison de son efficacité antimicrobienne pour des très faibles concentrations (de l'ordre de 0,1 à 10 ppm)[9]. L'argent sous forme métallique est inerte. Toute fois lorsqu'il s'oxyde au contact de l'atmosphère ou d'un environnement humide ($\text{Ag M\acute{e}tal} \rightarrow \text{Ag}_2\text{O}$), la dissolution de l'oxyde d'argent formé conduit à la libération d'ions Ag^+ . Ces ions présentent un large spectre d'action, aussi bien contre les bactéries à Gram positif et à Gram négatif, que les levures, les champignons ou les virus. Il est important de noter que l'action biocide de l'argent dépend de la quantité d'ions Ag^+ présents dans le milieu et réellement disponibles pour interférer avec les microorganismes. En effet, de part sa forte réactivité, l'argent peut interagir avec les protéines et les sels du milieu suspendant (ex : formation de AgCl , précipité très peu soluble), ce qui minimise la quantité active vis-à-vis des cellules. La lumière a également une incidence négative sur l'efficacité biocide des ions Ag^+ [11].

I.3.2. Les propriétés physico chimique

L'argent est un métal noble et plus réactif. Assez ductile et malléable, sa résistance mécanique est améliorée par addition de cuivre. Il a une excellente conductivité, propriété utilisée en électronique. Les sels d'argent sont photosensibles et sont utilisés en photographie[12].

Chapitre I : Rappel bibliographique

Tableau 1 : Propriétés physiques de l'argent métal[12]

Numéro atomique	47
Masse atomique	107,87
Configuration électronique	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ¹
Structure	CFC
Rayon métallique (nm)	0,153
Densité (g cm⁻³)	10,5
Température de fusion (K)	1235,43
Température d'ébullition (K)	2485
Première énergie d'ionisation (kJ mol⁻¹)	758

L'argent est le deuxième élément du premier groupe secondaire (IB) du tableau périodique. Le nom scientifique "argent" vient du latin "argentum" qui dérive du mot grec "arguros" qui signifie "blanc étincelant" ou "blanc clair".

Tableau 2 : Les plus importants minéraux d'argent.[12]

Le minéral	
l'argentite	Ag ₂ S
la bromargyrite ou la bromite	AgBr
la chlorargyrite ou l'argent corné	AgCl
la dyscrasite	Ag ₃ Sb
la fischessérite	Ag ₃ AuSe ₂
la hessite	Ag ₂ Te
la proustite	Ag ₃ AsS ₃
la pyrargyrite ou l'antimonite d'argent	Ag ₃ SbS ₃
la stéphanite	Ag ₅ SbS ₄
la stromeyérite	AgCuS

La configuration atomique de l'argent ($Z=47$) est $[\text{Xe}] 4d^{10}5s^1$. Il est placé dans le groupe 11 (IB) après le cuivre et entre palladium (groupe 10) et cadmium (groupe 12) dans le tableau périodique[12].

I.4. L'utilisation

- Les Romains l'ont employé pour soigner les blessures, les brûlures et les ulcères[13].
- Par la suite, il a été employé pour prévenir la contamination de l'eau ou pour éviter les infections oculaires chez les nourrissons par application de nitrate d'argent[14].
- L'argent est utilisé comme agent antimicrobien depuis des siècles, le récent regain d'intérêt pour cet élément se concentre en particulier sur la menace croissante de la résistance aux antibiotiques, causée par l'abus d'antibiotiques[15, 16].

II. Les nanoparticules d'argent

II.1. Définition

Les nanoparticules d'argent ou nano-argent sont des molécules ayant une taille de 20-40 nm, ils sont composées à 80% d'atome d'argent et à 20% d'ions argent[17]. Puis, ils ont suscité un intérêt de recherche intensif en raison de leur importance applications comme effet de diffusion Raman antimicrobien, catalytique et amélioré en surface[18]. Également, ils sont actuellement l'un des nanomatériaux les plus fréquemment utilisés dans les produits de consommation [19]. Les AgNPs, cependant, peuvent déjà être trouvés dans un certain nombre des produits commerciaux, y compris les matériaux d'emballage alimentaire et les appareils de cuisine, et sont même vendus comme un "supplément de santé" alternatif[20, 21]. De plus, les nanoparticules d'argent sont considérées comme un additif potentiel à l'alimentation animale pour remplacer les antibiotiques [22, 23]. L'activité antibactérienne des AgNPs augmente avec la diminution de la taille des particules qui a été associée à l'augmentation du rapport surface/masse[24].

II.2. Classification des nanoparticules

II.2.1. Nanoparticules organique

II.2.1.1. Système micellaire/lipidique

Ce sont des agrégats particulaire souples déformables s'inspirant de l'organisation des membranes cellulaires[25]. Formé par l'auto-assemblage d'une monocouche de phospholipides dont la tête polaire est hydrophile et la queue hydrophobe[26].

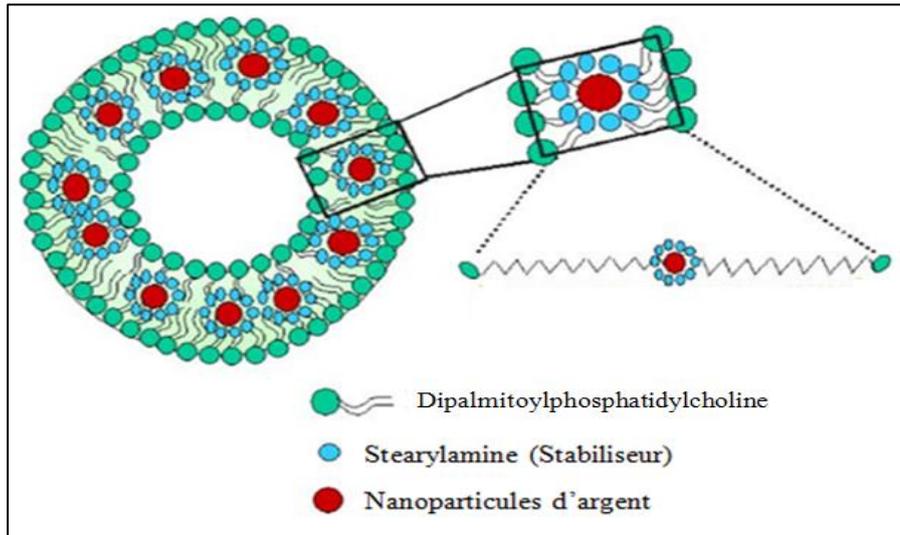


Figure 1 : Liposome[27]

II.2.1.2. Nanoparticules à base des polymères

Des nombreux polymères organiques sont produits à l'échelle nanométrique. Pour l'exemple, citons le chlorure de polyvinyle, le polystyrène. Ces composés peuvent être modifiés chimiquement[25].

II.2.1.3. Nanotubes de carbone (CNT)

Ils sont composés soit par une simple paroi de graphène, soit de couches multiples concentriques[28].

II.2.2. Nanoparticules inorganiques

Les métaux peuvent être élaborés dans des dimensions nanométriques. Des oxydes métalliques des dimensions nanométriques existent également. Les plus courants, car produits à grande échelle, sont la silice (SiO_2), le dioxyde de titane (TiO_2), l'oxyde de zinc (ZnO) et nitrate d'argent (AgNO_3)[25].

II.3. Propriétés des nanoparticules d'argent

II.3.1. Propriétés physiques et chimiques

Parmi les nanoparticules des métaux nobles, les AgNPs ont reçu une attention considérable en raison de leurs propriétés physicochimiques attrayantes[29]. Certaines propriétés physicochimiques des AgNPs notamment la taille (surface), forme, la charge et le revêtement de surface, l'agglomération et la vitesse de dissolution, sont particulièrement importantes pour déterminer leurs interactions et leurs impacts biologiques. Les plus petites particules ont une plus grande surface et donc un potentiel toxique plus grand[30]. Une petite concentration d'argent est sans danger pour les cellules humaines, mais mortelle pour les micro-organismes[31].

II.3.2. Propriétés optiques

Les propriétés optiques remarquables des nanoparticules d'argent résultent de leur interaction unique avec la lumière, qui provoque l'oscillation cohérente collective de leurs électrons à bande de conduction libre, ou LSPR. L'oscillation des électrons libres entraîne une décroissance radiative avec une forte diffusion visible de la lumière ou une décroissance non radiative, qui entraîne la conversion de l'énergie des photons en énergie thermique. Ces deux mécanismes de désintégration ont été facilement utilisés dans les applications de bio diagnostic et d'imagerie et thérapeutiques. La LSPR des AgNPs dépend de la taille, de la forme, de l'environnement diélectrique et des interactions électromagnétiques mutuelles entre les particules proches[30].

II.3.3. Propriété désodorisante

Le nano-argent a des propriétés désodorisantes employées dans des réfrigérateurs pour éliminer les mauvaises odeurs[32].

II.4. Les méthodes de synthèse des AgNPs

II.4.1. Méthode physique (L'approche descendante, ou top down)

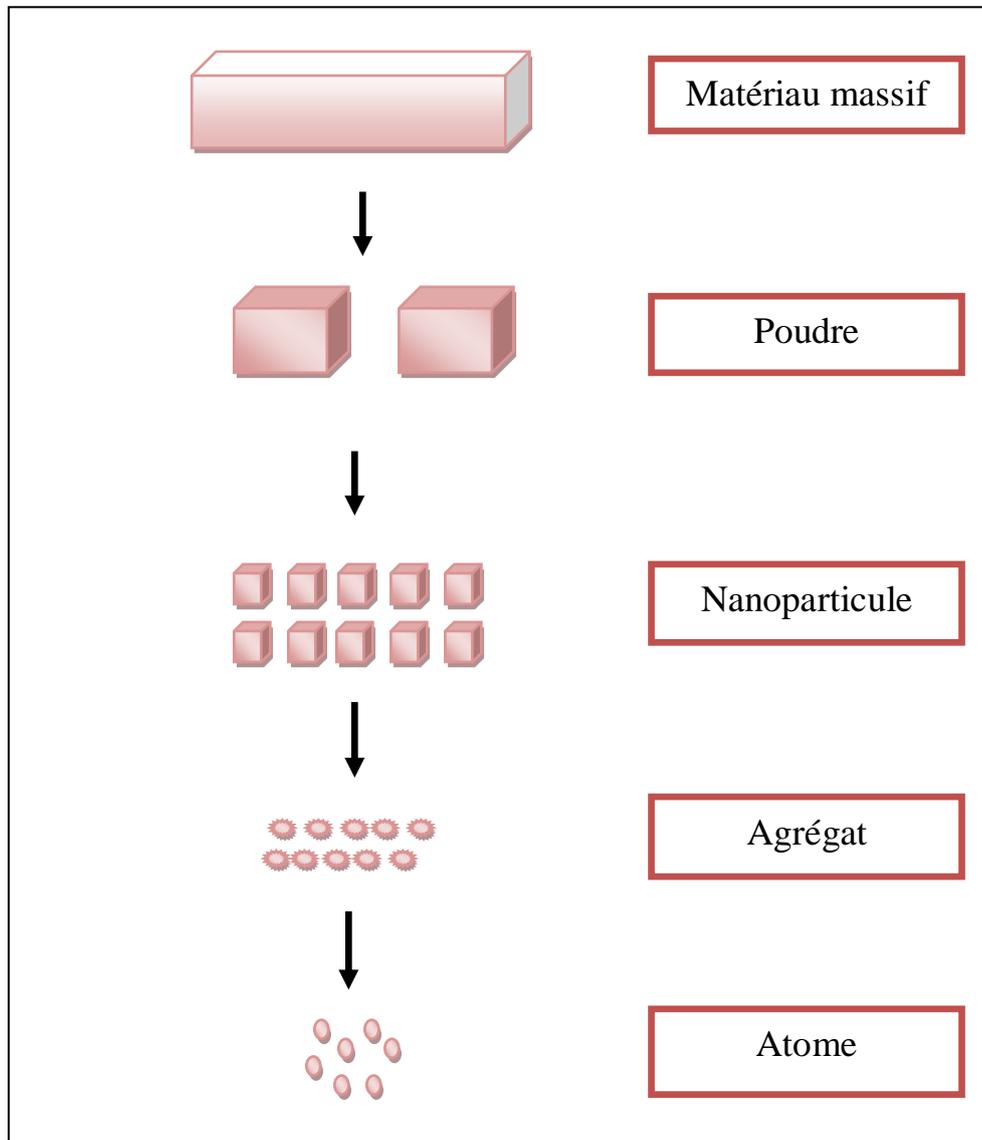


Figure 2 : Méthode descendante top down

II.4.1.1. Evaporation/condensation

Cette formule a pour objectif d'évaporer le métal argent par chauffage ensuite à condenser la vapeur dans le but d'avoir des nanoparticules nanométriques dispersées. La difficulté de ce procédé est le contrôle absolu et homogène des particules à l'échelle nanométrique. Les nanoparticules sont récupérées par refroidissement très rapide de la vapeur en métal[25].

II.4.1.2. La pyrolyse laser

Il est une méthode simple et efficace pour produire des nanoparticules d'argent, elle se fait par l'interaction entre un laser CO₂ et un flux de métal.

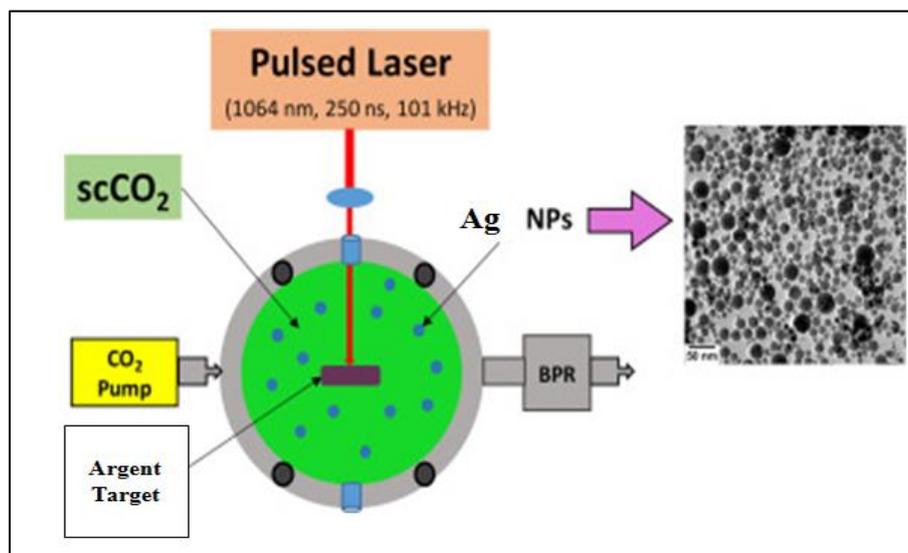


Figure 3 : Méthode Pyrolyse laser [33]

II.4.2. Méthodes chimiques (L'approche ascendante, ou bottom up)

Consiste à assembler des composants élémentaires (atomes, molécules, agrégats) pour fabriquer des structures plus complexes. C'est une voie encore au stade expérimental, la voie descendante étant la seule à avoir déjà fait ses preuves dans l'industrie[34]. Parmi toutes les techniques de synthèse, elle offre probablement le meilleur contrôle de taille et de forme [35,

Chapitre I : Rappel bibliographique

36]. Elle repose principalement sur l'utilisation des trois composants, soit : un précurseur métallique, un agent réducteur et un agent stabilisant[37].

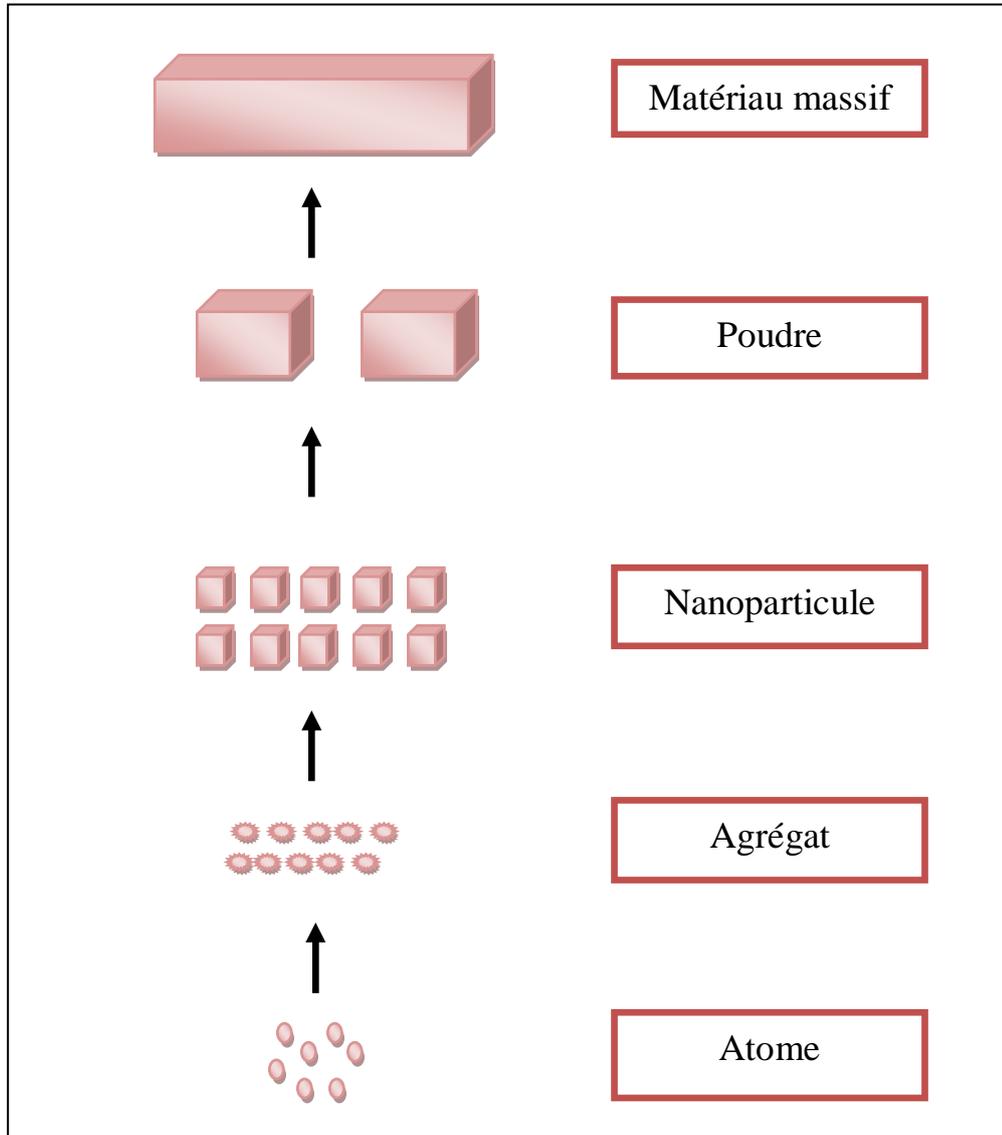


Figure 4 : Méthode ascendante Bottom up

II.4.2.1. Réduction chimique d'une solution d'ions Ag^+

Les méthodes chimiques de préparation des nanoparticules d'argent incluent la réduction chimique en solution aqueuse[38]. De par sa simplicité, la synthèse des nanoparticules par réduction chimique est la technique la plus utilisée pour former des solutions colloïdales des nanoparticules métalliques[39, 40]. L'argent métallique s'obtient par réaction de la réduction de l'ion argent selon la réaction suivante :



Cette réaction de base peut s'effectuer à partir des différents sels, dans différents milieux et selon différentes méthodologies. Le choix de l'agent réducteur est également important[41].

II.4.3. Méthode biologique

La méthode biologique permettent d'obtenir des nanoparticules colloïdales avec très bon dispersion, elle est développée en raison de ses avantages particuliers tels que des sources renouvelables de matière utilisé, l'absence des additifs chimiques et des sous-produits chimiques et elle est une méthode écologique et pas chère[42]. Il était donc nécessaire d'utiliser des méthodes biologiques pour créer des nanoparticules d'argent à l'aide de micro-organismes[43], des enzymes[44], des plantes[45]...

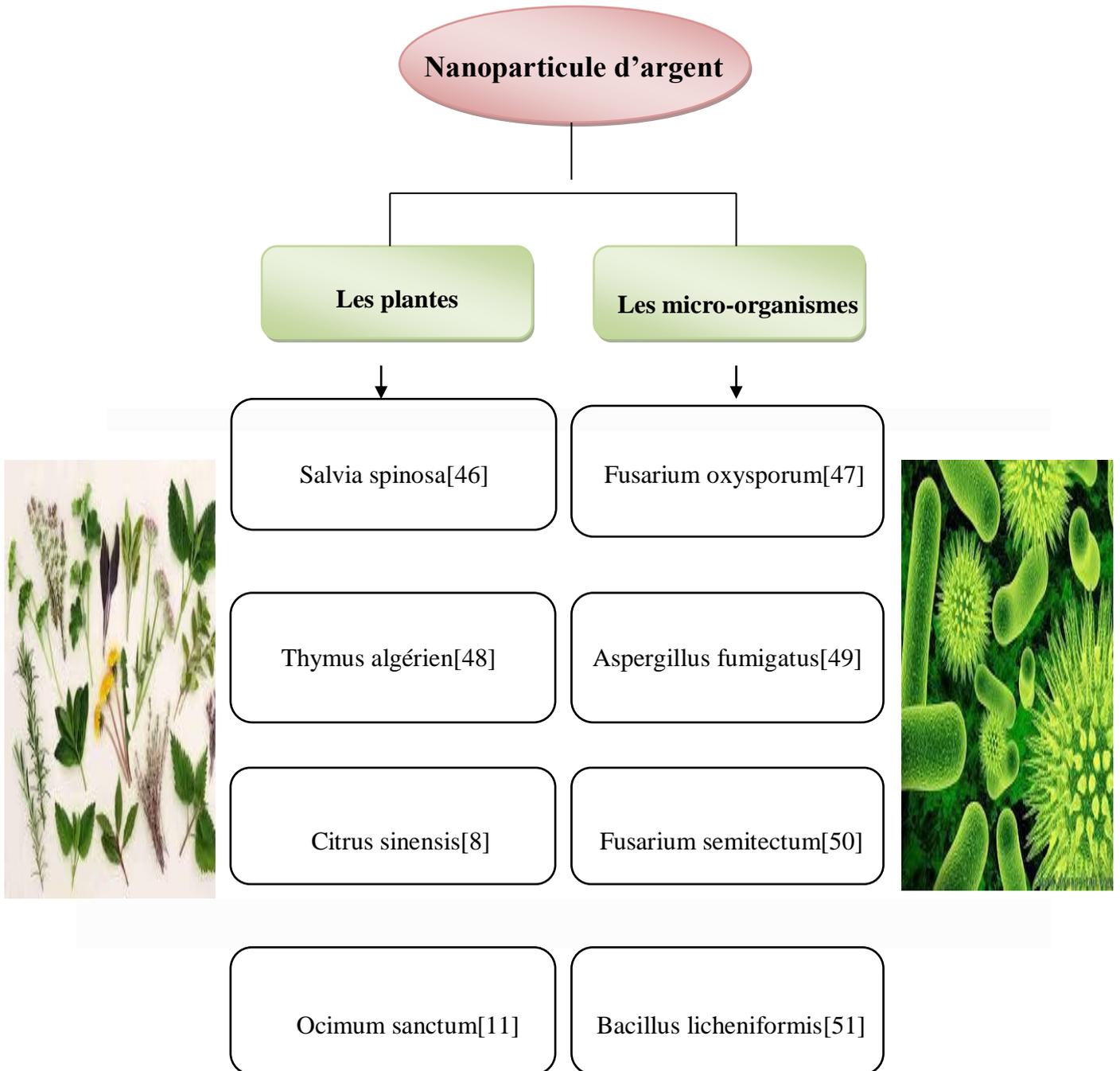


Figure 5 : les bioréducteurs utilisés dans la méthode biologique pour synthèse des nanoparticules d'argent

II.4.3.1. Les plantes

II.4.3.1.1. Métabolites végétaux primaires

Les métabolites primaires peuvent être considérés comme les constituants essentiels pour la vie des plantes; ils sont impliqués dans leur croissance, leur développement et leur reproduction normaux[52].

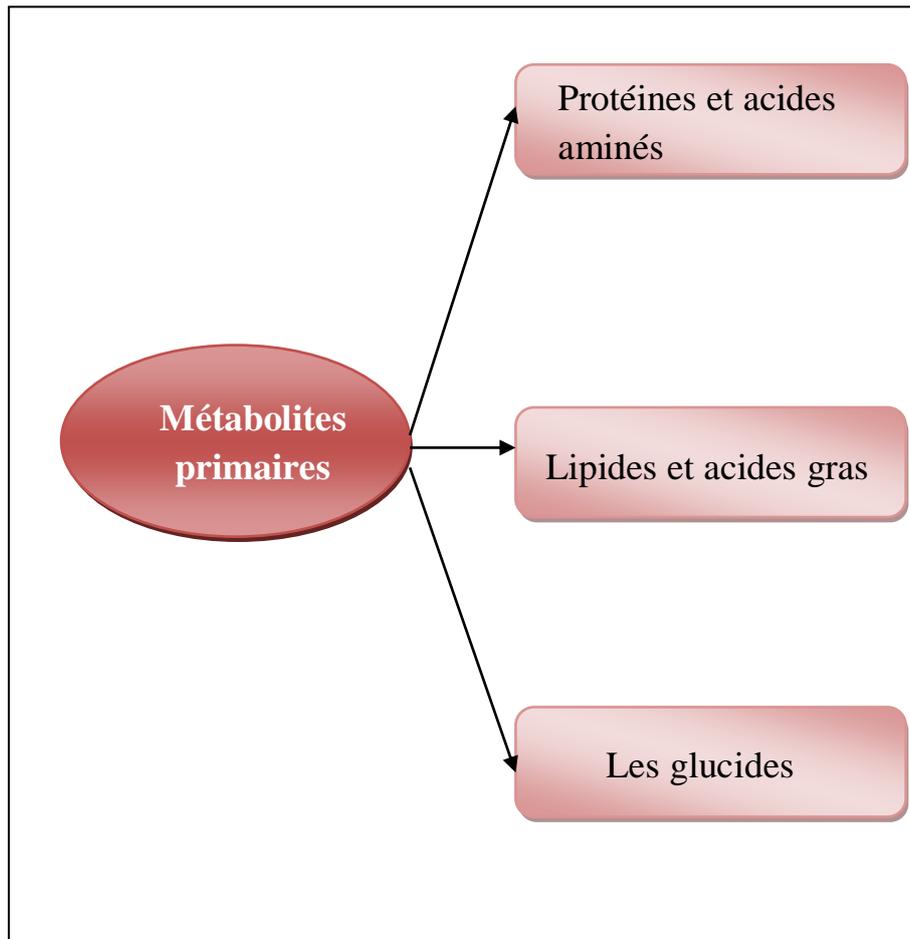


Figure 6 : Métabolites primaires

II.4.3.1.2. Métabolite secondaire

Chaque plante a des propres métabolites secondaires à faible concentration, ils sont des molécules organiques complexe synthétisées par les végétaux, on peut distinguer trois familles :

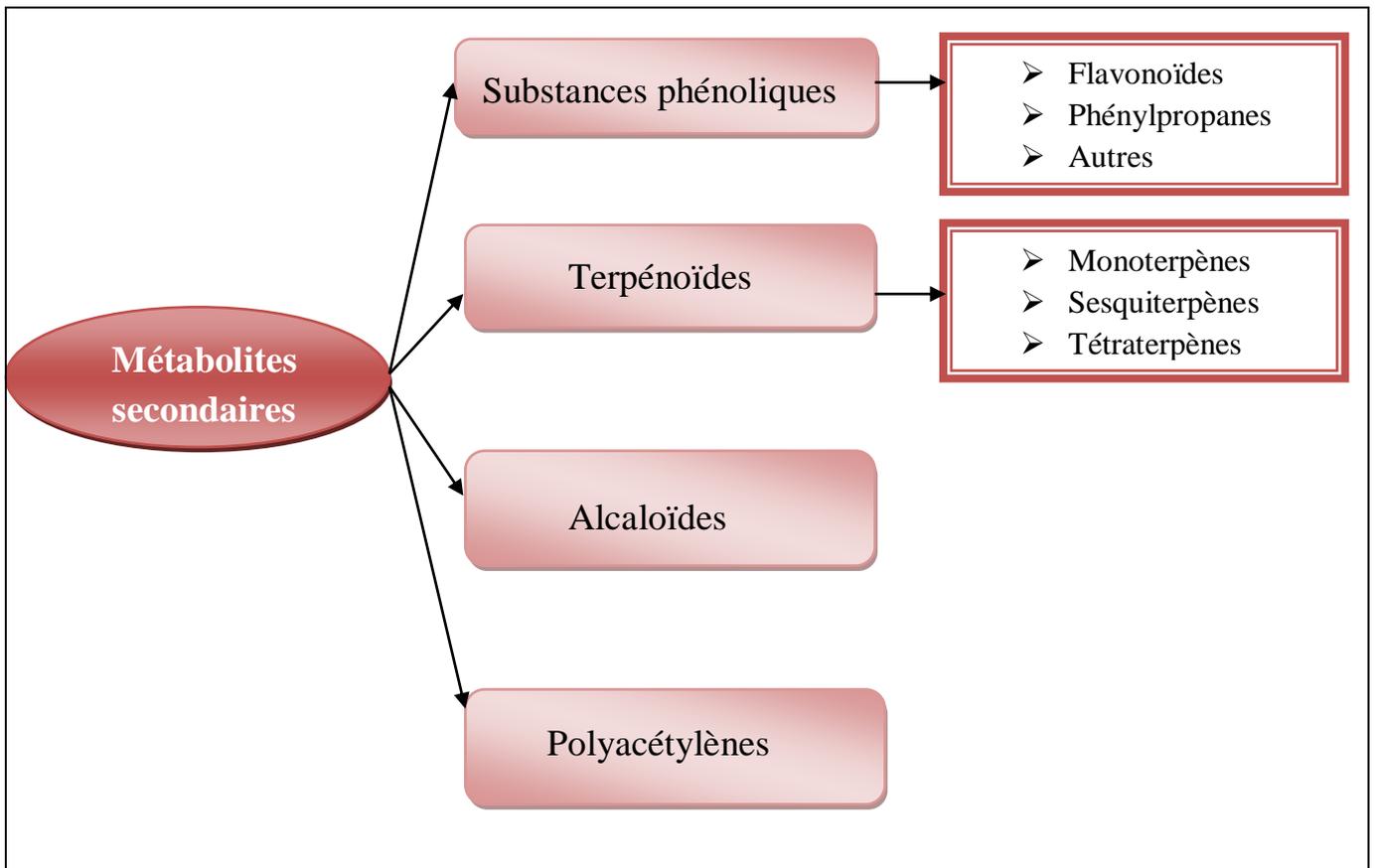


Figure 7 : Les métabolites secondaires[53]

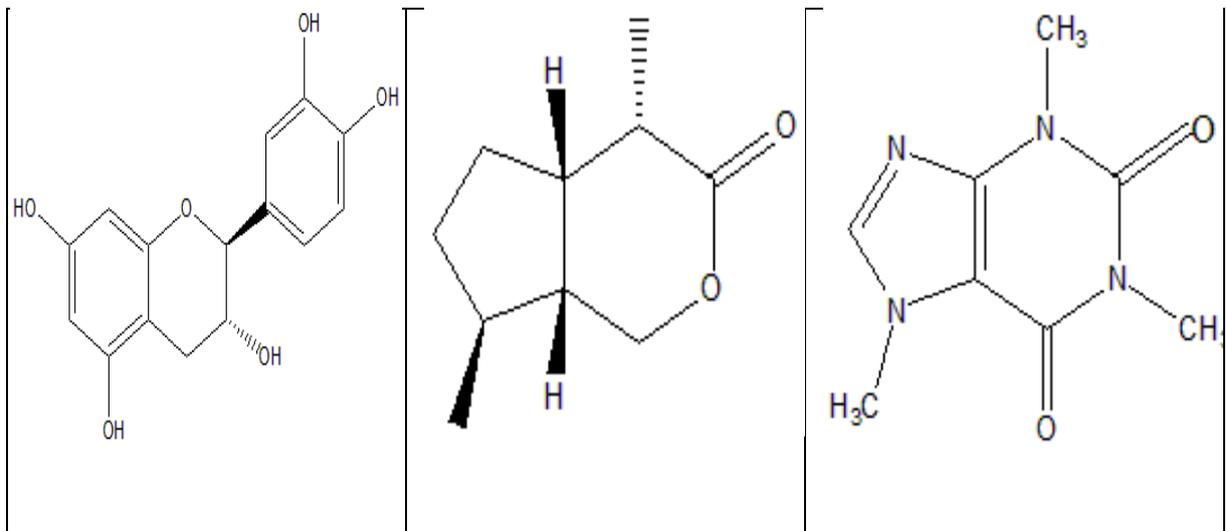


Figure 8 : Quelques exemples des métabolites secondaire [54]

Les chercheurs ont démontré que les métabolites secondaires jouent un rôle important dans la bioréduction des ions métalliques[55, 56].

II.4.3.2. La bioréduction (mécanisme)

La bioréduction est une méthode prometteuse en raison de ses avantages particuliers tels que les ressources suffisantes des matières premières, les conditions de réaction bénigne, l'obtention des nanoparticules présentant une distribution fine des tailles des particules ainsi que l'utilisation de peu d'additifs chimiques toxiques. Cette méthode de préparation des nanoparticules d'argent peut se faire par voie enzymatique ou non enzymatique[57]. Depuis quelques années la communauté scientifique étudie plutôt les organismes vivants (bactéries, champignons, plantes, levures...) comme bi-réacteurs pour fabriquer les nanoparticules. En outre, la réduction biologique est développée comme une méthode prometteuse en raison de ses avantages particuliers tels que des sources suffisantes de matériaux, des conditions de réaction modérées, et une bonne dispersion de nanoparticules ainsi que l'absence d'additifs chimiques et de sous-produits chimiques[58].

Tableau 3 : Principaux réducteurs et stabilisants biologique des nanoparticules.

Réducteur	Agent stabilisant	Morphologie et tailles des particules	Réf
Peptide	Peptide	Nano hexagones, nanosphères et nanotriangles	[59]
Plantes de luzern	Tissus de luzerne	Nanosphères et nanofils	[60]
Feuille de Géranium	Protéines ou enzymes	Nanosphères et nanotiges	[61]
Souche de levure	Protéines	Nanosphères 2–5 nm	[62]
Champignon	Protéines ou enzymes	Nanosphères 5–15 nm	[47, 49]
Feuille de Neem	Flavanones, terpènes	Nanosphères 5–35 nm	[42]

Chapitre I : Rappel bibliographique

Dans le cas des plantes, la réduction se produit selon ce mécanisme :

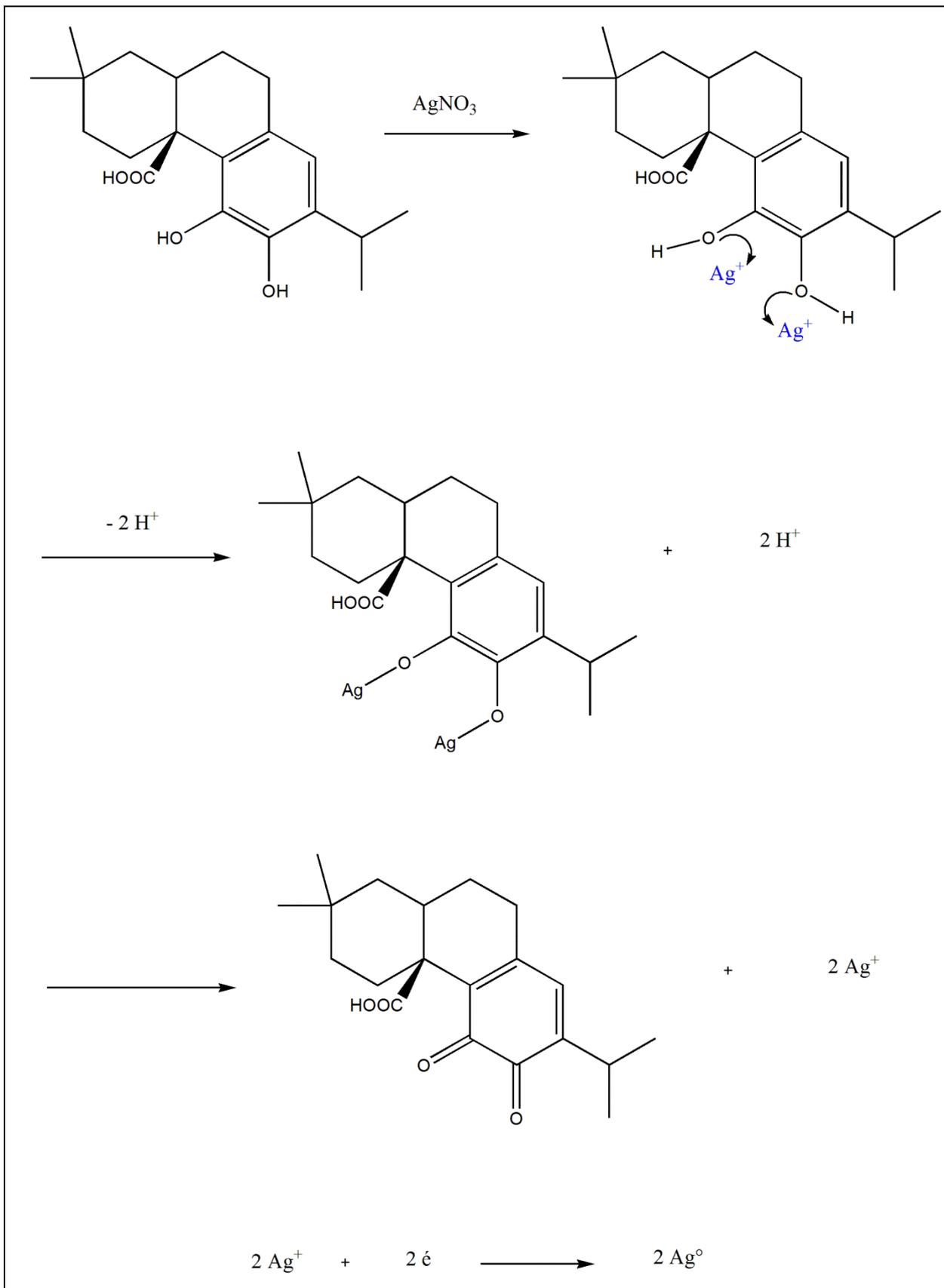


Figure 9 : Mécanisme de la bioréduction des ions Ag^+

II.4.3.3. Stabilisation des nanoparticules d'argent

On peut éviter l'agrégation des nanoparticules d'argent lors de leur synthèse par l'utilisation d'un agent stabilisant dans le milieu réactionnel. Dans le cas de méthode biologique la présence des métabolites secondaire dans le milieu été considérées comme un agent stabilisant a la surface d'argent, pour l'objectif de contrôler la taille et la forme des particules. On peut distinguer trois mécanismes de stabilisation:

- La stabilisation électrostatique
- La stabilisation stérique
- La stabilisation électrostérique[63]

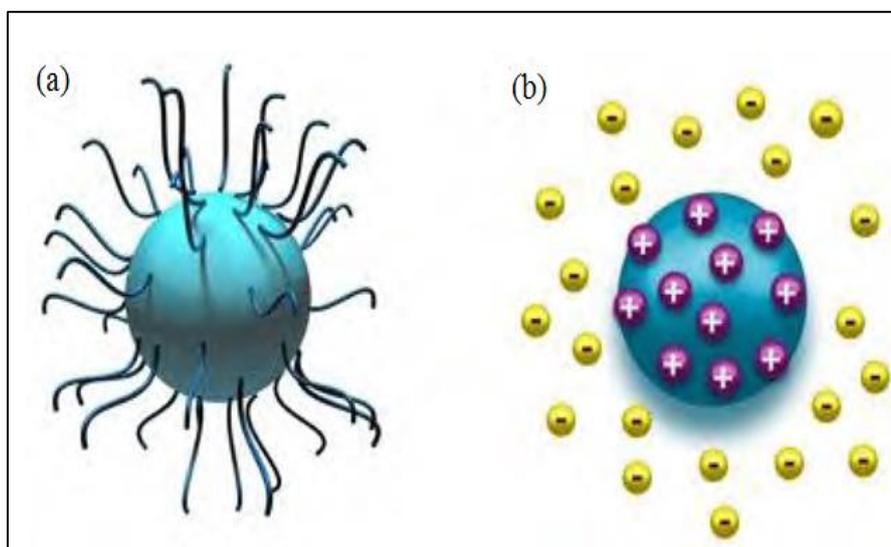


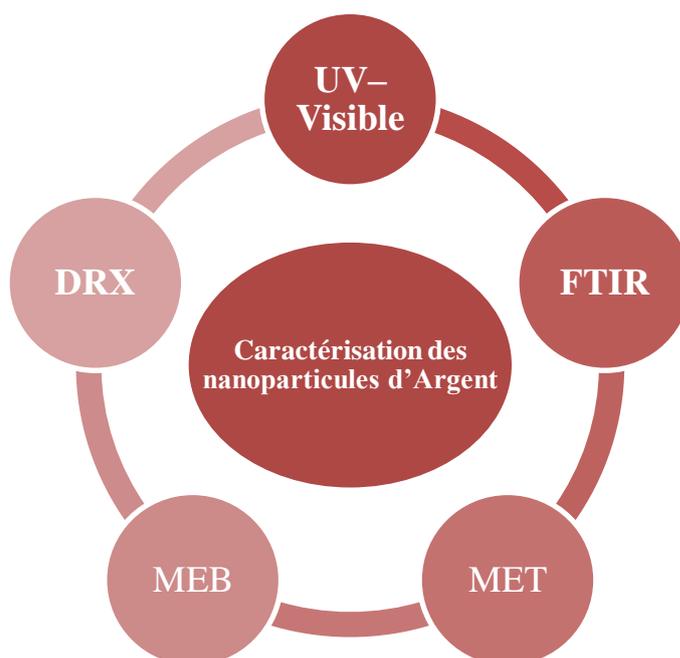
Figure 10 : Stabilisation des nanoparticules d'argent[63], (a) stérique ,(b) électrostatique

II.5. Risques liés à l'utilisation de nanoparticules d'argent

La plupart des études montre que l'argent ionique n'induit pas des conséquences négatives pour l'être humain, aux concentrations requises pour obtenir une activité antimicrobienne[64]. Toutefois, lorsque l'argent ionique est appliqué sur une lésion corporelle sous forme de crème ou de pansement, il se lie à la sueur, au sébum et aux protéines présentes. Il peut ensuite passer dans la circulation sanguine, ce qui se traduit par une augmentation de la concentration en argent dans le sérum. Selon certains auteurs, il est alors excrété dans les urines en 2 à 5

jours, alors que d'autres chercheurs ont montré une bioaccumulation des granules métalliques dans différents organes : le foie, les reins, l'intestin, les glandes surrénales et, dans des rares cas, la moelle épinière[65]. Les quantités de nanoparticules d'argent utilisées dans les différentes expériences exposées ici sont très importantes et ne reflètent pas les niveaux auxquels les êtres humains sont pour le moment confrontés[66].

II.6. Caractérisations



II.6.1. UV Visible

La spectroscopie UV-Visible est une technique très utilisée pour les substances organiques et minérales, elle repose sur la transition d'électrons de valence qui passent de l'état fondamental à l'état excité grâce à une onde électromagnétique[67]. Il a été utilisé pour vérifier les AgNPs biosynthétisés[46]. Outre l'analyse, identifier et caractériser de ces derniers. Il utilise une longueur d'onde comprise entre 200 et 800 nm et il est capable d'identifier des nanoparticules dont taille varie de 2 à 100 nm.

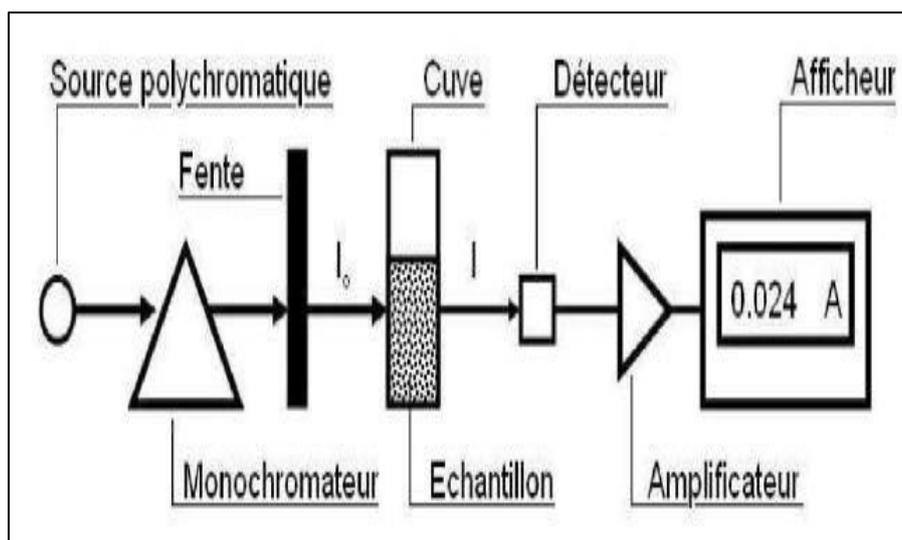


Figure 11 : Schéma de principe de fonctionnement de spectrophotomètre UV-Visible[68]

II.6.2. La diffraction des rayons X (RDX)

Le spectre DRX des AgNPs biosynthétisés indiquent la réduction du nitrate d'argent en AgNPs et l'état d'oxydation des particules, ainsi la cristallinité d'argent Ag^0 . La taille cristalline moyenne des AgNPs s'est à peu près être de 12,95 nm à un visage cubique centré[69].

II.6.3. La spectroscopie Infrarouge à transformer de fourrier

L'infrarouge est une méthode très utilisée pour la caractérisation et l'identification des composés ou de leurs groupements fonctionnels (liaisons chimiques) dans un mélange d'extraits. L'identification des liaisons se fait à l'aide du nombre d'onde correspondant et la détermination de groupe caractéristique par un spectre d'un composé inconnu qui sera identifié par comparaison à la bibliothèque des composés connus[70]. Puis, elle est utilisée pour confirmer l'interaction entre l'argent et les bioréducteurs[71].

II.6.4. La microscopie électronique à balayage (MEB)

La microscopie électronique à balayage (MEB) est une technique de microscopie électronique capable de produire des images en haute résolution de la surface des

nanoparticules d'argent en utilisant le principe des interactions électrons-matière. Des études montrent que les nanoparticules d'argent de taille environ 50 nm[51].

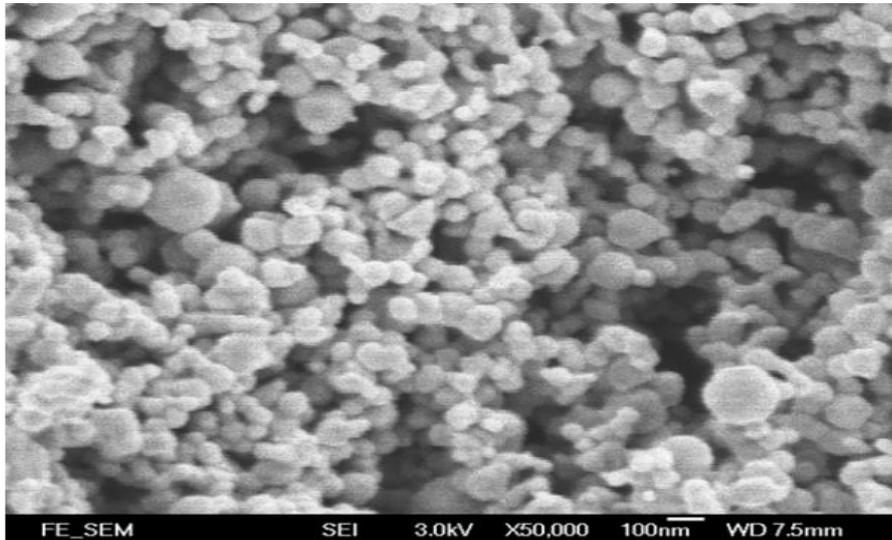


Figure 12 : Image de MEB des nanoparticules d'argent[72]

II.6.5. Caractérisation structurale des nanoparticules métalliques par Microscopie Electronique à Transmission (MET)

La microscopie électronique à transmission (MET) est une technique très utile pour la caractérisation des nanoparticules métalliques. Le contraste observé en MET provient de la différente capacité de l'échantillon à laisser passer ou à diffuser les électrons. Comme les nanoparticules métalliques ont une densité électronique très élevée, cela permet d'obtenir des images de très bonne qualité. Cette technique permet une observation directe de la morphologie de l'échantillon à l'échelle nanométrique[68].

II.7. Les applications des nanoparticules d'argent

Les nanoparticules sont employées dans des nombreux secteurs industriels et trouvent leurs applications dans plusieurs produits du quotidien. On peut distinguer la filtration de l'eau, les textiles, les appareils médicaux, la conservation des aliments, les cosmétiques, les capteurs, et les produits pharmaceutiques.

Chapitre I : Rappel bibliographique

Tableau 4 : Les différents utilisations des nanoparticules d'argent [73]

Utilisation	Intérêt	Remarque
Textiles, chaussures	Lutte contre les bactéries à l'origine des mauvaises odeurs. Prévention des mycoses	Les AgNPs sont introduites lors du filage ou de l'ennoblissement du textile
Linge de maison Literie	Lutte contre les acariens	
Compléments alimentaires	Amélioration des défenses immunitaire	
Ustensiles de cuisine (planche à découper, couteau)	Hygiène	Les AgNPs sont présentes dans les revêtements des ustensiles
Biberons, tasses pour enfants, objets à mâcher	Lutte contre la prolifération des germes pathogènes	
Boîtes de conservation	Lutte contre le développement des moisissures Amélioration de la conservation des aliments	Les AgNPs sont mélangées au plastique
Réfrigérateurs	Lutte contre les bactéries à l'origine des mauvaises odeurs Amélioration de la conservation des aliments	Les AgNPs sont mélangées au plastique
Lave-linge	Meilleure désinfection du linge	Libération des ions Ag ⁺
Réservoirs d'aspirateurs sans sac	Lutte contre les bactéries à l'origine des mauvaises odeurs	
Filtres de système de	Lutte contre les micro-	Procédé disponible pour les

Chapitre I : Rappel bibliographique

traitement de l'air	organismes à l'origine des mauvaises odeurs émises au cours du fonctionnement	habitations, les véhicules, les salles des opérations et pour certains bâtiments accueillant du public
Traitement de l'eau	Amélioration de qualité du traitement si les AgNPs sont supportés sur les fibres de charbon actif Limitation de l'apparition d'un bio film sur les parois des canalisations	
Electronique (plastique des claviers, des souris informatiques...)	Limitation des proliférations des germes sur les surfaces	Les AgNPs sont mélangées au plastique

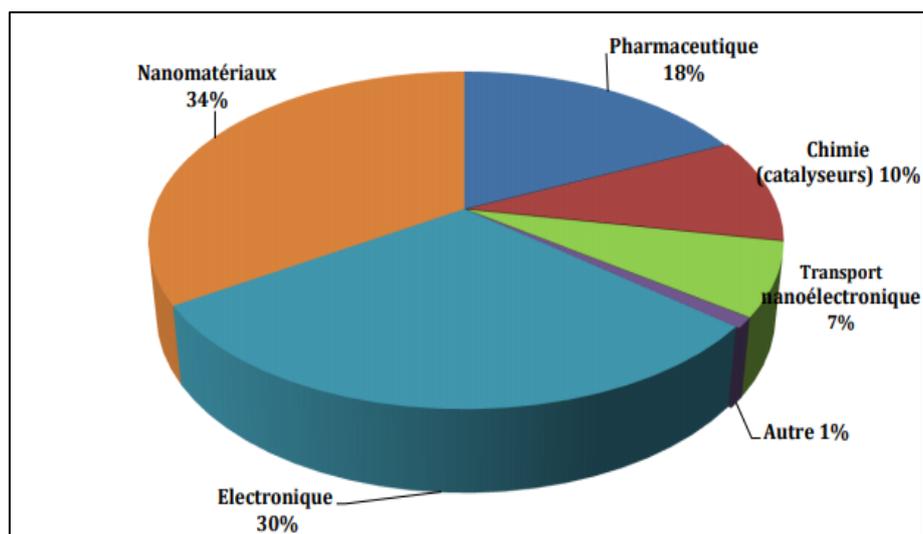


Figure 13 : Répartition en pourcentage de l'impact économique global des nanotechnologies en 2010 [25]

Conclusion

La recherche bibliographique autour des nanoparticules d'argent qui ont retenu l'attention de la communauté scientifique, à cause de leurs propriétés physiques et chimiques. Qu'ils l'ont synthétisées par différents méthodes tel que physique et chimique qui sont des voies couteux et toxiques, pour cela, ils ont synthétisées ce type des nanoparticules par la voie de chimie vert, qui est respectueuse de l'environnement, ils ont utilisés les substances biologiques tel que les micro-organismes (bactéries, champignons..), les plantes...Etc. Les applications des nanoparticules d'argent sont variées à cause de son infiniment petite taille, et leurs propriétés qui peuvent être contrôlées avec précision en ajustant la taille, la forme ou la composition des nanoparticules.

Ces nanoparticules d'argent peuvent utiliser aux nanocomposites comme un renfort d'un matrice pour augmenter leur propriétés, parmi ces matrices, on peut mentionner les polymères (thermoplastique, thermodurcissable et biopolymère), ces types des nanocomposites est utiliser dans divers domaines.

Références

1. Xu, L., et al., *Nanoparticle assemblies: dimensional transformation of nanomaterials and scalability*. Chemical Society Reviews, 2013. **42**(7): p. 3114-3126.
2. Sharma, V.K., R.A. Yngard, and Y. Lin, *Silver nanoparticles: green synthesis and their antimicrobial activities*. Advances in colloid and interface science, 2009. **145**(1-2): p. 83-96.
3. *NANOMATÉRIAUX, NANOPARTICULES*. INRS Santé et sécurité au travail, 2018.
4. Iravani, S., *Green synthesis of metal nanoparticles using plants*. Green Chemistry, 2011. **13**(10): p. 2638-2650.
5. Shen, L., *A Novel Passive Sampler for Monitoring Nanosilver in Aquatic Matrices*, 2016, McGill University Libraries.
6. Rai, M., et al., *Medicinal plants: biodiversity and drugs* 2012: CRC Press.
7. Kitiwiang, C. and S. Phanichphant, *Synthesis of silver-doped cerium dioxide nanoparticles by the homogeneous precipitation*. Journal of Microscopy Society of Thailand, 2009. **23**(1): p. 83-86.
8. Lansdown, A.B., *Silver I: its antibacterial properties and mechanism of action*. Journal of wound care, 2002. **11**(4): p. 125-130.
9. Silver, S., L.T. Phung, and G. Silver, *Silver as biocides in burn and wound dressings and bacterial resistance to silver compounds*. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 2006. **33**(7): p. 627-634.
10. Klasen, H., *Historical review of the use of silver in the treatment of burns. I. Early uses*. Burns, 2000. **26**(2): p. 117-130.
11. Kierans, M., et al., *Silver tolerance and accumulation in yeasts*. Biology of metals, 1991. **4**(2): p. 100-106.
12. Djeghboub, W., *Nanoparticules d'or et d'argent déposées sur oxyde de cérium synthétisées sous irradiation*. 2010.
13. BOUSALEM, N., *SYNTHESE VERTE, CARACTERISATION ET ACTIVITE ANTIBACTERIENNE DE FILMS COMPOSITES ALGINATE–NANOPARTICULES D'ARGENT-CHITOSANE*, 2017, 12-06-2017.

Chapitre I : Rappel bibliographique

14. Zou, M., et al., *Synthesis of silver nanoparticles in electrospun polyacrylonitrile nanofibers using tea polyphenols as the reductant*. Polymer Engineering & Science, 2013. **53**(5): p. 1099-1108.
15. Panáček, A., et al., *Silver colloid nanoparticles: synthesis, characterization, and their antibacterial activity*. The Journal of Physical Chemistry B, 2006. **110**(33): p. 16248-16253.
16. Sambhy, V., et al., *Silver bromide nanoparticle/polymer composites: dual action tunable antimicrobial materials*. Journal of the American Chemical Society, 2006. **128**(30): p. 9798-9808.
17. Hemmerlin, M., *Toxicité de deux types de nanoparticules d'argent sur la cyanobactérie modèle: Synechococcus elongatus PCC 7942*, 2014, Université de Lorraine.
18. Elumalai, E., et al., *Green synthesis of silver nanoparticle using Euphorbia hirta L and their antifungal activities*. Arch Appl Sci Res, 2010. **2**(6): p. 76-81.
19. Hansen, S.F., et al., *Categorization framework to aid exposure assessment of nanomaterials in consumer products*. Ecotoxicology, 2008. **17**(5): p. 438-447.
20. DAVID, W.L. and O.K. UDSEN, *Woodrow Wilson International Center for Scholars*. 2006.
21. Chaudhry, Q., et al., *Applications and implications of nanotechnologies for the food sector*. Food additives and contaminants, 2008. **25**(3): p. 241-258.
22. Ahmadi, J., *Application of different levels of silver nanoparticles in food on the performance and some blood parameters of broiler chickens*. World Applied Sciences Journal, 2009. **7**(1): p. 24-27.
23. Fondevila, M., et al., *Silver nanoparticles as a potential antimicrobial additive for weaned pigs*. Animal Feed Science and Technology, 2009. **150**(3-4): p. 259-269.
24. Lok, C.-N., et al., *Silver nanoparticles: partial oxidation and antibacterial activities*. JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry, 2007. **12**(4): p. 527-534.
25. Guitou, M.-A., *Nanoparticules et santé: des applications aux risques potentiels. L'exemple du TiO₂*.
26. Chuto, G. and P. Chaumet-Riffaud, *Les nanoparticules*. Médecine Nucléaire, 2010. **34**(6): p. 370-376.

27. Park, S.-H., et al., *Effects of silver nanoparticles on the fluidity of bilayer in phospholipid liposome*. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2005. **44**(2-3): p. 117-122.
28. Donaldson, K. and C.A. Poland, *Nanotoxicology: new insights into nanotubes*. Nature Nanotechnology, 2009. **4**(11): p. 708.
29. Ip, M., et al., *Antimicrobial activities of silver dressings: an in vitro comparison*. Journal of medical microbiology, 2006. **55**(1): p. 59-63.
30. Wei, L., et al., *Silver nanoparticles: synthesis, properties, and therapeutic applications*. Drug discovery today, 2015. **20**(5): p. 595-601.
31. Krutyakov, Y.A., et al., *Synthesis and properties of silver nanoparticles: advances and prospects*. Russian Chemical Reviews, 2008. **77**(3): p. 233.
32. Birla, S., et al., *Fabrication of silver nanoparticles by Phoma glomerata and its combined effect against Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa and Staphylococcus aureus*. Letters in Applied Microbiology, 2009. **48**(2): p. 173-179.
33. Singh, A., et al., *Multiphase TiO₂ nanoparticles by pulsed laser ablation of titanium in supercritical CO₂*. Applied Surface Science, 2019. **476**: p. 822-827.
34. CAUNE, J., *Enjeux et représentations de la science, de la technologie et de leurs usages*.
35. Dupont, A., et al., *Enhancement of material ablation using 248, 308, 532, 1064 nm laser pulse with a water film on the treated surface*. Journal of Applied Physics, 1995. **78**(3): p. 2022-2028.
36. Noack, J. and A. Vogel, *Laser-induced plasma formation in water at nanosecond to femtosecond time scales: calculation of thresholds, absorption coefficients, and energy density*. IEEE journal of quantum electronics, 1999. **35**(8): p. 1156-1167.
37. Simchi, A., et al., *Kinetics and mechanisms of nanoparticle formation and growth in vapor phase condensation process*. Materials & design, 2007. **28**(3): p. 850-856.
38. Feng, J., et al., *The highly enantioselective addition of indoles and pyrroles to isatins-derived N-Boc ketimines catalyzed by chiral phosphoric acids*. Chemical Communications, 2012. **48**(64): p. 8003-8005.
39. Bulgakova, N. and A. Bulgakov, *Pulsed laser ablation of solids: transition from normal vaporization to phase explosion*. Applied Physics A, 2001. **73**(2): p. 199-208.

Chapitre I : Rappel bibliographique

40. Shannon, M.A., et al., *Laser ablation mass removal versus incident power density during solid sampling for inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy*. Analytical Chemistry, 1995. **67**(24): p. 4522-4529.
41. Luo, C., et al., *The role of poly (ethylene glycol) in the formation of silver nanoparticles*. Journal of colloid and interface science, 2005. **288**(2): p. 444-448.
42. Shankar, S.S., et al., *Rapid synthesis of Au, Ag, and bimetallic Au core–Ag shell nanoparticles using Neem (Azadirachta indica) leaf broth*. Journal of colloid and interface science, 2004. **275**(2): p. 496-502.
43. Nair, S., et al., *Role of size scale of ZnO nanoparticles and microparticles on toxicity toward bacteria and osteoblast cancer cells*. Journal of Materials Science: Materials in Medicine, 2009. **20**(1): p. 235.
44. Willner, I., R. Baron, and B. Willner, *Growing metal nanoparticles by enzymes*. Advanced Materials, 2006. **18**(9): p. 1109-1120.
45. Shankar, S.S., et al., *Biological synthesis of triangular gold nanoprisms*. Nature materials, 2004. **3**(7): p. 482-488.
46. Pirtarighat, S., M. Ghannadnia, and S. Baghshahi, *Green synthesis of silver nanoparticles using the plant extract of Salvia spinosa grown in vitro and their antibacterial activity assessment*. Journal of Nanostructure in Chemistry, 2019. **9**(1): p. 1-9.
47. Ahmad, A., et al., *Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles using the fungus Fusarium oxysporum*. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2003. **28**(4): p. 313-318.
48. Beldjilali, M., et al., *Antibacterial and Antifungal Efficacy of Silver Nanoparticles Biosynthesized Using Leaf Extract of Thymus algeriensis*. Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials, 2019: p. 1-8.
49. Bhainsa, K.C. and S. D'souza, *Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles using the fungus Aspergillus fumigatus*. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2006. **47**(2): p. 160-164.
50. Basavaraja, S., et al., *Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles using the fungus Fusarium semitectum*. Materials Research Bulletin, 2008. **43**(5): p. 1164-1170.
51. Kalishwaralal, K., et al., *Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles by the culture supernatant of Bacillus licheniformis*. Materials letters, 2008. **62**(29): p. 4411-4413.

Chapitre I : Rappel bibliographique

52. Schulz, H. and M. Baranska, *Identification and quantification of valuable plant substances by IR and Raman spectroscopy*. Vibrational Spectroscopy, 2007. **43**(1): p. 13-25.
53. Bencheqroun, H.K., et al., *Activité antimicrobienne des huiles essentielles d'Artemisia mesatlantica, plante endémique du Maroc Antimicrobial activity of the essential oil of an endemic plant in Morocco Artemisia mesatlantica*. Bulletin de la société Royale des sciences de Liège, 2012.
54. DU, E., *Etude des propriétés biochimiques des polyphénols et tannins issus de Rosmarinus officinalis et Vicia faba L.*
55. Loo, Y.Y., et al., *Synthesis of silver nanoparticles by using tea leaf extract from Camellia sinensis*. International journal of nanomedicine, 2012. **7**: p. 4263.
56. Mason, C., et al., *Switchgrass (Panicum virgatum) extract mediated green synthesis of silver nanoparticles*. World Journal of Nano Science and Engineering, 2012. **2**(2): p. 47.
57. Durán, N., et al., *Mechanistic aspects of biosynthesis of silver nanoparticles by several Fusarium oxysporum strains*. Journal of nanobiotechnology, 2005. **3**(1): p. 8.
58. Liu, Y., et al., *Preparation of high-stable silver nanoparticle dispersion by using sodium alginate as a stabilizer under gamma radiation*. Radiation Physics and Chemistry, 2009. **78**(4): p. 251-255.
59. Naik, R.R., et al., *Biomimetic synthesis and patterning of silver nanoparticles*. Nature materials, 2002. **1**(3): p. 169.
60. Gardea-Torresdey, J.L., et al., *Alfalfa sprouts: a natural source for the synthesis of silver nanoparticles*. Langmuir, 2003. **19**(4): p. 1357-1361.
61. Shankar, S.S., A. Ahmad, and M. Sastry, *Geranium leaf assisted biosynthesis of silver nanoparticles*. Biotechnology progress, 2003. **19**(6): p. 1627-1631.
62. Kowshik, M., et al., *Extracellular synthesis of silver nanoparticles by a silver-tolerant yeast strain MKY3*. Nanotechnology, 2002. **14**(1): p. 95.
63. Mezni, A., *Synthèse et caractérisation de nanoparticules métalliques vers la nanomédecine*, 2013, Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier.
64. Rai, M., A. Yadav, and A. Gade, *Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials*. Biotechnology advances, 2009. **27**(1): p. 76-83.

Chapitre I : Rappel bibliographique

65. Drake, P.L. and K.J. Hazelwood, *Exposure-related health effects of silver and silver compounds: a review*. The Annals of occupational hygiene, 2005. **49**(7): p. 575-585.
66. Hussain, S.M. and J.J. Schlager, *Safety evaluation of silver nanoparticles: inhalation model for chronic exposure*. Toxicological sciences, 2009. **108**(2): p. 223-224.
67. Heister, A., et al., *Studies of QCD at \sqrt{s} centre-of-mass energies between 91 and 209 GeV*. 2004.
68. Ider, M., *Elaboration et caractérisation des nanomatériaux à base de métaux nobles*, 2017.
69. Hazarika, S.N., et al., *One-pot facile green synthesis of biocidal silver nanoparticles*. Materials Research Express, 2016. **3**(7): p. 075401.
70. Mollick, E., *The dynamics of crowdfunding: An exploratory study*. Journal of business venturing, 2014. **29**(1): p. 1-16.
71. Rai, M. and C. Posten, *Green biosynthesis of nanoparticles: mechanisms and applications* 2013: CABI.
72. Song, Q., et al., *Thermal stability of composite phase change material microcapsules incorporated with silver nano-particles*. Polymer, 2007. **48**(11): p. 3317-3323.
73. Savary, B., *Nanoargents: de la production à l'utilisation, quels sont les risques?* Hygiène et sécurité du travail, 2015: p. 58-62.
74. Parameswaranpillai, J., et al., *Nanocomposite Materials: Synthesis, Properties and Applications* 2016: CRC Press.
75. Borchani, K., *Développement d'un composite à base d'un polymère biodégradable et de fibres extraites de la plante d'Alfa*, 2016, Lyon.

Chapitre II :

Matériels et méthodes

Introduction

Cette partie décrit l'ensemble des manipulations qui sont effectuées dans le cadre de la préparation des nanoparticules d'argent. Le but de ce chapitre est de présenter la méthode de synthèse des NPs d'argent par chimie verte utilisée dans notre travail avec des tailles et des formes bien contrôlées qui restent toujours un défi majeur. La voie verte des nanoparticules métalliques (NPs) a attiré une attention considérable ces dernières années car ces protocoles sont peu coûteux, et utilisation de matériaux moins toxiques donc plus respectueux de l'environnement que les méthodes de synthèse standards.

La partie expérimentale se compose de trois ensembles, le premier représente une description de la plante utilisé comme source de bioréducteur. La seconde partie est consacrée à la synthèse des nanoparticules d'argent par l'extrait de la plante. Le troisième regroupe l'ensemble des techniques de caractérisation du produit synthétisé.

I. Matériels

I.1. Matériels végétales

LA MENTHE AQUATIQUE : *Mentha aquatica* L

a) Définition

Mantha aquatica L (domrane) est une espèce de plante herbacée vivace de la famille des *Menthes Lamiacées*. C'est une plante semi-aquatique, elle pousse en des zones humides et lieux frais, et dans la vase, les argiles et les tourbes, originaire d'Europe, d'Afrique du Nord, du Proche-Orient et du Caucase. La floraison se déroule de juin à septembre, suivant la région.



Figure 14: Représentation schématique et image de *Mantha aquatica L*

b) Compositions chimiques des feuilles de *Mantha aquatica L*

Tableau 05 : Compositions chimiques de *Mantha aquatica L* [1]

Stérol et stéroïdes	Coumarine	Tanins	Alcaloïdes	Huile essentielle, Acides gras
présence a une quantité importante	présence a une quantité importante	présence a une quantité importante	présence a une quantité faible	présence a une quantité faible

II. Méthodes

II.1. Préparation de l'extrait

Nous avons lavé les feuilles de *Mantha aquatica L* à l'eau du robinet puis à l'eau distillée pour éliminer les impuretés, après nous avons laissé les feuilles séchées. Ainsi, 2,5g de matériel végétal sont mis en contact avec 100 mL d'eau distillé dans un ballon monocaule surmonté d'un réfrigérant, et le mélange a subi un chauffage (50 °C) et une agitation, une fois le mélange ébouilli, attendre 10 minutes et retirer du chauffe ballon. Également, la solution est filtrée. Ensuite, l'extrait est conservé dans réfrigérant.



Figure 15: La préparation de l'extrait

II.2. La biosynthèse des nanoparticules d'argent

II.2.1. Préparation des AgNPs par différents rapports d'extrait et d'AgNO₃

Dix essais on a réalisés, dans chaque essai on a modifié le pourcentage, et utilisé un certain volume d'extrait de la plante puis ajouté solution d'AgNO₃ de concentration connue (10⁻³ M) jusqu'à le trait de 10 mL à temps régulier. Les expériences faites comme ci-dessous :

Tableau 06 : Les différentes conditions utilisées dans l'expérience de formation des AgNPs

Les échantillons	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
les pourcentages	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %	8 %	9 %	10 %
Volumes d'extrait (mL)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Volumes d'AgNO ₃ (mL)	9,9	9,8	9,7	9,6	9,5	9,4	9,3	9,2	9,1	9

Les solutions on a placées dans des tubes à essai pour surveiller le changement de couleur et la formation des AgNPs par l'appareil UV-Visible après un temps régulier.



Figure 16 : Les tubes des différents pourcentages pour la formation des AgNPs

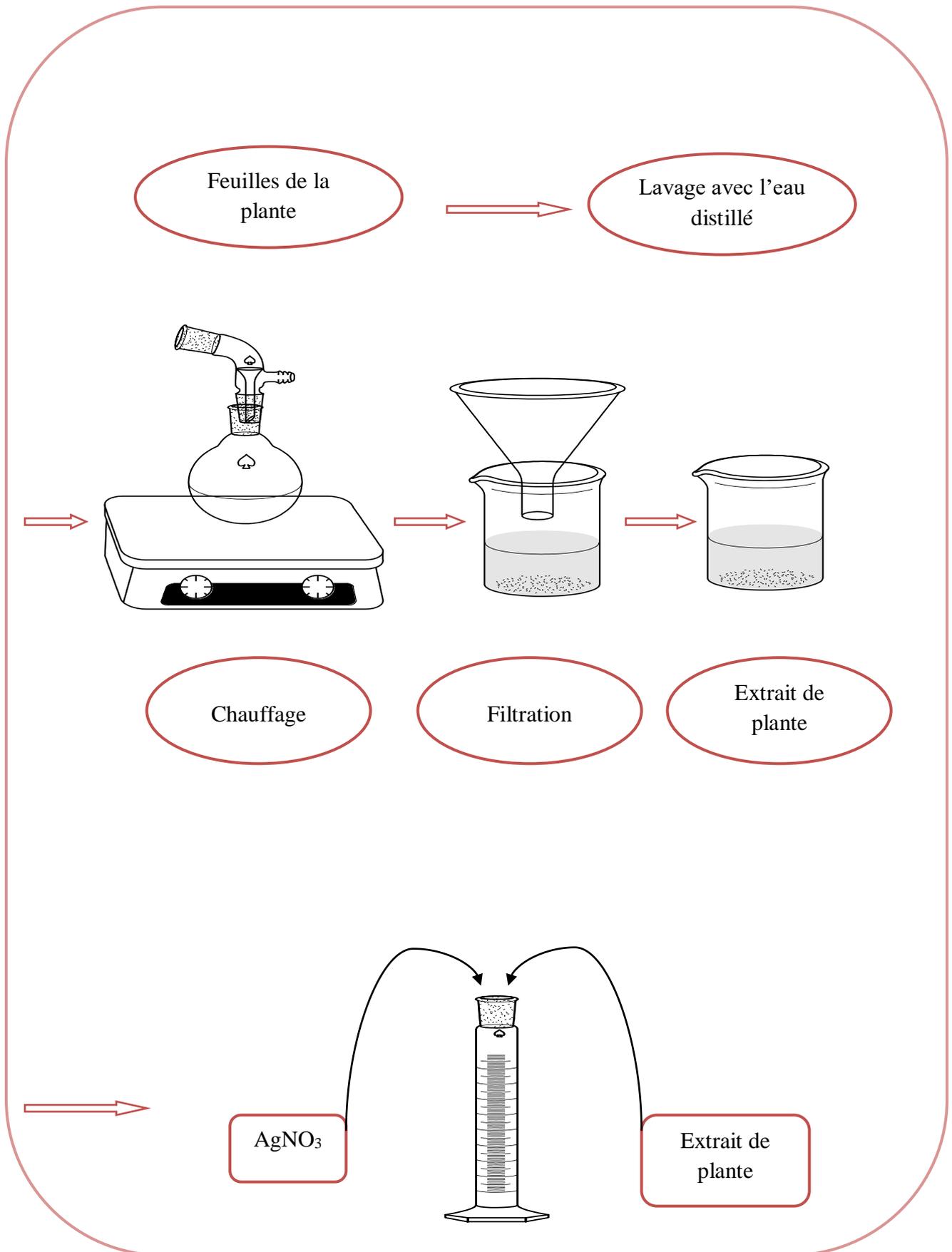


Figure 17 : Schéma représente protocole de la biosynthèse d'AgNPs

II.2.2. Préparation des AgNPs de rapport 10% (1/9) par différentes concentrations d'AgNO₃

Pour suivre l'influence de concentration d'AgNO₃ [AgNO₃] sur la formation des AgNPs, on a préparé des échantillons de rapport (1/9) des concentrations d'AgNO₃ différentes dans chaque échantillon.

Dans 10 tubes à essai, on a versé dans chaque tube 1 mL d'extrait et 9 mL de solution AgNO₃ de concentrations différentes, comme le tableau suivant :

Tableau 07 : Les concentrations utilisées pour préparer les échantillons de rapport (1/9) pour former des AgNPs

Tubes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
[AgNO ₃] g/mol	10 ⁻³	2. 10 ⁻³	3. 10 ⁻³	4. 10 ⁻³	5. 10 ⁻³	6. 10 ⁻³	7. 10 ⁻³	8. 10 ⁻³	9. 10 ⁻³	10 ⁻²

En suite, on a suivi le changement de couleur des échantillons et la formation des AgNPs par l'appareil UV-Visible.

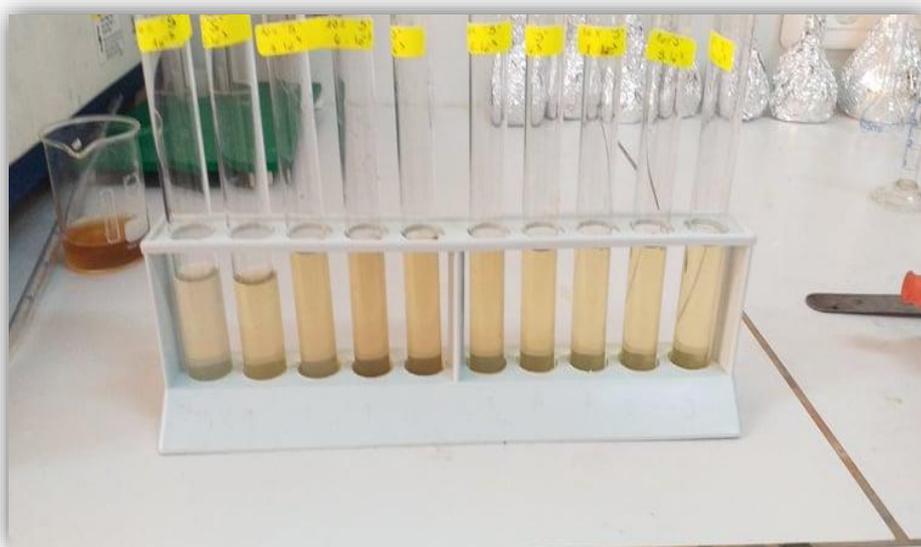


Figure 18 : Les tubes à essai de rapport (1/9) par différentes concentrations d'AgNO₃

III. Caractérisations

III.1. UV-Visible

La spectroscopie UV-Visible est la méthode utilisée pour surveiller La résonance plasmonique de surface (SPR) des nanoparticules d'argent à intervalle de temps régulier a cause des propriétés optiques des nanoparticules métalliques[2]. L'appareil utilisé est spectrophotomètre à double faisceau. L'analyse est effectuée entre 400 et 450 nm.

Les spectres d'absorbance des échantillons analysés des nanoparticules d'argent sont observés.

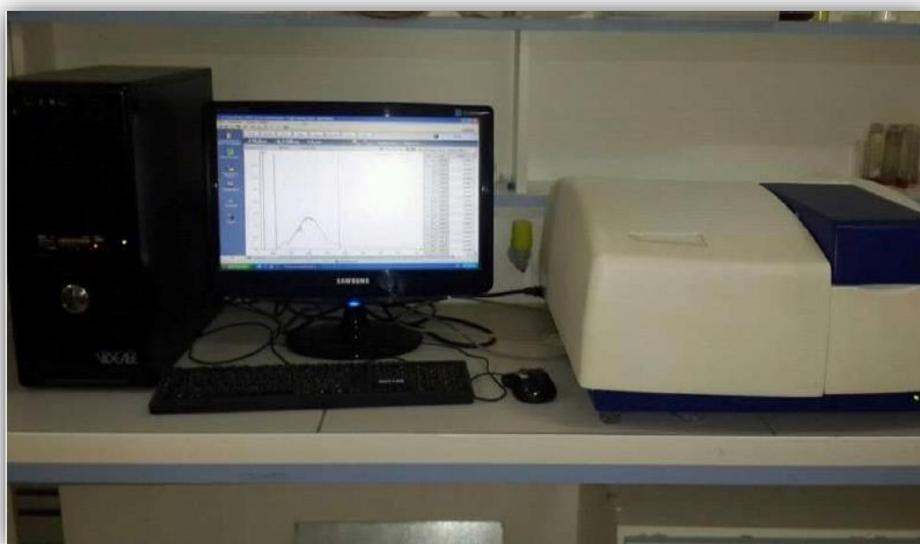


Figure 19 : Appareil d'UV-Visible de l'université d'Ain témouchent

IV. Application

IV.1. La détection des métaux lourds par les nanoparticules d'argent

Pour voir l'efficacité des nanoparticules d'argent dans la détection des métaux lourds, on été réalisé deux expériences de deux métaux lourds différents.

On a prélevé 3 mL AgNPs préparées par le rapport (1/9) de $[AgNO_3] = 4 \cdot 10^{-3}$ M, avec 0,5 mL d'eau distillé dans un tube à essai, après 10 min on a analysé par l'UV-Visible pour voir l'état des bandes obtenues.

Expérience 1

Pour la synthèse de détection des métaux lourds par les AgNPs ont été préparé différentes concentrations de solution de Chlorure de zinc « ZnCl_2 ».

Tableau 08 : Les concentrations des solutions « ZnCl_2 » utilisés

$[\text{ZnCl}_2]$ μM	10	20	30	40	60	100

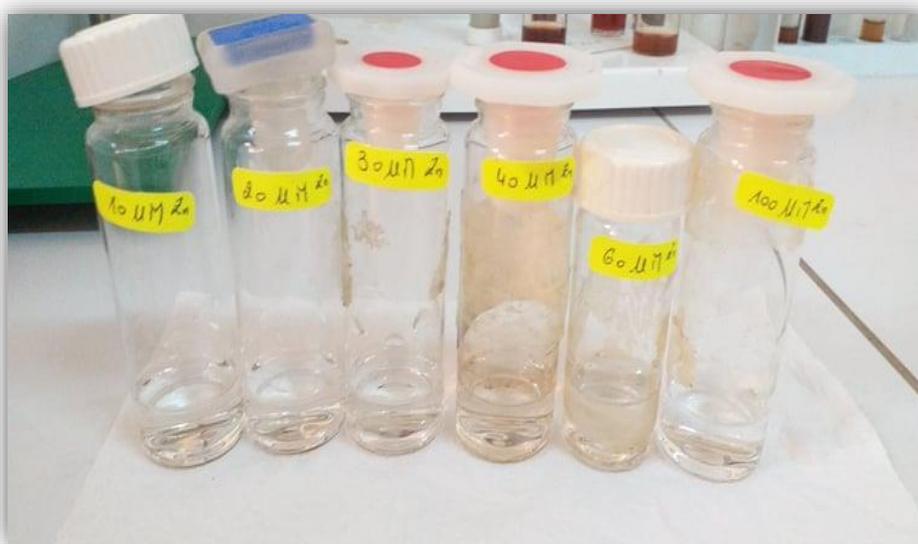


Figure 20 : Les solutions « ZnCl_2 » préparées

On a versée 3 mL des AgNPs préparées avec 0,5 mL de solution « ZnCl_2 » de concentrations différentes (tableau 09), dans des tubes à essai. Après 10 min on a commencé l'analyse des échantillons par l'appareil UV-Visible.

Expérience 2

Pour la synthèse de détection des métaux lourds par les AgNPs ont été préparé différentes concentrations de solution de Chlorure de baryum « BaCl₂ ».

Tableau 09 : Les concentrations des solutions « BaCl₂ » utilisés

[BaCl ₂] μM	20	30	40	60	100
----------------------------	----	----	----	----	-----



Figure 21 : Les solutions « BaCl₂ » préparées

On a versée 3 mL d'AgNPs préparée avec 0,5 mL de solution « BaCl₂ » de concentrations différentes (tableau 10), dans des tubes à essai. Après 10 min on a commencé l'analyse des échantillons par l'appareil UV-Visible.

Conclusion

En conclusion, nous avons synthétisé des nanoparticules d'argent par une synthèse écologique respectueux de l'environnement par la réaction d'AgNO₃ dans l'extrait de feuille de *Mantha aquatica L.* Nous avons surveillé la formation des nanoparticules d'argent par la méthode de caractérisation : Spectroscopie UV visible.

Nous avons activé un protocole surveillant des capacités des AgNPs sur la détection des métaux lourds.

A la fin, la synthèse a été suivie à intervalle de temps régulier.

Références

1. BENOMARI, F.Z., *CARACTERISATION CHIMIQUE ET ACTIVITES BIOLOGIQUES DES VOLATILS DE Mentha aquaticaL.(DOMRANE) DE L'OUEST ALGERIEN*, 2014.
2. Grady, N.K., N.J. Halas, and P. Nordlander, *Influence of dielectric function properties on the optical response of plasmon resonant metallic nanoparticles*. Chemical Physics Letters, 2004. **399**(1-3): p. 167-171.

Chapitre III :

Résultats et discussion

Introduction

Puisque, Les nanoparticules métalliques ont été synthétisées par des techniques diverses, principalement basées sur la réduction des ions métalliques dans le milieu aqueux ou organique[1]. Donc, dans ce chapitre on va choisi d'utiliser la méthode biologique qui basée sur la réduction des ions d'argent utilisant les biomolécules comme un agent réducteur et stabilisant. C'est également la technique la plus distinctive et la plus répandue pour former des solutions colloïdales des nanoparticules métalliques, Cela est dû à ses propriétés exemplaires de contrôle de la taille et de la forme.

I. Effet du rapport d'extrait de plante et de la solution de nitrate d'argent

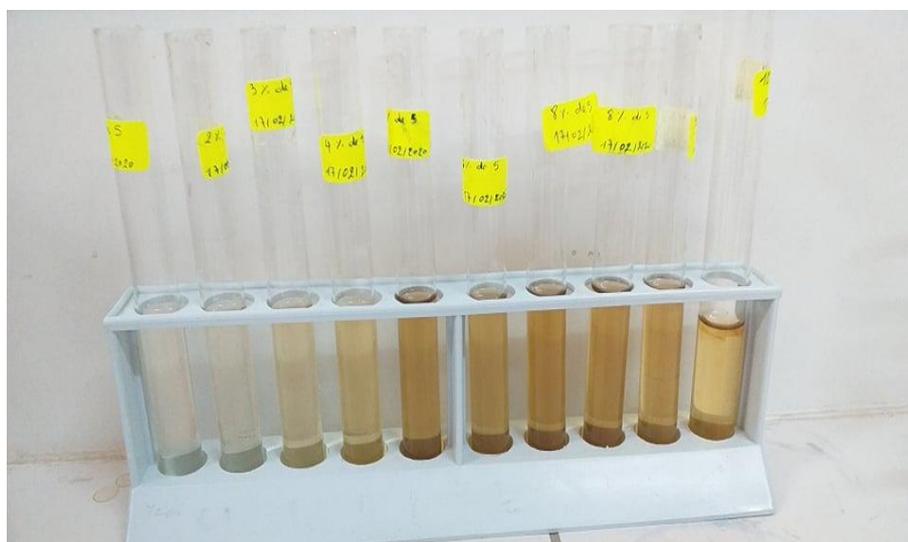
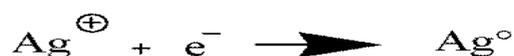


Figure 22 : Changement de couleur en fonction du temps de différents rapports d'extrait de plante

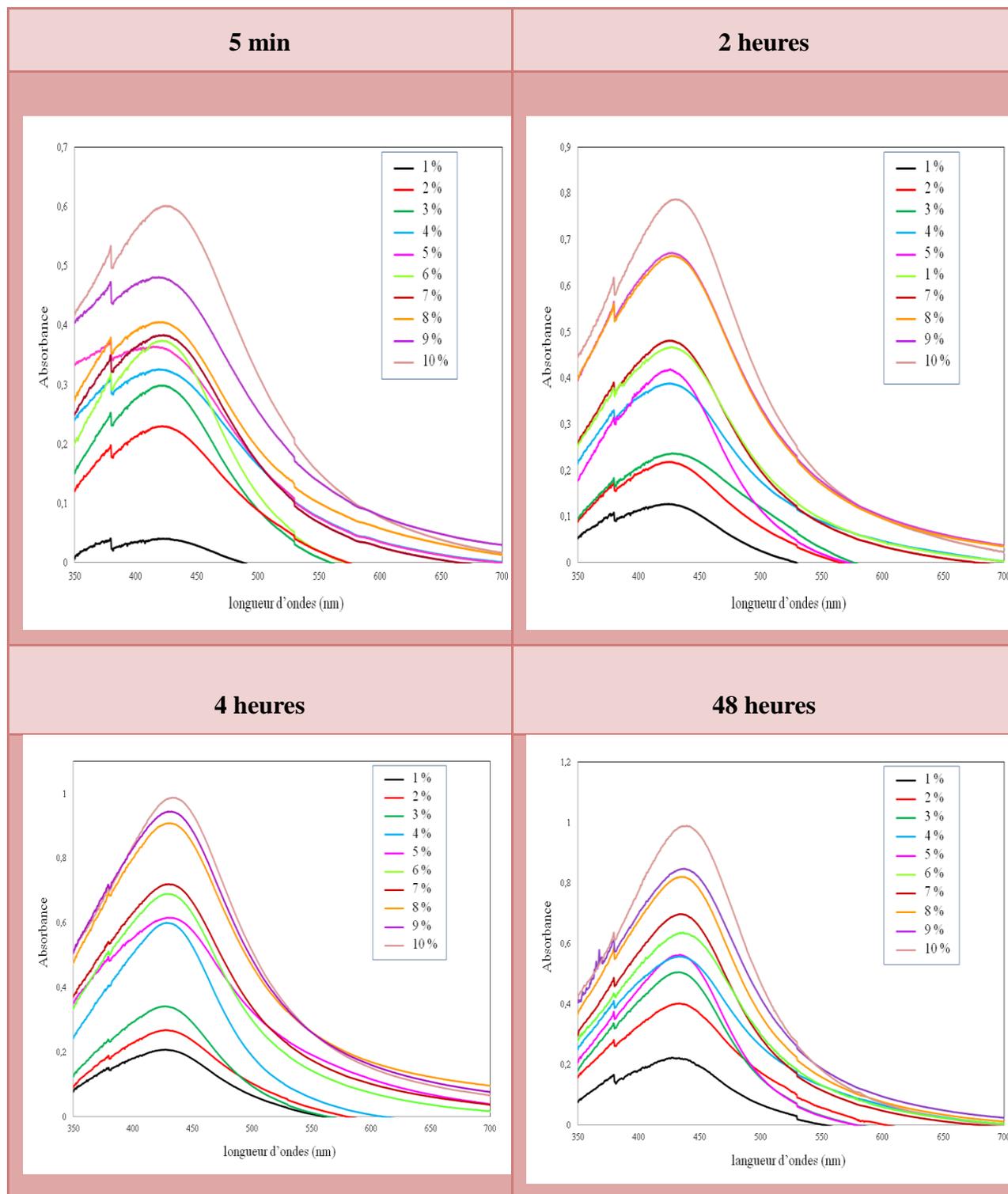
La réaction a été réalisée en faisant varier la dose d'extrait de feuilles de la plante *Mantha aquatica L* et de solution AgNO_3 de 1 à 10% en gardant paramètres constants à 48 heures de temps d'exposition pour l' AgNO_3 (10^{-3} M).

Dans la présente étude, Le changement de couleur du jaune clair au brun a été remarqué à 3 min d'addition d'extrait de plante à la solution de nitrate d'argent. La première solution a changé est de rapport 10 %, L'augmentation de l'intensité de la couleur a confirmé la réduction des ions Ag et la formation des AgNPs. Il a été noté que plus les solutions restaient longtemps plus la couleur être foncée.



Chapitre III : Résultats et discussion

Tableau 10 : Spectres UV-Vis des AgNPs de différents rapports d'extrait et d'AgNO₃ à différent temps.



Chapitre III : Résultats et discussion

Les pics obtenus dans les 420–440 confirmés la biosynthèse des nanoparticules d'argent. Il a été constaté que l'intensité d'absorption la plus élevée était de 10%, quand son intensité augmente constamment avec le temps, cela indiquant une amélioration de la formation des AgNPs. Comme lors de la lecture sur le spectre après 5 minutes, l'intensité d'absorption était égale à 0,6, et avec le temps et une augmentation notable de l'intensité, jusqu'à une valeur de 1 à 4 heures, puis elle est restée constante.

Ce phénomène est appelé résonance plasmonique de surface (SPR). Le sommet des nanoparticules d'argent est sensible avec une absorbance élevée dans longueur d'onde à 430 nm et cela a confirmé la formation des AgNPs [2]. Les plasmons de surface sont une oscillation collective des électrons libres à la surface d'un métal due à un couplage avec des photons incidents.

II. La cinétique de formation des AgNPs

Pour l'étude cinétique, nous avons choisi la solution de 10%, à cause de leur spectre UV-Vis net et intense, qui indiquait la formation des AgNPs monodispersé.

Tableau 11 : Le changement de couleur de la solution de 10 % pendant 48h.

Le temps	0 min	3 min	5 min	2 heures	4 heures	48 heures
Les tubes						
Le changement	Aucun changement	Couleur devient jaune	Couleur devient brun clair	Couleur devient brun	Couleur devient brun colloïdal	Couleur devient brun colloïdal

Chapitre III : Résultats et discussion

La transformation d'AgNO₃ en AgNPs a été remarquée par le changement de couleur de la solution.

La solution aqueuse passe du jaune à 3 min au brun colloïdal à 48 heures, en raison des propriétés optiques des AgNPs, cette phénomène est appelé résonance plasmonique de surface (SPR), ce que nous expliquons graphiquement par les spectres UV-Vis.

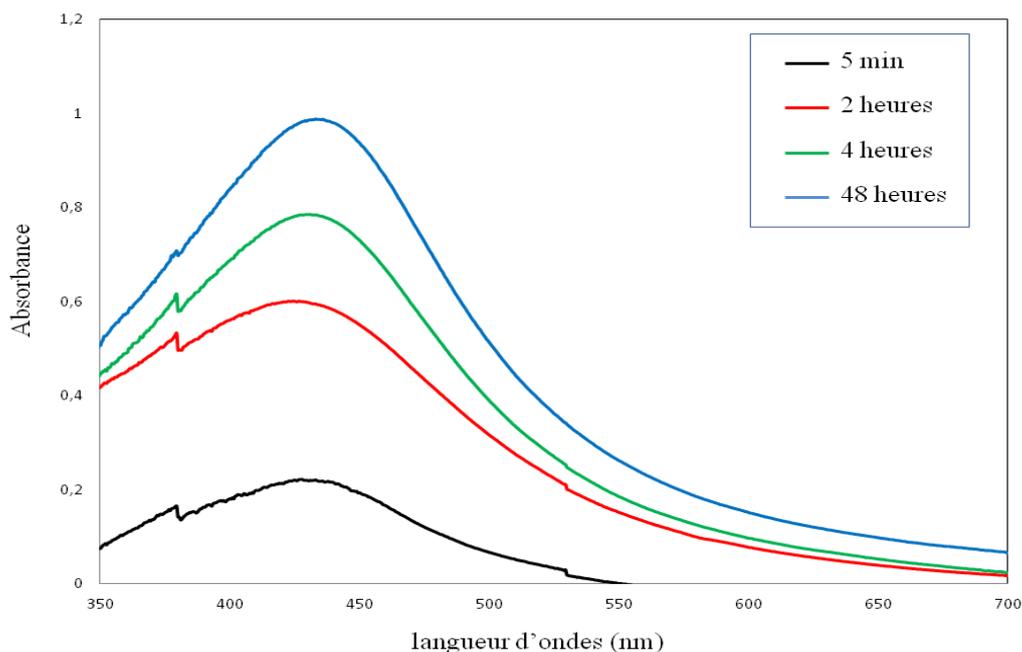


Figure 23 : Les spectres UV-Vis des AgNPs de solution 10 % au cours du temps différents à température ambiante

Il a été observé qu'avec l'augmentation du temps, le pic devient net et plus intense, et a été noté une variation des valeurs d'absorbance, signifie que les changements sont le nombre et taille des particules. Donc, quand la valeur d'absorbance été élevé indiqué que la réduction d'AgNO₃ et la formation des AgNPs est continue encore, et la concentration des AgNPs augmente, et pour la pic intense indiqué que leur taille sont monodispersés.

Il a également été remarqué que la bande de résonance plasmonique été apparaît après 5 min à 428 nm jusqu'à 433 nm après 48h (tableau 12).

Chapitre III : Résultats et discussion

Tableau 12 : Les valeurs des pics caractéristiques.

	Absorbance	Longueurs d'onde (nm)
5 min	0,2227	428
2 heures	0,6001	426,5
4 heures	0,7859	431,5
48 heures	0,9888	433

➤ Le mécanisme de formation des AgNPs

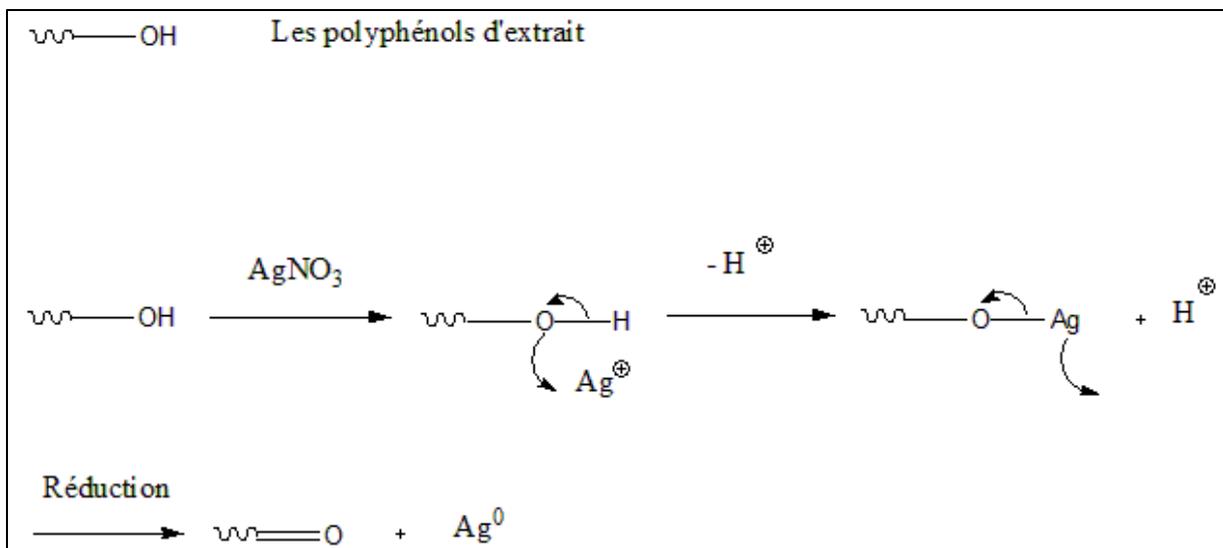


Figure 24 : Le mécanisme de formation des AgNPs

Les AgNPs stabilisent par les groupements phénoliques des charges négatives. A la fin de la formation et stabilisant, les AgNPs prennent une forme sphérique.

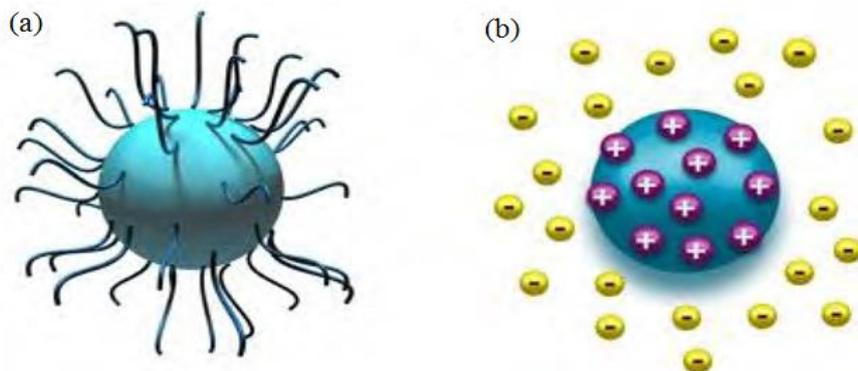


Figure 25 : Stabilité des AgNPs

III. L'influence de la concentration d'AgNO₃ sur la formation des AgNPs

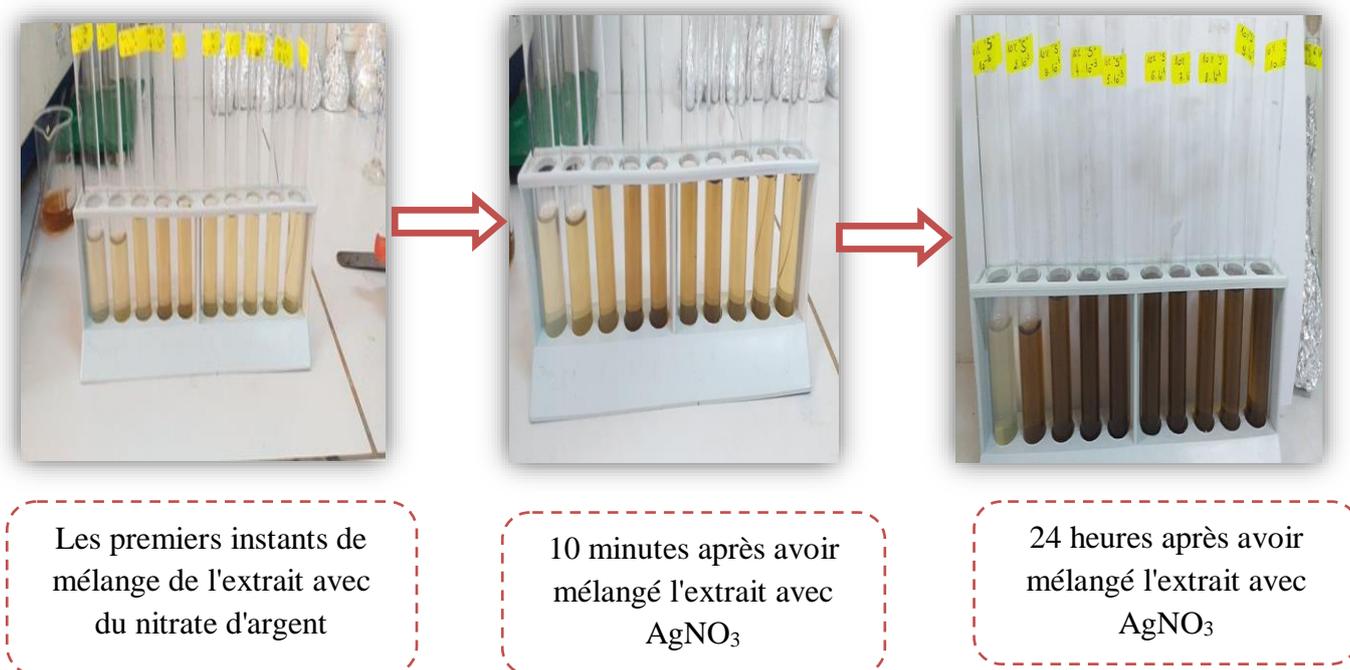


Figure 26 : Changement de couleur en fonction du temps de différentes concentrations d'AgNO₃

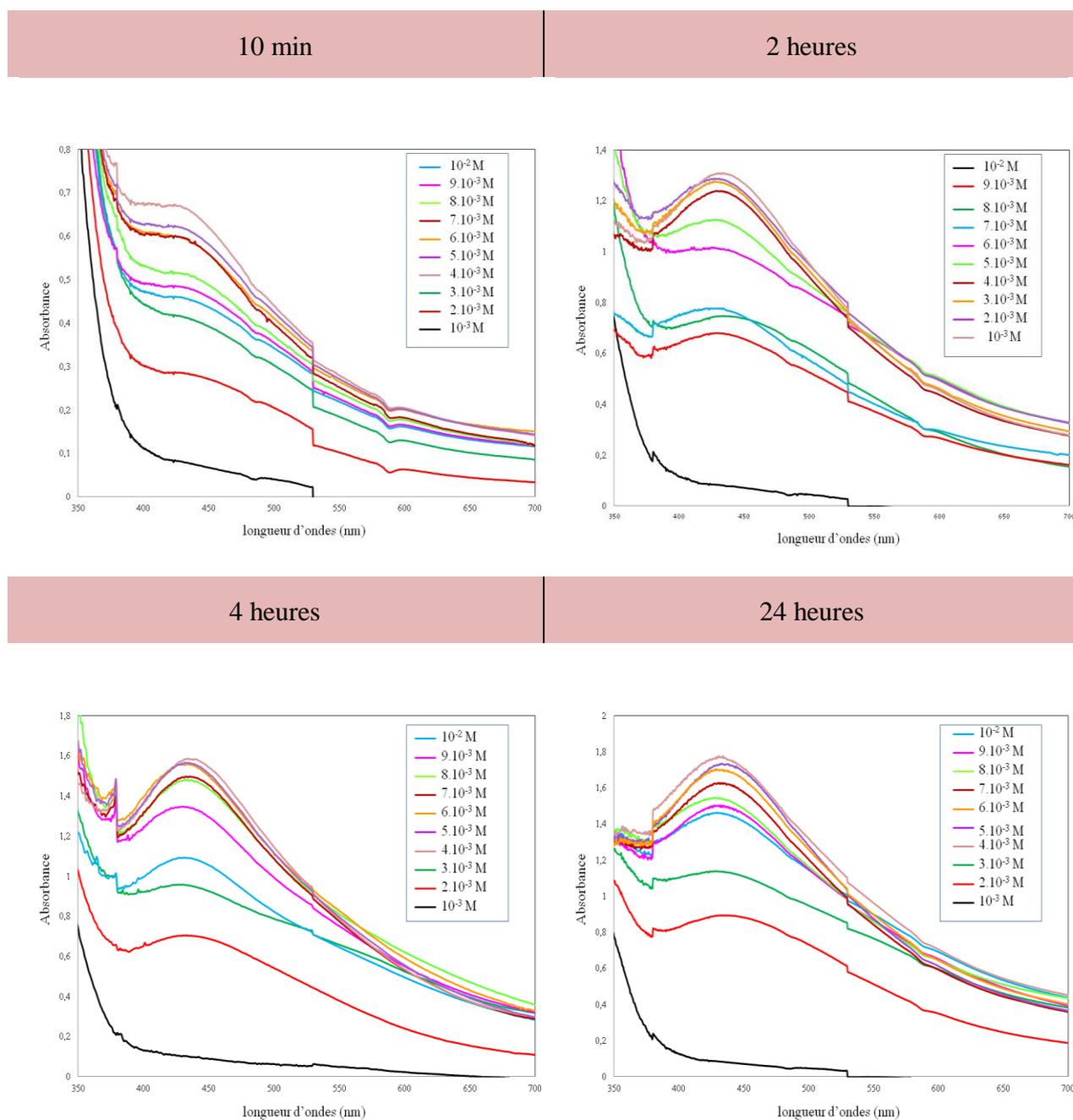
Après avoir préparé les AgNPs de rapport 10% (1/9) en ajoutant différentes concentrations d'AgNO₃ (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 M) à l'extrait de plante en gardant sa concentration constante de 1 ml. Les solutions ont été décolorées de jaune pâle au brun jaunâtre et finalement au brun colloïdal indiquant la formation des nanoparticules argent.

Persistance d'un changement de couleur des solutions du début de la réaction jusqu'à la fin du fait de l'excitation des vibrations du plasma de surface dans les nanoparticules d'argent.

Lorsque les solutions ont été mélangées en même temps, Un changement de couleur rapide a été remarqué pour le tube correspondant à la concentration ($4 \cdot 10^{-3}$ M), suivi des tubes ($5 \cdot 10^{-3}$ M, $6 \cdot 10^{-3}$ M, $7 \cdot 10^{-3}$ M). Après deux heures, des changements de couleur parallèles ont été observés aux trois concentrations suivantes ($4 \cdot 10^{-3}$, $5 \cdot 10^{-3}$, $6 \cdot 10^{-3}$ M).

Chapitre III : Résultats et discussion

Tableau 13 : Spectres UV-Vis des AgNPs de différentes concentrations d'AgNO₃.



Il a été observé qu'une augmentation de la concentration d'AgNO₃ entraînait une augmentation progressive de l'absorption maximale entre 420 et 440 nm pour toutes les concentrations, Cela est dû à la propriété des nanoparticules d'Ag, en raison de leur surface de glissement Gamme d'absorption de résonance. Fait intéressant, et ce qui a attiré l'attention a deux heures plus tard, les ondes d'absorption ont correspondu aux concentrations de (4.10⁻³, 5.10⁻³, 6.10⁻³) M, et ils ont continué d'augmenter à la même valeur au fil du temps.

IV. Application

IV.1. La détection des métaux lourds par les nanoparticules d'argent

IV.1.1. La détection de métal « Zn »

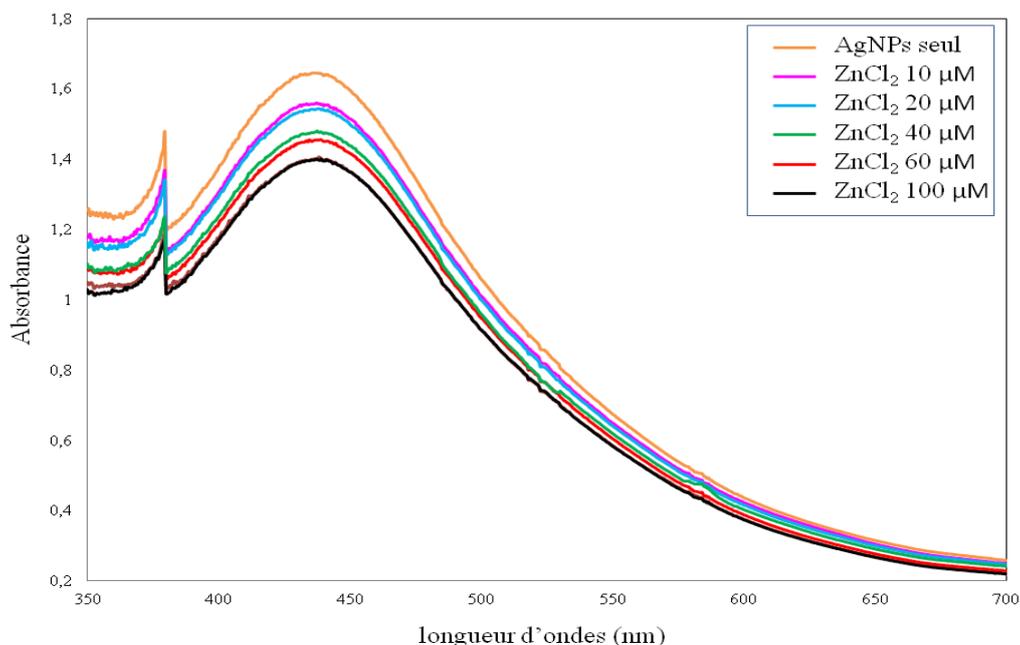


Figure 27 : Les spectres UV-Vis de détection de métal « Zn »

Par addition de différentes concentrations de chlorure de zinc (10, 20, 40, 60, 100) μM a les nanoparticules d'argent, en gardant le volume des AgNPs constant dans toutes les solutions. Lors du mélange, la couleur des solutions était transparente après un certain temps, une précipitation est apparue au fond des tubes indiquant une diminution de concentration des AgNPs dans la solution. Il est apparu que plus la concentration de « ZnCl_2 » était grande, plus la précipitation augmentera.

Selon le spectre, Il a été remarqué qu'une augmentation de la concentration de « ZnCl_2 » entraînait une baisse de spectre, le pic maximum d'absorption est (1.6439) correspondant à une longueur d'onde égale à 438 nm pour AgNPs seul. Ensuite, Plus la concentration de « ZnCl_2 » est élevée, plus la courbe est basse.

IV.1.2. La détection de métal « Ba »

Pour la deuxième expérience de détection de métal « Ba » par les AgNPs, il a été observé le changement de couleur où il est devenu plus clair et transparent, et un précipité au fond du tube.

Les spectres d'UV-Visible été présenté ci-dessous.

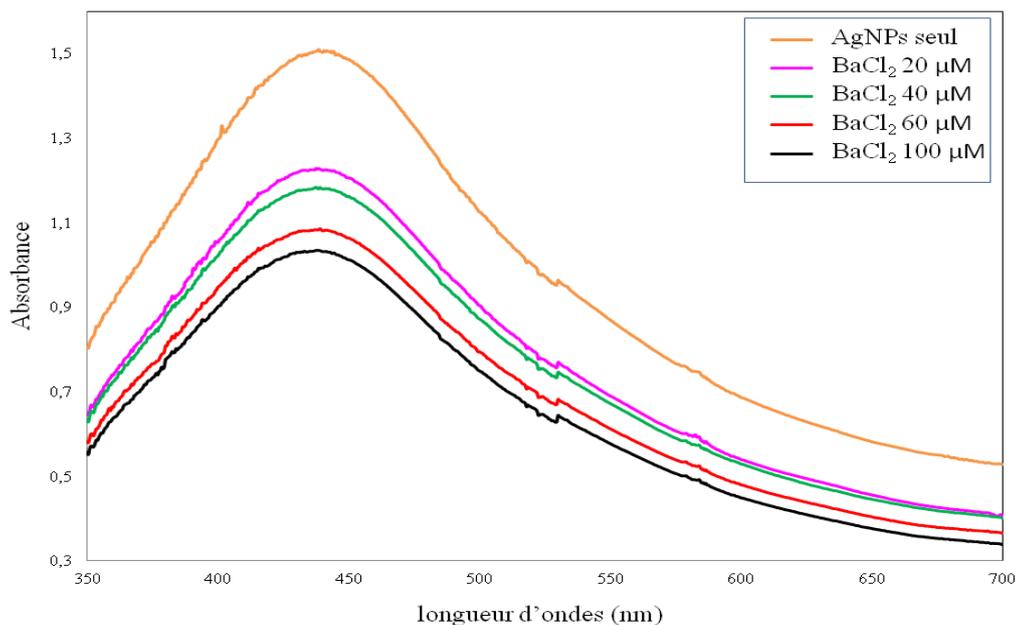


Figure 28 : Les spectres UV-Vis de détection de métal « Ba »

Selon les spectres, il a noté que les pics apparaissent à 438 nm, il a été remarqué aussi qu'il y a une diminution de pic des AgNPs relié à l'augmentation de concentration de solution « BaCl ».

➤ Explication

Pour les deux spectres, il a été noté des dégradations au niveau d'absorbance causé par l'incorporation des AgNPs et le métal lourd présent dans la solution, ce phénomène se fait a cause de la charge négative des AgNPs résultant des électrons présent au surface, et la charge positive de métal présent qui a une charge positive « Zn²⁺, Ba²⁺ ».

Chapitre III : Résultats et discussion

Lors de la liaison, la masse augmente (nanoparticules + métal), donc la précipitation se produit, ce qui provoque une diminution de pic caractéristique des nanoparticules qui été lue par les spectres UV-Vis.

Conclusion

Dans cette partie d'étude ont été déterminé la formation des AgNPs qui synthétisé par l'extrait du plante.

Nous avons découvert que les nanoparticules se formés par voie biologique en peu de temps. Les concentrations de nitrate d'argent et les rapports des réactifs ont un effet sur la formation des AgNPs. Ces AgNPs formés stabilisés par les groupements phénoliques d'extrait.

Nous avons découvert aussi que ces AgNPs ont une capacité pour détectés les métaux lourds dans les solutions, Ces propriétés lui permettent d'être une bonne substance dans l'industrie.

Références

1. Ider, M., *Elaboration et caractérisation des nanomatériaux à base de métaux nobles*, 2017.
2. Raja, S., V. Ramesh, and V. Thivaharan, *Green biosynthesis of silver nanoparticles using Calliandra haematocephala leaf extract, their antibacterial activity and hydrogen peroxide sensing capability*. Arabian journal of chemistry, 2017. **10**(2): p. 253-261.

Conclusion générale

Conclusion général

En conclusion, Des nanoparticules d'argent ont été synthétisées avec succès à l'aide d'un protocole écologique respectueux de l'environnement et pratique.

La synthèse des nanoparticules d'argent a été faite en utilisant d'extrait de plante *Mentha aquatica L* comme un agent de réduction de nitrate d'argent.

La caractérisation se fait à l'aide de l'analyse UV-Visible pour surveiller La résonance plasmonique de surface (SPR), les pics UV-Visible a été observées pour les AgNPs entres 426 et 433 nm. Avec une observation de changement de couleur vers le brun.

Les AgNPs ont montré une bonne capacité de détection des métaux lourds dans l'environnement comme le « Zn » et « Ba ».

Enfin, la synthèse verte des AgNPs à l'aide d'extrait de plante *Mentha aquatica L* s'est non toxique, respectueuse de l'environnement et pourrait convenir aux applications sûr pour la vie environnementale.

Résumé :

La nanotechnologie est un domaine multidisciplinaire, car elle combine entre : la chimie, la physique et la biologie, entre autres. Dans cette étude, la biosynthèse de nanoparticules d'argent est réalisée en utilisant l'extrait de feuilles de *Mantha aquatica L* (domrane) par différents rapports d'extrait et $AgNO_3$ et différentes concentrations. Cette technique est utilisée comme méthodes écologiques et rentables. Les nanoparticules obtenues ont été caractérisé par spectroscopie UV-visible, la position de la bande plasmons se situe entre 426 et 433 nm, avec une augmentation de l'intensité avec le temps, cela indiquant la formation des AgNPs. Parmi les propriétés des AgNPs la détection des métaux lourds à savoir « Zinc » et « Barium ».

Abstract :

Nanotechnology is a multidisciplinary field, because it combines between: chemistry, physics and biology, among others. In this study, the biosynthesis of silver nanoparticles is performed using *Mantha aquatica L* (domrane) leaf extract at different ratios of extract and $AgNO_3$ and different concentrations. This technique is used as environmentally friendly and cost effective methods. The nanoparticles obtained were characterized by UV-visible spectroscopy, the position of the plasmon band is between 426 and 433 nm, with an increase in intensity over time, indicating the formation of AgNPs. Among the properties of AgNPs, the detection of heavy metals, namely « Zinc » and « Barium ».

ملخص :

تعد تقنية النانو مجالاً متعدد التخصصات ، لأنها تجمع بين: الكيمياء والفيزياء والبيولوجيا ، مع بعض. في هذه الدراسة ، تم إجراء التخليق الحيوي لجسيمات الفضة النانوية باستخدام مستخلص أوراق مانثا أكواتيكا (دومران) بنسب مختلفة من المستخلص و من محلول نترات الفضة وبتراكيز مختلفة. تستخدم هذه التقنية كطرق صديقة للبيئة وفعالة من حيث التكلفة. الجسيمات النانوية التي تم الحصول عليها تم تمييزها بواسطة التحليل الطيفي المرئي للأشعة فوق البنفسجية ، وكان موضع الشريط بين 426 و 433 نانومتر ، مع زيادة في الشدة بمرور الوقت ، مما يشير إلى تكوين الجسيمات النانوية. من بين خصائص هذه الجسيمات النانوية، الكشف عن المعادن الثقيلة مثل « الزنك » و « الباريوم » .