

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique  
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب  
Université –Ain Témouchent- Belhadj Bouchaib  
Faculté des Sciences et de Technologie  
Département de Science de la Matière



Projet de Fin de Cycle  
Pour l'obtention du diplôme de Master en : Chimie Macromoléculaire  
Domaine : Science de la Matière  
Filière : Chimie  
Spécialité : Chimie Macromoléculaire  
Thème

***Biosynthèse et applications des  
nanoparticules d'argent***

**Présenter par :**

Melle : MATALLAH Ikram

Mr : YOUSFI Mohamed Mahdi

**Soutenue le : 15/07/2021**

**Devant le jury composé de :**

Dr. FEKIH Nadia	M.C.B	UAT.B.B (Ain Témouchent)	Président
Dr. CHAKER Hanane	M.C.A	UAT.B.B (Ain Témouchent)	Examinatrice
Dr. BOUSSALEM Smain	Professeur	UAT.B.B (Ain Témouchent)	Encadreur

**Année universitaire 2020/2021**

# Remerciement

*Louange à Dieu qui nos permis d'accéder au savoir et nos faciliter l'étude et la compréhension que nos ont inculqué notre professeur avec la ferme détermination de nos conduire vers une réussite certaine.*

*Nous souhaiterions tout d'abord remercier l'Université de - Belhadj Bouchaïb - Aïn Témouchent en général et à laboratoire des sciences en particulier qui nous ont offert l'opportunité d'effectuer ce travail dans les meilleures conditions.*

*Nous aimerions exprimer notre admiration sans limite pour notre professeur **BOUSSALEM Smain**. Il nous a fait une grande confiance en nous proposant cette étude et en acceptant d'encadrer notre travail. Nous lui sommes extrêmement reconnaissants pour nous avoir consacré ce temps.*

*Nous remercions les membres du jury **Dr. FKIH Nadia** et **Dr. CHAKER Hanane** de nous avoir honorés en acceptant de juger notre travail.*

*Un merci spécial et sincère à **TAIEB AMARA Yousra**, pour son soutien, ses conseils et son suivi de l'avancement de nos travaux avec sincérité, que ce soit de près ou de loin.*

*Je remercie également le **Dr. Mohammed BELDJILALI** pour son orientation si prometteuse, ses efforts réels.*

*Nous voudrions remercier également l'ensemble des membres du laboratoire pour leur gentillesse et leur soutien.*

*Merci également à tous ceux qui, un jour ou l'autre, nous ont offert leur amitié et des moments inoubliables tout au long de notre cursus universitaire.*

*Enfin, Nous ne pourrions oublier de remercier du fond du cœur nos parents, nos frères, nos sœurs, nos familles et nos amis pour nous avoir toujours permis de suivre le chemin des études. Merci pour leurs soutiens, leurs encouragements et surtout leur amour qui a toujours été une source motivante.*

*Merci*

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail*

*Pour ma Mère qui représente la lumière de notre existence L'étoile brillante de notre réjouissance et ma vie, Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.*

*Pour mon père qui il y a Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous, Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.*

*A Mes chers frères et sœur: Abd Samed, Mohamed Riyad et Hanane.*

*A mon collègue Mohamed Mahdi qui a partagé le travail avec moi.*

*A mon oncle Abd Hafide, son chère épouse et leur fille Nesrine.*

*A toute ma famille qui m'a soutenu avec encouragements et les prières.*

*A mes chères copines : Sabah, Sabrina, Aya, Abir, Houaria, Hayat et Zineb Mercie pour le courage, les sourires, le bonheur, et tous les bons moments qu'on a passé ensemble.*

*A mes amies : Madjid et Fath Allah pour leurs encouragements et leurs soutiens.*

*Ikram*

## Dédicace

*Mon cher père, école de mon enfance et berceau de ma culture. Qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que la volonté fait toujours les bonnes. Tes conseils ont toujours ma raison de vivre, mes sources de force, d'inspiration, de courage et d'espairs. Que DIEU le tout puissant te préserve, t'accorde santé, bonheur, quiétude de l'esprit et te protège de tout mal.*

*A ma très chère mère : Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.*

*A mon frère Sid Ahmed Je prie Dieu, le tout puissant, de vous protéger et de vos procurer santé, bonheur et longue vie.*

*A ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.*

*A mon collègue Ikram Merci d'être toujours présente à mes côtés et de m'avoir continuellement encouragé.*

*Mon copain Nadir je vous remercie pour le courage, le sourire, le bonheur, et tous les bons moments qu'on a passé ensemble.*

*Mes amies Kawter et Radja qui m'ont toujours soutenu.*

*Mahdi*

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Nanoparticules organiques: a - Dendrimères, b - Liposomes et c– micelles.....	5
<b>Figure 2</b> : Nanoparticules à base de carbone: a - fullerènes, b - graphène, c - nanotubes de carbone, d- carbone nanofibres et e - noir de carbone.....	6
<b>Figure 3</b> : Représentation schématique des deux grandes approches de synthèse desnanoparticules .....	10
<b>Figure 4</b> : Représentation schématique du mécanisme de synthèse des nanoparticules métalliques dans un extrait végétal. ....	12
<b>Figure 5</b> : Mécanisme de la biosynthèse de nanoparticules d'argent à base d'extait des plantes .....	12
<b>Figure 6</b> : Mécanisme de la biosynthèse des nanoparticules d'argent à base des bacteries .....	13
<b>Figure 7</b> : Mécanisme de réduction extracellulaire des ions d' argent par une souche de champignon.....	14
<b>Figure 8</b> : Spectre DRX de nanoparticules d'Ag synthétisées à partir d'extrait de feuille de Melia dubia.....	17
<b>Figure 9</b> : Image TEM de nanoparticules d'argent 20 nm.....	17
<b>Figure 10</b> : Image MEB d'AgNPs formés à Callicarpa maingayi Extraction d'écorce de tige .....	18
<b>Figure 11</b> : les applications des AgNPs .....	19
<b>Figure 12</b> : Contribution des nanoparticules d'argent dans différents secteurs.....	20
<b>Figure 13</b> : Représentation schématique et image de Mentha Aquatica L. ....	26
<b>Figure 14</b> : les étapes de l'extraction.....	27
<b>Figure 15</b> : synthèse des nanoparticules d'argent. ....	28

<b>Figure 16 :</b> Les tubes de différentes concentrations pour la formation des AgNPs.....	<b>29</b>
<b>Figure 17 :</b> les échantillons de différents pH en premier instant .....	<b>29</b>
<b>Figure 18 :</b> Appareil d'UV-Visible de l'université d'Ain témouchent. ....	<b>31</b>
<b>Figure 19 :</b> illustration de la détection du peroxyde d'hydrogène par les nanoparticules d'argent. ....	<b>31</b>
<b>Figure 20 :</b> Spectres UV-Vis des AgNPs de différentes concentrations d'AgNO <sub>3</sub> à différent temps.....	<b>36</b>
<b>Figure 21:</b> les spectres UV-vis des nanoparticules d'argent de pH 5, 7, 9, 11.....	<b>37</b>
<b>Figure 22:</b> Les spectres UV-Vis des AgNPs de solution ( $3 \cdot 10^{-3}$ ) M au cours du temps différents. ....	<b>38</b>
<b>Figure 23 :</b> le mécanisme de formation des AgNPs.....	<b>38</b>
<b>Figure 24 :</b> stabilisation des AgNPs.....	<b>39</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> les propriétés des nanoparticules. ....	<b>6</b>
<b>Tableau 2 :</b> Propriétés physiques de l'argent métal. ....	<b>8</b>
<b>Tableau 3:</b> Les plus importants minéraux d'argent. ....	<b>8</b>
<b>Tableau 4 :</b> Principaux réducteur et stabilisant biologique des nanoparticules.	<b>15</b>
<b>Tableau 5 :</b> les solutions préparé d'AgNO <sub>3</sub> de différentes concentrations .....	<b>27</b>
<b>Tableau 6 :</b> Le changement de couleur de la solution de (3.10 <sup>-3</sup> ) M pendant 24h.....	<b>30</b>
<b>Tableau 7 :</b> Préparations de déférentes concentrations de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	<b>32</b>
<b>Tableau 8:</b> concentration constant de AgNPs / [H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] variés. ....	<b>32</b>
<b>Tableau 9 :</b> différents volumes de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> de [50 µM] / concentrations constant d'AgNPs.....	<b>32</b>
<b>Tableau 10 :</b> différents volumes d'AgNPs / volumes constant de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> [50 µM] de chaque analyse.....	<b>33</b>
<b>Tableau 11 :</b> la détection de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> de concentrations variées par AgNPs de volumes et concentration constant.....	<b>39</b>
<b>Tableau 12 :</b> la détection de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> de concentrations [50µM] de volumes variées et d'AgNPs devolumes constante (2 ml).....	<b>40</b>
<b>Tableau 13 :</b> la détection de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> de concentrations [50µM] de volumes constants par des AgNPs devolumes variées. ....	<b>41</b>

## Listes d'abréviation

<b>Ag</b>	Le métal d'argent.
<b>AgNP</b>	Une nanoparticule d'argent.
<b>AgNPs</b>	Les nanoparticules d'argent.
<b>AgNO<sub>3</sub></b>	Nitrate d'argent.
<b>Ag<sup>+</sup></b>	Ion d'argent.
<b>Ag<sup>0</sup></b>	Argent de charge neutre.
<b>NPs</b>	Les nanoparticules.
<b>SPR</b>	La résonance plasmonique de surface.
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	Peroxyde d'hydrogène.
<b>ABS</b>	Absorbance.
<b>HCl</b>	Acide chlorhydrique.
<b>NaOH</b>	Hydroxyde de sodium.
<b>Ag<sub>2</sub>O</b>	Oxyde d'argent.

## SOMMAIRE

Introduction général.....	1
---------------------------	---

### **CHAPITRE I : RAPPEL BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES NANOPARTICULES**

Introduction .....	4
I. Les nanoparticules.....	4
I.1. Définition .....	4
I.2. L'origine des nanoparticules .....	4
I.3. Les types des nanoparticules .....	5
I.3.1. Nanoparticules organiques .....	5
I.3.2. Nanoparticules inorganiques .....	5
I.3.3. À base de carbone .....	5
I.4. Les propriétés des nanoparticules .....	6
II. L'argent .....	7
II.1. Définition.....	7
II.2. Les propriétés physicochimiques d'argent.....	7
III. Les nanoparticules d'argent.....	9
III.1. Définitions .....	9
III.2. Les propriétés des nanoparticules d'argent .....	9
III.3. Les méthodes de synthèses d'AgNPs.....	9
III.3.1. L'Approche descendante Top-Down (Méthodes physiques) .....	10
III.3.2. L'approche ascendante Bottom-Up (Méthodes chimiques) .....	11
III.3.3. Les méthodes biologiques (la bioréduction).....	11
III.3.3.1 Les plantes.....	11
III.3.3.2 Les microorganismes .....	13
i. Les bactéries.....	13
ii. Les champignons.....	13
iii. Les algues .....	14

III.4. Stabilisation des nanoparticules d'argent.....	15
III.5. La détection de peroxyde d'hydrogène (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) par AgNPs.....	15
IV. Caractérisations des AgNPs .....	15
IV.1 UV-Visible .....	16
IV.2 La spectroscopie Infrarouge à transformée de fourrier (FT-IR).....	16
IV.3 La diffraction des rayons X (DRX).....	16
IV.4 La microscopie électronique à transmission (TEM) .....	17
IV.5 La microscopie électronique à balayage (MEB).....	17
V. Les avantages et les inconvénients des méthodes biologiques .....	18
VI. Les applications.....	18
Conclusions .....	21
Références .....	22

## **CHAPITRE II: MATERIELS ET METHODES**

Introduction .....	26
I. Matériels .....	26
II. Protocol expérimentale.....	26
II.1. Préparation de l'extrait .....	26
II.2. Préparation de nitrate d'Argent .....	27
II.3. Synthèse des nanoparticules d'argent.....	28
II.3.1. Les paramètres influençant la formation des nanoparticules d'argent .....	28
a) Concentration d'AgNO <sub>3</sub> .....	28
b) Le pH.....	29
II.3.2. Le temps de formation.....	30
III.Caractérisations .....	30
III.1. UV-Visible .....	30
IV. Applications des nanoparticules d'argent pour la détection du peroxyde d'hydrogène H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	31
IV.1. Préparation de solution H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> de 50% .....	31
a) Expérience 01 .....	32
b) Expérience 02 .....	32
c) Expérience 03 .....	33

Conclusion.....	34
Les références.....	35

### CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSION

Introduction .....	36
I. Effet de concentration d'AgNO <sub>3</sub> sur la formation des AgNPs.....	36
II. Effet de pH sur la formation d'AgNPs.....	37
III. La cinétique de formation des AgNPs.....	37
IV. Mécanisme de formation des nanoparticules d'argent :.....	38
V. Applications : .....	39
V.1. La détection de peroxyde d'hydrogène (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) par les AgNPs :.....	39
Explication : .....	41
Conclusion.....	42
Références .....	43

Conclusion général.....	44
-------------------------	----

Abstract

Résumé

ملخص

## INTRODUCTION GENERAL

---

Le terme nano est adapté du mot grec qui signifie "nain". Lorsqu'il est utilisé comme préfixe, il implique  $10^{-9}$ . Un nanomètre (nm) est un milliardième de mètre, soit à peu près la longueur de trois atomes côte à côte [1].

Le terme «nanotechnologie» a été défini pour la première fois par l'Université des sciences de Tokyo, Norio Taniguchi dans un article de 1974 comme suit: «La nanotechnologie » consiste principalement en la transformation de séparation, consolidation et déformation des matériaux par un atome ou une molécule [2]. La nanotechnologie fait référence à une technologie mise en œuvre à l'échelle nanométrique et ayant des applications dans le monde réel. Les propriétés physiques et chimiques uniques des nanomatériaux peuvent être exploitées pour les applications qui profitent à la société [3].

La «nanoscience» est la science émergente des objets qui sont de taille intermédiaire entre les grosses molécules et les petites structures qui peuvent être fabriquées par la courante photolithographie; c'est-à-dire la science des objets avec les plus petites dimensions allant de quelques nanomètres à moins de 100 nanomètres [4], ainsi que c'est une étude, découverte et compréhension de la matière dans la échelle nanométrique, où les propriétés et les phénomènes dépendant de la taille et de la structure, comme distinctes de celles associées à des atomes ou molécules individuels ou à des matériaux en vrac peuvent émerger [5], et l'étude des phénomènes et de la manipulation des matériaux aux niveaux d'échelles atomique, moléculaire et macromoléculaire [6].

Les nanomatériaux sont des matériaux avec un ou plusieurs composants qui ont au moins une dimension dans la plage de 1 à 100 nm et comprennent des nanoparticules, des nanofibres, des nanotubes, des matériaux composites et des surfaces nanostructurées [7,8].

Une nanoparticule est une portion de matière suffisamment petite d'une dimension inférieure à 100 nm. La particularité d'une nanoparticule réside dans le fait que la majorité des atomes qui la constitue se trouve en surface [9]. Nanoparticules métalliques en général et nanoparticules d'argent (AgNPs) en particulier ont attiré beaucoup d'attention dans les recherches en raison de leurs propriétés physiques, chimiques et mécaniques et la polyvalence dans différents domaines comme l'électronique, l'électricité, biotechnologie, bio-ingénierie, génie textile, l'environnement, des produits pharmaceutiques, ingénierie, médecine, chimie et physique [10, 11].

L'objectif de notre travail est de synthétiser des nanoparticules d'argent par une méthode biologique simple, à base de l'extrait de plante (*Mentha Aquatica* L), leur détection sur le peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) et les différentes méthodes de caractérisation.

Ce travail est constitué des chapitres suivants :

➤ **Le premier chapitre** : rappel bibliographique sur la description de l'argent, leurs propriétés, et les méthodes physique, chimique et biologique de synthèse des nanoparticules d'argent ainsi les méthodes de caractérisations.

## INTRODUCTION GENERAL

---

- **Le deuxième chapitre :** est constitué des méthodes de synthèse et matériel utilisé pour l'élaboration des nanoparticules d'argent.
  
- **Troisième chapitre :** contient les résultats, discussions de synthèse, caractérisations des nanoparticules synthétisés ainsi leurs applications.

### Les références

- [1] K.N. Thakkar, S.S. Mhatre and R.Y. Parikh, *Nanomedicine: nanotechnology, biology and medicine*, 6 (2010) 257.
- [2] M. Singh, S. Singh, S. Prasad and I. Gambhir, *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 3 (2008) 115.
- [3] B. Bhushan, *Journal of nanotechnology*, Springer, 2017, p. 1.
- [4] G.M. Whitesides, *Small, nanoscience*, 1 (2005) 172.
- [5] S. Bayda, M. Adeel, T. Tuccinardi, M. Cordani and F. Rizzolio, *Molecules*, 25 (2020) 112.
- [6] P.N. Sudha, K. Sangeetha, K. Vijayalakshmi and A. Barhoum, *Emerging Applications of Nanoparticles and Architecture Nanostructures*, Elsevier, 2018, p. 341.
- [7] P.J. Borm, D. Robbins, S. Haubold, T. Kuhlbusch, H. Fissan, K. Donaldson, R. Schins, V. Stone, W. Kreyling and J. Lademann, *Particle and fibre toxicology*, 3 (2006) 1.
- [8] J. Jeevanandam, A. Barhoum, Y.S. Chan, A. Dufresne and M.K. Danquah, *Beilstein journal of nanotechnology*, 9 (2018) 1050.
- [9] S. Lanone and J. Boczkowski, *Revue française d'allergologie, elsevier*, 50 (2010) 211.
- [10] C.A. Dos Santos, M.M. Seckler, A.P. Ingle, I. Gupta, S. Galdiero, M. Galdiero, A. Gade and M. Rai, *Journal of pharmaceutical sciences*, 103 (2014) 1931.
- [11] V. Thamilselvi and K. Radha, *IOSR J Pharm (IOSRPHR)*, 7 (2017) 21.

### Introduction

Les voies biogéniques (ou biologiques) pour synthétiser des nanoparticules métalliques, y compris les AgNPs, sont apparus comme une option économiquement réalisable dans le domaine de la «chimie verte». La synthèse biogénique de nanoparticules métalliques est connue pour être simple, écologique, rentable et facilement extensible. Elle est également réalisée à température et pression ambiantes, en milieu aqueux et en absence de solvants organiques [1,2 ,3]. La synthèse biogénique de nanoparticules métalliques peut être réalisée en utilisant des systèmes biologiques, notamment les plantes, les algues, les bactéries, les levures, les diatomées et les champignons. Parmi eux [2,4, 5], la synthèse à médiation végétale de nanoparticules métalliques a attiré l'attention en raison de sa simplicité. Par rapport à d'autres voies biogéniques, l'utilisation d'extraits de plantes élimine le processus de maintien des cultures cellulaires et constitue un risque biologique moindre [6, 7].

### I. Les nanoparticules

#### I.1. Définition

Les nanoparticules sont des objets dont les trois dimensions sont inférieures à 100 nm. Ces nano-objets se situent donc au confluent des échelles macroscopique (matériaux massifs) et moléculaire (ou atomique) [8].

Les nanoparticules peuvent être directement émises par la combustion processus qui incluent à la fois des sources fixes et mobiles. Ils peuvent être formés dans l'atmosphère par réaction et ou nucléation de précurseurs de vapeur ou par désintégration radioactive. Dans les milieux industriels, les nanoparticules sont également produites [9].

#### I.2. L'origine des nanoparticules

Les nanoparticules existent dans la nature mais elles sont aussi fabriquées et utilisées dans de nombreux domaines. On en distingue trois types selon leur origine :

**Les nanoparticules d'origine naturelle** : résultent essentiellement des phénomènes de nucléation et de condensation des gaz et vapeurs dans l'atmosphère (incendies, éruptions volcaniques ...).

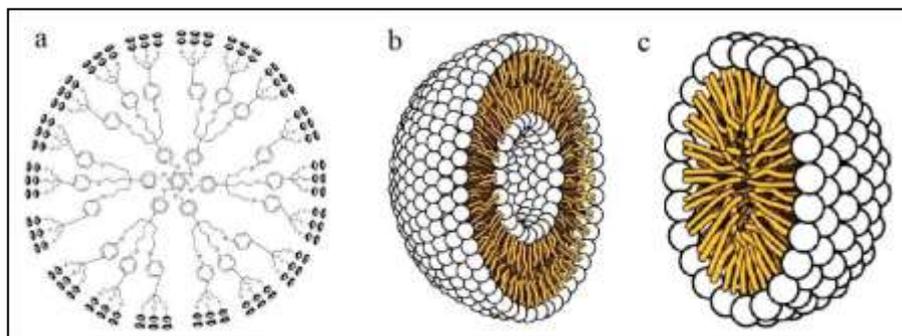
**Les nanoparticules d'origine anthropogénique non-intentionnelle** : issues des procédés chauds tels que le soudage ou encore de la combustion des moteurs (pollutions, émissions diesel, combustions diverses ...).

**Les nanoparticules d'origine anthropogénique intentionnelle** : nanoparticules manufacturées par l'industrie ou dans les laboratoires de recherche [10].

### I.3. Les types des nanoparticules

#### I.3.1. Nanoparticules organiques

Les dendrimères, micelles, liposomes et ferritine, etc. sont communément connus sous le nom de nanoparticules organiques ou les polymères. Ces nanoparticules sont biodégradables, non toxiques et certaines particules telles que les micelles et les liposomes ont un noyau creux ; également connu sous le nom de nanocapsules et sont sensibles à la chaleur et rayonnement électromagnétique tel que la chaleur et la lumière [11].



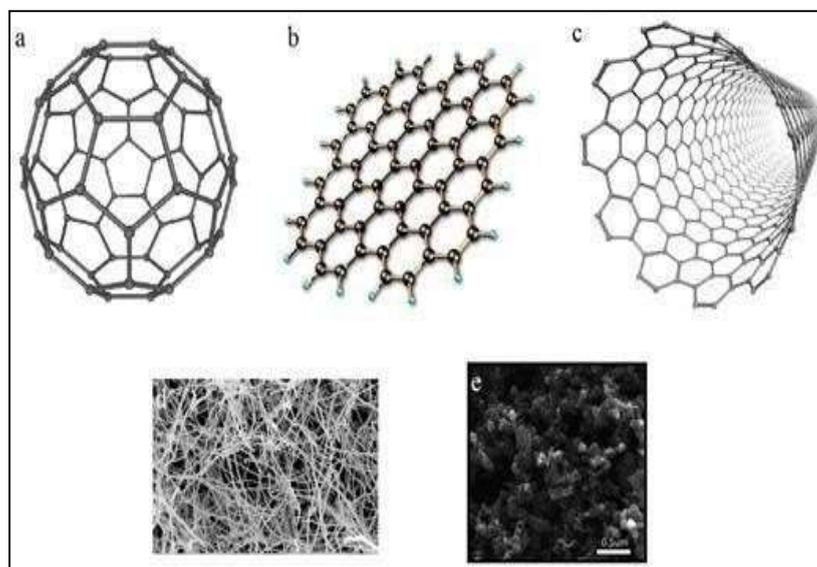
**Figure 1** : Nanoparticules organiques: a - Dendrimères, b - Liposomes et c- micelles [12].

#### I.3.2. Nanoparticules inorganiques

Les nanoparticules inorganiques sont des particules qui ne sont pas composées de carbone. À base de métal (aluminium (Al), cadmium (Cd), cobalt (Co), cuivre (Cu), or (Au), fer (Fe), plomb (Pb), argent (Ag) et le zinc (Zn) [13]. Et d'oxyde métallique (oxyde de fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Oxyde d'aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Oxyde de titane(TiO<sub>2</sub>)...etc.), les nanoparticules sont généralement classées comme nanoparticules inorganique [14].

#### I.3.3. À base de carbone

Les nanoparticules constituées entièrement de carbone sont connues sous le nom de carbone. Ils peuvent être classés en fullerènes graphène, nanotubes de carbone (CNT), nanofibres de carbone et noir de carbone et parfois du charbon actif en taille nanométrique et sont présentés dans la figure suivant [15].



**Figure 2 :** Nanoparticules à base de carbone: a - fullerènes, b - graphène, c - nanotubes de carbone, d- carbone nanofibres et e - noir de carbone [12].

#### I.4. Les propriétés des nanoparticules

Les nanoparticules, jonction entre l'échelle atomique et le matériau, ont des particularités structurales très spécifiques. Les principales propriétés des nanoparticules sont : optiques, électriques, catalytiques, thermiques, magnétiques, mécaniques ou encore biologiques [16].

**Tableau 1:** les propriétés des nanoparticules.

Les propriétés	Les exemples	Réf
<b>Optique</b>	la couleur de la nanoparticule. capacités de pénétration, d'absorption et de réflexion de lumière.	[10]
<b>Structurel</b>	des structures cristallines et amorphes, des formes comme sphérique et cylindrique.	[12]
<b>Mécanique</b>	élastique, ductile, de traction forces et flexibilité.	[10]
<b>Electrique et magnétique</b>	conductivité, semi-conductivité et résistivité.	[10]
<b>Biologique</b>	La réactivité et la sensibilité aux facteurs environnementaux tels que l'air, l'humidité, la chaleur et la lumière du soleil, etc.	[12]

En effet, contrairement aux matériaux classiques, les nanoparticules voient leurs propriétés changer en fonction des effets suivants :

**Effets de taille:** selon le matériau utilisé pour produire les nanoparticules, propriétés comme la solubilité, la transparence, couleur, longueur d'onde d'absorption ou d'émission, conductivité, le point de fusion et le comportement catalytique ne sont modifiés que par faire varier la taille des particules.

**Effets de composition:** il est clair qu'une particule d'une différente composition conduit à un comportement physique et chimique différent du matériau.

**Effets de surface:** propriétés telles que la dispersibilité, la conductivité, le comportement catalytique et les propriétés optiques changent avec différentes propriétés de surface de la particule [17].

## II. L'argent

### II.1. Définition

L'argent est un métal brillant, ductile et malléable, trouvé à l'état natif sous forme de pépite. Du latin *Argentum*, qui a donné les initiales de son symbole chimique "Ag" et du grec ancien *argos* (argos), qui signifie : blanc, ou brillant, il a donné son nom durant l'antiquité à la cité *Argentoratum*, l'actuelle ville de Strasbourg [18].

L'argent a une malléabilité et une ductilité très élevées et, dans sa forme pure, sa conductivité électrique et sa conductivité thermique sont les plus élevées de tous les métaux [19].

L'argent (Ag) a deux isotopes stables,  $^{107}\text{Ag}$  et  $^{109}\text{Ag}$ , avec abondance de 51,8% et 48,2% [20].

### II.2. Les propriétés physicochimiques d'argent

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 [21].

**Tableau 2 :** Propriétés physiques de l'argent métal [21].

<b>Numéro atomique</b>	<b>47</b>
<b>Masse atomique</b>	<b>107,87</b>
<b>Configurations électronique</b>	<b>[Kr] 4d10 5s1</b>
<b>Structure</b>	<b>CFC</b>
<b>Rayon atomique (nm)</b>	<b>0.153</b>
<b>Densité (g cm-3)</b>	<b>10.5</b>
<b>Température de fusion (K)</b>	<b>1235.43</b>
<b>Température d'ébullition</b>	<b>2485</b>
<b>Première énergie d'ionisation (kJ mol-1)</b>	<b>758</b>

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" [21].

La configuration atomique de l'argent (**Z=47**) est **[Xe] 4d105s1**. Il est placé dans le groupe **11 (IB)** après le cuivre et entre palladium (**groupe 10**) et cadmium (**groupe 12**) dans le tableau périodique [21].

**Tableau 3:** Les plus importants minéraux d'argent [21].

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

### **III. Les nanoparticules d'argent**

#### **III.1. Définitions**

Parmi les différentes nanoparticules métalliques, les nanoparticules d'argent (AgNPs) sont l'un des nanomatériaux les plus essentiels et les plus fascinant [22]. Et sont attiré beaucoup d'attention dans le domaine scientifique [23]. Grâce à leur taille extrêmement réduite, les AgNPs possèdent une grande surface, ce qui leur offre une énergie de surface élevée et plusieurs sites réactifs. Ces caractéristiques qualifient les AgNPs comme l'un des matériaux les plus prometteurs en catalyse [24], médecine, dispositifs médicaux, pharmacologie, biotechnologie, l'électronique, l'ingénierie, l'énergie, les champs magnétiques, ainsi que la remédiation environnementale [25].

#### **III.2. Les propriétés des nanoparticules d'argent**

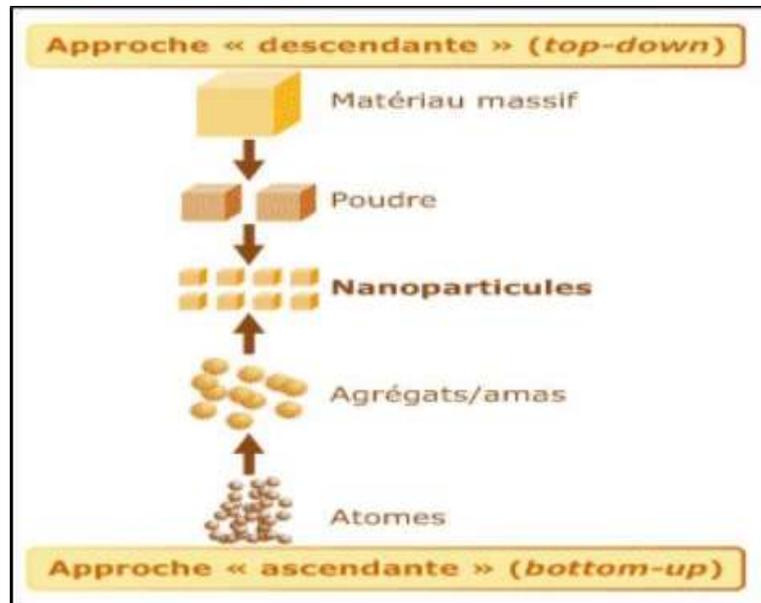
##### **III.2.1. Les propriétés physicochimiques**

Les AgNPs ont des propriétés physico-chimiques distinctives, notamment une conductivité électrique et thermique élevée, une stabilité chimique, une activité catalytique et un comportement optique non linéaire (absorption et diffusion de la lumière) [26]. Plus des propriétés mécaniques et magnétiques par rapport aux matériaux en vrac [27].

#### **III.3. Les méthodes de synthèses d'AgNPs**

Les deux grandes approches de synthèse des nanoparticules métalliques, descendante et ascendante, font appel à des moyens chimiques, physiques et biologiques pour la synthèse des nanoparticules par des procédés physiques et chimiques. Les deux approches s'appliquent pour la synthèse des AgNPs.

### III.3.1. L'Approche descendant Top-Down (méthode physique) :



**Figure 3 :** Représentation schématique des deux grandes approches de synthèse des nanoparticules [21].

L'approche descendante, ou top-down, regroupant des méthodes physiques, consiste à la diminution graduelle de la taille des systèmes actuels jusqu'à atteindre des dimensions nanométriques et ce en optimisant les procédés technologiques [28].

Dans les processus physiques, les nanoparticules métalliques sont généralement synthétisées par évaporation – condensation, qui pourrait être réalisée à l'aide d'un four tubulaire à pression atmosphérique. Le matériau source dans un bateau centré sur le four est vaporisé en un gaz vecteur [29].

Les NPs d'argent pourraient être synthétisés par ablation au laser de matériaux métalliques en vrac. L'efficacité d'ablation et les caractéristiques des nanoparticules produites dépendent de nombreux paramètres, y compris la longueur d'onde du laser, la durée des impulsions laser la fluence laser, la durée du temps d'ablation et le milieu liquide efficace, avec ou sans présence de tensioactifs [30].

### III.3.2 L'approche ascendante Bottom-Up (méthode chimique) :

L'approche ascendante fait référence à la construction d'une structure atome par atome, molécule par molécule. Un avantage de l'approche ascendante est la de meilleures possibilités pour obtenir des nanostructures avec moins de défauts et plus des compositions chimiques homogènes [31].

Des méthodes chimiques sont généralement utilisées pour synthétiser les nanoparticules d'argent et parmi elles, la réduction chimique par les réducteurs chimique (borohydrure, citrate, ascorbate et hydrogène élémentaire) [32], procédé Sol-Gel qui était le plus courant pour synthétiser les AgNPs et considéré comme une approche multiforme pour la synthèse de nanoparticules sous formes diverses [33], Processus de micelle inversée qui consiste à mélanger deux émulsions inverses (de le type "eau dans l'huile") dont l'un contient un sel d'argent dissous dans de l'eau solubilisée et l'autre contient un agent réducteur [34].

### III.3.3 Les méthodes biologiques (la bioréduction)

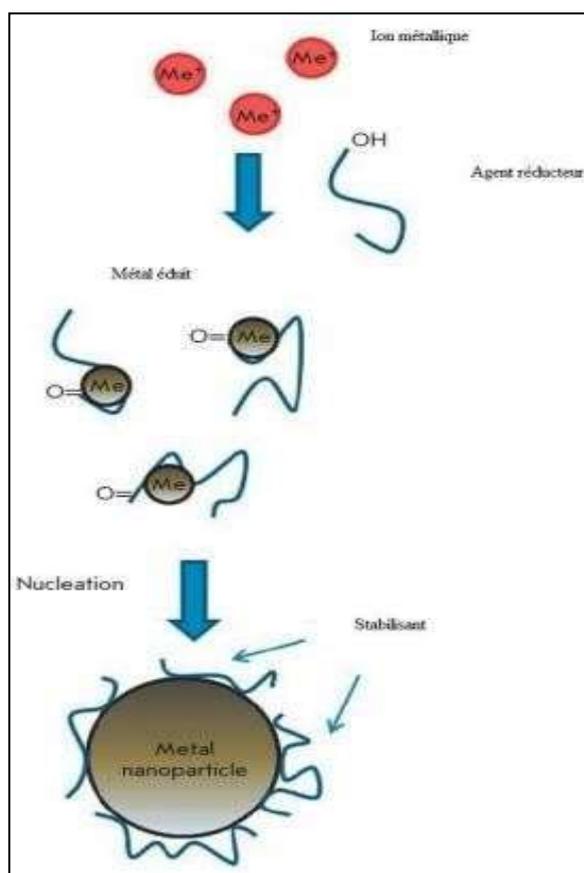
Récemment, des méthodes de biosynthèse ont été étudiées comme une nouvelle façon de produire des AgNPs. Les méthodes biologiques gagnent actuellement une importance car elles sont respectueuses de l'environnement, rentables et n'implique pas l'utilisation de produits chimiques toxiques pour la synthèse de nanoparticules [35].

Il a donc été nécessaire de recourir aux méthodes biologiques pour développer une approche écologique pour la synthèse des nanoparticules d'argent en utilisant des microorganismes ,des enzymes et des plantes ou des extraits de plantes .

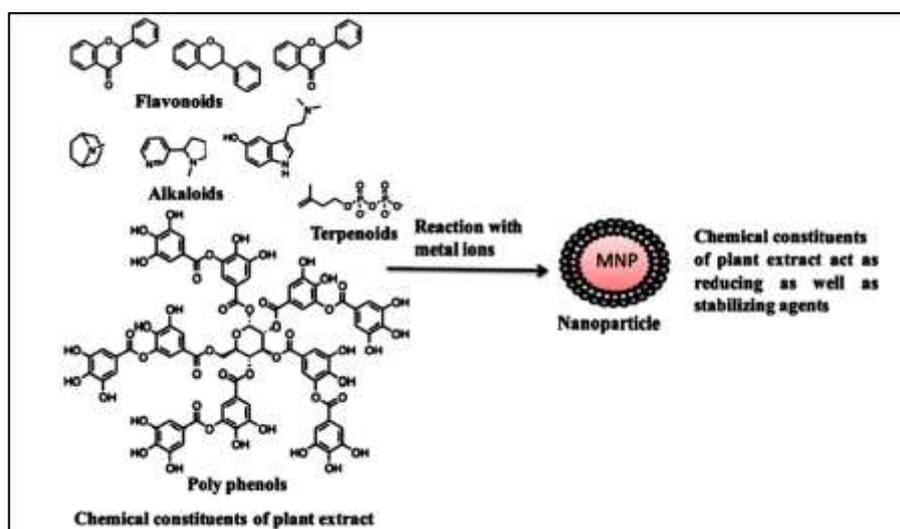
#### III.3.3.1 Les plantes

Aujourd'hui, la production d'AgNPs se concentre sur la synthèse verte à partir d'extraits de différentes parties de plantes (les racines, la tige, les graines et les feuilles). Les agents de réduction et de stabilisation de l'extraction végétale sont utilisés pour mettre en œuvre la chimie verte [36].

**Ahmad et Sharma** [37] ont rapporté que la biosynthèse des AgNPs se fait à partir de Ananas comosus (ananas jus) comme agent stabilisant et réducteur, ainsi que **Velmurugan et al** [38] ont montré que les AgNPs sont synthétisés par l'extrait de coque d'arachide, également **Jayaprakash et al** [39] fait la synthèse verte de nanoparticules d'argent (Ag NPs) à l'aide d'un extrait de Zingiber séché racine officinale (gingembre) comme agent réducteur.



**Figure 4 :** Représentation schématique du mécanisme de synthèse des nanoparticules métalliques dans un extrait végétal [40].



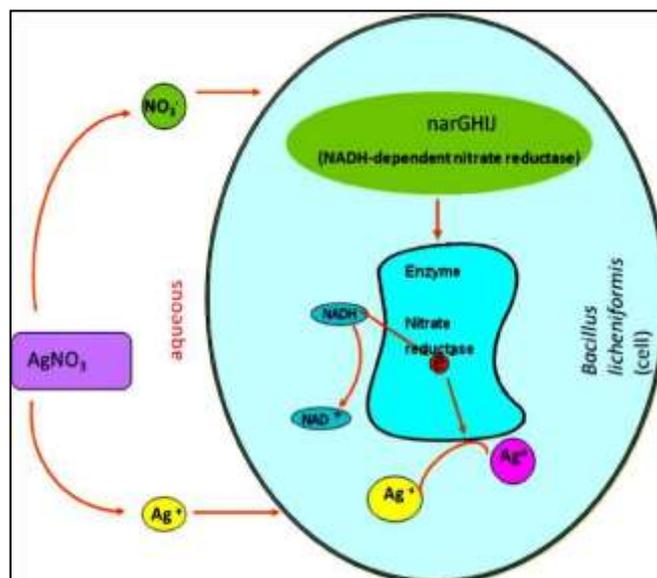
**Figure 5 :** Mécanisme de la biosynthèse de nanoparticules d'argent à base d'extrait des plantes [41].

### III.3.3.2 Les microorganismes

#### i. Les bactéries

La probabilité de la synthèse de nanoparticules d'argent à partir des bactéries a été rapportée avec succès. Les cellules bactériennes sont utilisées pour produire des AgNPs. Ces particules possèdent des propriétés physiques et chimiques intéressantes [42].

**Kalimuthu et al** [43] illustré la synthèse des AgNPs par *Bacillus licheniformis*, où la solution aqueuse d' $\text{AgNO}_3$  ajoutée à la biomasse de *B.licheniformis*, la couleur passe du jaune blanchâtre à, le marron indique la formation d'AgNPs avec la plage de tailles de 50 nm et ont été stabilisés par l'enzyme de nitrate, comme **Shivaji et al** on fait dans leurs synthèse des AgNPs, ils sont utilisés la culture surnageant de bactéries psychrophiles [44].



**Figure 6 :** Mécanisme de la biosynthèse des nanoparticules d'argent à base des bactéries. [43].

#### ii. Les champignons

Les champignons ont un potentiel pour la synthèse de NPs métalliques en raison de capacité de bioaccumulation des métaux et leur tolérance, capacité élevée de liaison et absorption intracellulaire [45].

**Vigneshwaran et al** [46] ont rapporté que les AgNPs mono-dispersés peuvent être synthétisés en utilisant le champignon *Aspergillus flavus* et la taille moyenne des NPs a été observée par Microscopie électronique en transmission (TEM) [46]. **Kathiresan et al** [47] ont aussi illustré la synthèse in vitro des AgNPs utilisant  $\text{AgNO}_3$  comme substrat et *Penicillium fellutanum* isolé des sédiments de mangrove côtière.

Une production extracellulaire de nanoparticules métalliques par plusieurs souches du champignon *Fusarium oxysporum* a été réalisée. Il a été constaté que les ions d'argent aqueux lorsqu'ils sont exposés à plusieurs souches de *Fusarium oxysporum* sont réduits en solution, conduisant ainsi à la formation d'hydrolat d'argent [48].

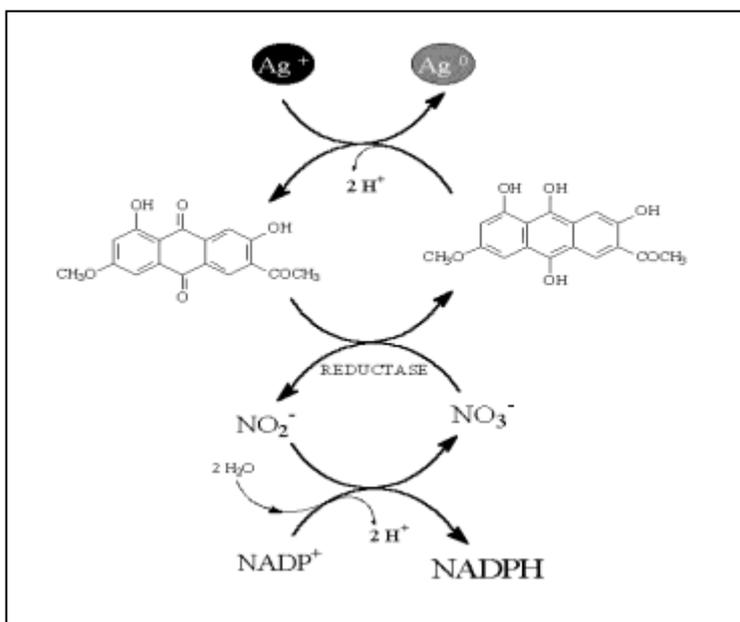


Figure 7 : Mécanisme de réduction extracellulaire des ions d' argent par une souche de champignon [48].

### iii. Les algues

**El Rafie et al** [49] ont fait la synthèse de nanoparticules d'argent (AgNPs) utilisant des polysaccharides hydrosolubles extraits de quatre macro-algues marines, à savoir, *Pterocladia capillacea* (Pc), *Jania rubens* (Jr), *Ulva fasciata* (Uf) et *Colpomenia sinuata* (Cs) comme agents réducteurs des ions d'argent ainsi que des agents stabilisants pour les AgNPs synthétisés, comme ceci **Merin, D. et al** [50] explorent la biosynthèse des nanoparticules d'argent synthétisées par des microalgues marines. Les espèces d'algues *C. calcitrans*, *C. salina*, *I. galbana* et *T. gracilis*.

### III.4. Stabilisation des nanoparticules d'argent

Un grand nombre d'agents de coiffage sont utilisés pour la stabilisation des AgNPs. Le type d'agent de coiffage détermine le mécanisme de stabilisation des AgNPs. La cinétique d'agrégation des AgNPs stabilisées se fait en trois mécanismes (électrostatique, stérique et électrostérique). [51].

**Tableau 4 :** Principaux réducteur et stabilisant biologique des nanoparticules [52].

Réducteur	Agent stabilisant	Morphologie et tailles des particules
Peptide	Peptide	Nanohexagones, nanosphères et nanotriangles
Plantes de la luzerne	Tissus de luzerne	Nanosphères et nanofils
Feuille de Géranium	Protéines ou enzymes	Nanosphères et nanotiges
Souche de levure	Protéines	Nanosphères 2-5 nm
Champignon	Protéines ou enzymes	Nanosphères 5-15 nm
Feuille de Neem	Flavanones, Terpènes	Nanosphères 5-35 nm

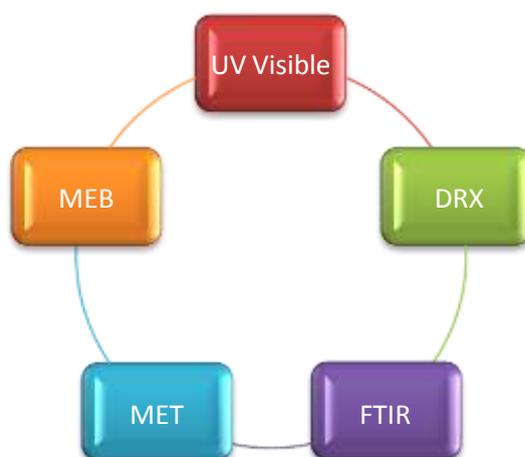
### III.5. La détection de peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) par AgNPs

Les approches colorimétriques sont largement développées en chimie de détection en raison de leur simplicité de détection par l'œil nu. Avec les progrès récents de la nanotechnologie, la conception des capteurs colorimétriques par les NPs est un domaine prometteur qui montre un intérêt croissant, en particulier pour les nanoparticules d'argent, qui contiennent un signal plasmonique puissant.

La capacité de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> à donner de l'oxygène ou à accepter des électrons en fait un oxydant puissant. Les nanoparticules d'argent peuvent être désintégrées par oxydation par H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en Ag<sup>+</sup>. Il existe plusieurs rapports montrant que la solution jaune d'AgNPs est progressivement devenue incolore après avoir interagi avec H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. La détection de l'atténuation de l'absorption plasmonique des AgNPs après la réaction de gravure par H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ne peut être réalisée qu'avec un spectrophotomètre UV visible. L'atténuation de la couleur de la solution sans changement de couleur lorsque les AgNPs interagissent avec H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> impose une limitation inévitable pour l'utilisation des AgNPs comme capteur de peroxyde d'hydrogène à l'œil nu [53].

## IV. Caractérisations des AgNPs

La caractérisation est une étape essentielle pour découvrir les AgNPs par leur taille, leur forme, morphologie, structure, chimie de surface, charge de surface, dispersité et superficie. Divers techniques sont employées pour caractériser les AgNPs, qui sont indiquées ci-dessous [54].



### IV.1 UV-Visible

La spectrophotométrie UV-vis est l'une des techniques les plus couramment utilisées pour la caractérisation des nanoparticules synthétisées qui est également utilisée pour vérifier les AgNPs synthétisées [55].

Le spectre d'absorption des AgNPs dépend de la morphologie, forme, taille et environnement chimique des nanoparticules synthétisées. De nombreuses études ont montré que les AgNPs produisent les bandes d'absorption à environ 200-800 nm dans la longueur d'onde du spectre UV-visible et il a été utilisé pour la caractérisation de nanoparticules avec une gamme de 2-100nm [56, 57].

### IV.2 La spectroscopie Infrarouge à transformée de Fourier (FT-IR)

La spectroscopie FT-IR est utilisée pour étudier la chimie de surface des nanoparticules métalliques et pour trouver savoir si les biomolécules sont impliquées dans la synthèse des nanoparticules [58]. Le FT-IR est un non-invasif, approprié, précieux, rentable, et une technique simple pour étudier le rôle des biomolécules dans la réduction de l'AgNO<sub>3</sub> en argent [26].

### IV.3 La diffraction des rayons X (DRX)

L'identification de la phase et la détermination de la structure cristalline des NPs peuvent être déterminées par la diffraction des rayons X (DRX) [59]. Avec l'aide de DRX, la présence d'AgNPs dans le produit de synthèse peut être confirmée. La confirmation a lieu par l'identification des pics du spectre DRX caractéristique de la structure cristalline cubique à faces centrées d'argent métallique [60].

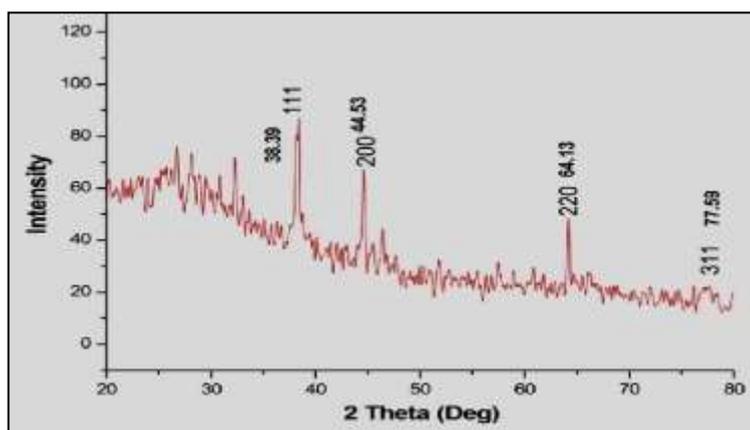


Figure 8: Spectre DRX de nanoparticules d'Ag synthétisées à partir d'extrait de feuille de *Melia dubia* [60].

#### IV.4 La microscopie électronique à transmission (TEM)

La microscopie électronique à transmission (TEM) offre une puissante alternative à l'examen de certains éléments fins dont les dimensions caractéristiques inférieures à 100 nm [61].

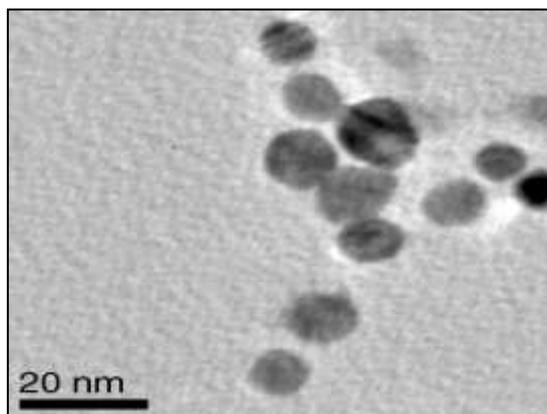
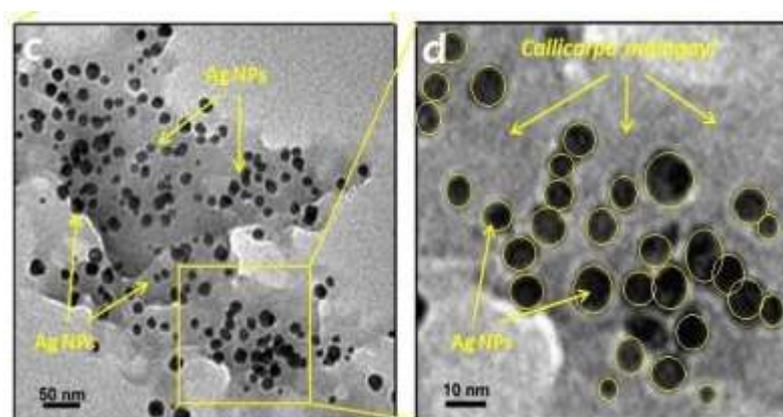


Figure 9 : Image TEM de nanoparticules d'argent 20 nm [62].

#### IV.5 La microscopie électronique à balayage (MEB)

La microscopie électronique à balayage (MEB) est une méthode d'imagerie de surface, entièrement capable de résolution de différentes tailles des particules, distributions de tailles, formes de nanomatériaux et morphologie de surface des particules synthétisées aux échelles micro et nanométrique [63]. MEB utilise un faisceau d'électrons à haute énergie qui est balayé sur la surface de l'échantillon d'AgNPs, puis l'observation des électrons rétrodiffusés fournit les caractéristiques de l'échantillon [64].



**Figure 10** : Image MEB d'AgNPs formés à *Callicarpa maingayi* Extraction d'écorce de tige[65].

### V. Les avantages et les inconvénients des méthodes biologiques

#### Les avantages

- Ces méthodes sont peu coûteuses, écologiques et non toxiques.
- Aucune configuration complexe n'est requise pour conduire le processus de synthèse.
- Il n'est pas nécessaire d'utiliser des agents stabilisants pour empêcher l'agglomération des NPs.
- Étant donné que ces processus sont exécutés dans des conditions ambiantes, ils ne sont pas énergivores.
- Ces méthodes offrent un contrôle plus précis de la taille et de la forme des NPs par rapport aux produits chimiques et méthodes physiques.

#### Les inconvénients

- La synthèse par des méthodes biologiques n'est pas aussi rapide que la synthèse par des méthodes chimiques.
- En raison de la présence de nombreuses biomolécules présentes dans les sources biologiques, il est difficile d'identifier les biomolécules exactes responsables de la synthèse des NPs.
- Si la synthèse biologique est menée à grande échelle, un déséquilibre écologique peut résulter de la surutilisation de différentes espèces biologiques.
- Les toxines microbiennes peuvent être rassemblées par synthèse biologique [66].

### VI. Les applications

Les nanoparticules d'argent présentent un intérêt particulier dans le monde moderne la recherche de la nanotechnologie en raison de ses propriétés uniques, qui peut être incorporé dans une large gamme de applications étendues telles que les agents antiseptiques en médecine industrie, cosmétique, emballage alimentaire, bio-ingénierie, électrochimie, catalyse et utilisations environnementales [67].

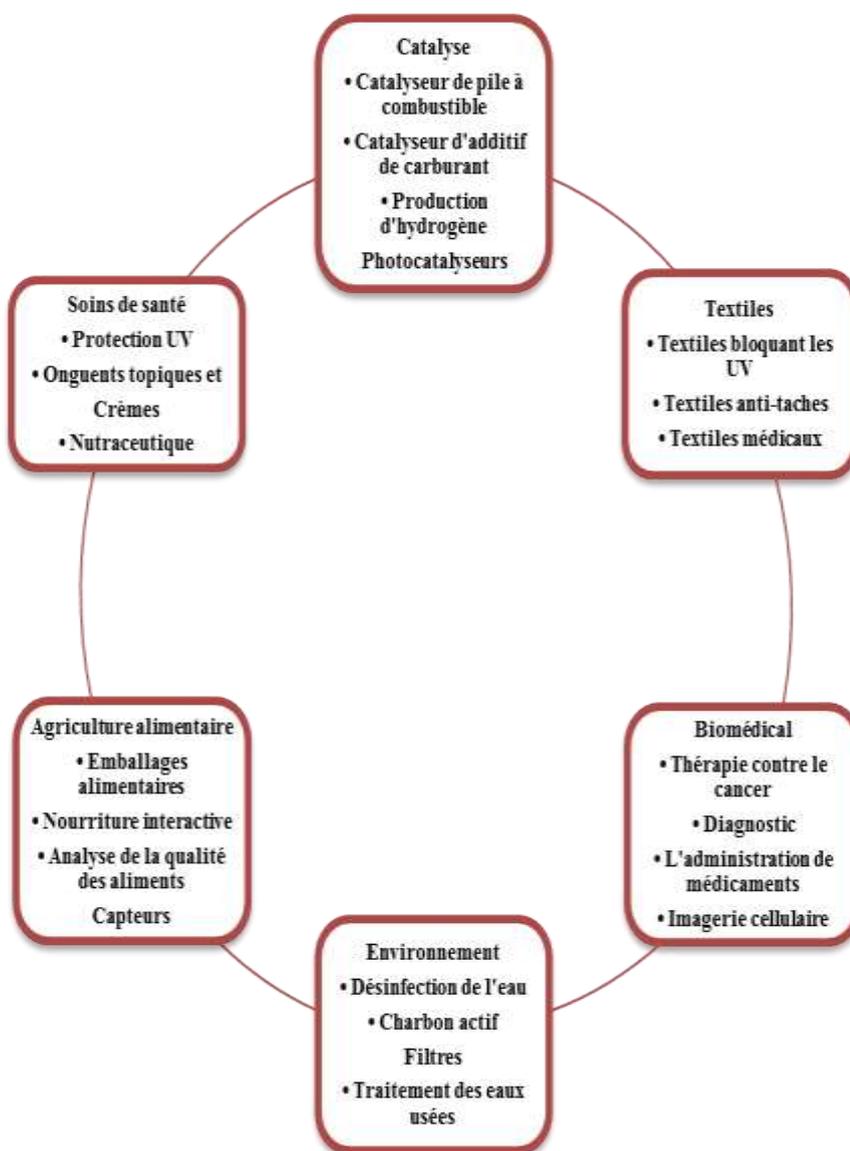


Figure 11: les applications des AgNPs [67].

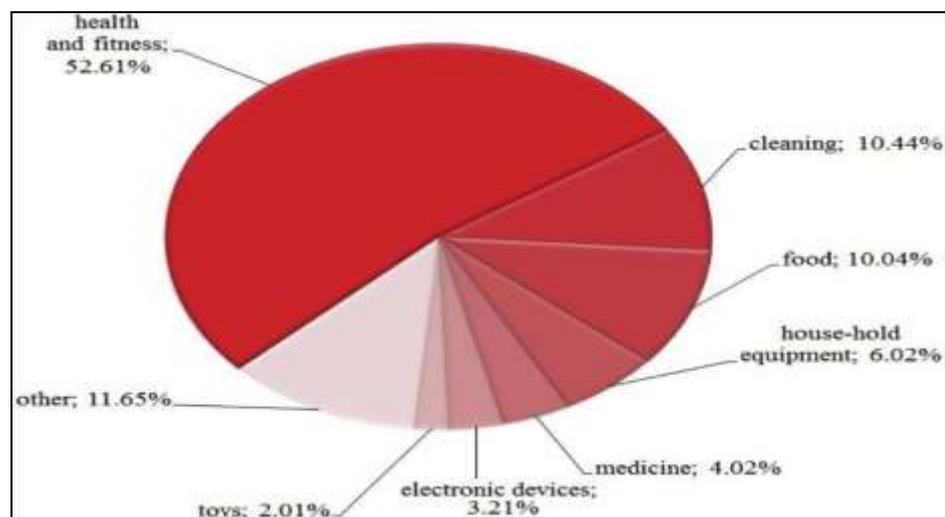


Figure 12 : Contribution des nanoparticules d'argent dans différents secteurs [68].

### **Conclusions**

Les nanotechnologies sont un domaine très prometteur. De nombreuses applications sont possibles dans de vastes domaines. Dans ce chapitre on a cité une description des différents procédés de synthèse de nanoparticules d'argent rencontrés dans la littérature. Nous nous intéresserons en particulier à la présentation de 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. Dans ce contexte, nous cherchons à développer de nouvelles stratégies de synthèse simples, reproductibles en utilisant le minimum possible de réactifs chimiques non toxiques, afin de limiter les sous-produits de réactions et/ou ions résiduels qui risqueraient d'inhiber les propriétés intrinsèques du matériau final.

### Références

- [1] S. Iravani, H. Korbekandi, S.V. Mirmohammadi and B. Zolfaghari, *Research in pharmaceutical sciences*, 9 (2014) 385.
- [2] N. Duran and A.B. Seabra, *Current Nanoscience*, 14 (2018) 82.
- [3] P. Singh, Y.-J. Kim, D. Zhang and D.-C. Yang, *Trends in biotechnology*, 34 (2016)588.
- [4] N. Durán and A.B. Seabra, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 95 (2012) 275.
- [5] N. Durán, P.D. Marcato, M. Durán, A. Yadav, A. Gade and M. Rai, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 90 (2011) 1609.
- [6] S. Ahmed, M. Ahmad, B.L. Swami and S. Ikram, *Journal of advanced research*, 7(2016) 17.
- [7] J.Y. Song and B.S. Kim, *Bioprocess and biosystems engineering*, 32 (2009) 79.
- [8] J. Piard, S. Zimmer, G. Chupin, C. Bon, Y. Cheref and E. Cazayus-CLAVERIE.
- [9] P. Biswas and C.-Y. Wu, *Journal of the air & waste management association*, 55(2005) 708.
- [10] P. Andujar, S. Lanone, P. Brochard and J. Boczkowski, *Revue des maladies respiratoires*, 26 (2009) 625.
- [11] D.K. Tiwari, J. Behari and P. Sen, (2008).
- [12] S.A.M. Ealia and M. Saravanakumar, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2017.
- [13] M. Salavati-Niasari, F. Davar and N. Mir, *Polyhedron*, 27 (2008) 3514.
- [14] C.Y. Tai, C.-T. Tai, M.-H. Chang and H.-S. Liu, *Industrial & engineering chemistry research*, 46 (2007) 5536.
- [15] S. Bhaviripudi, E. Mile, S.A. Steiner, A.T. Zare, M.S. Dresselhaus, A.M. Belcher and J. Kong, *Journal of the American Chemical Society*, 129 (2007) 1516.
- [16] O. Zeyons, *Etudes des interactions physicochimiques et biologiques entre des nanoparticules manufacturées et des bactéries de l'environnement*, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI, 2008.
- [17] P.J. Borm, D. Robbins, S. Haubold, T. Kuhlbusch, H. Fissan, K. Donaldson, R. Schins, V. Stone, W. Kreyling and J. Lademann, *Particle and fibre toxicology*, 3 (2006) 1.

- [18] M. Marchioni, Ecoconception de nouveaux agents biocides à base de nanoparticules d'argent à enrobage bio-inspiré, Université Grenoble Alpes, 2018.
- [19] F. Zivic, N. Grujovic, S. Mitrovic, I.U. Ahad and D. Brabazon, Commercialization of Nanotechnologies–A Case Study Approach, (2018) 227.
- [20] W. Li, W. Gou, W. Li, T. Zhang, B. Yu, Q. Liu and J. Shi, Environmental Pollution, 252 (2019) 1344.
- [21] W. Djeghboub, (2010).
- [22] Nasrollahzadeh. M, S. Mahmoudi-Gom Yek, "Recent developments in the plant-mediated green synthesis of Ag-based nanoparticles for environmental and catalytic applications, 19 (2019) 2436-2479.
- [23] A. Kumar, P.K. Vemula, P.M. Ajayan and G. John, Nature materials, 7 (2008) 236.
- [24] G. Franci, A. Falanga, S. Galdiero, L. Palomba, M. Rai, G. Morelli and M. Galdiero, Molecules, 20 (2015) 8856.
- [25] S.-j. Yu, Y.-g. Yin and J.-f. Liu, Environmental Science: Processes & Impacts, 15(2013) 78.
- [26] Tran. Q. H. "Van Quy Nguyen and Anh-Tuan Le, Silver nanoparticles: synthesis, properties, toxicology, 4 (2013) 033001.
- [27] de Lima, R, A. B. Seabra, "Silver nanoparticles: a brief review of cytotoxicity and genotoxicity of chemically and biogenically synthesized nanoparticles 32 (2012) 867-879.
- [28] A. Andrieux-Ledier, Elaboration de nanoparticules d'argent par réduction de sels métallo-organiques: contrôle de taille, stabilité, organisation et propriétés physiques, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI, 2012.
- [29] H.R. Ghorbani, A.A. Safekordi, H. Attar and S. Sorkhabadi, Chemical and Biochemical Engineering Quarterly, 25 (2011) 317.
- [30] M.A. Zakaria, A. Menazea, A.M. Mostafa and E.A. Al-Ashkar, Surfaces and Interfaces, 19 (2020) 100438.
- [31] S. Landage, A. Wasif and P. Dhuppe, International Journal of Advanced Research in Engineering and Applied Sciences, 3 (2014) 14.
- [32] K.M. Abou El-Nour, A.a. Eftaiha, A. Al-Warthan and R.A. Ammar, Arabian Journal of Chemistry, 3 (2010) 135.
- [33] S. Kaabipour and S. Hemmati, Beilstein journal of nanotechnology, 12 (2021) 102.
- [34] Y.A. Krutyakov, A.A. Kudrinskiy, A.Y. Olenin and G.V. Lisichkin, Russian Chemical Reviews, 77 (2008) 233.

- [35] M. Zargar, A.A. Hamid, F.A. Bakar, M.N. Shamsudin, K. Shameli, F. Jahanshiri and F. Farahani, *Molecules*, 16 (2011) 6667.
- [36] H.D. Beyene, A.A. Werkneh, H.K. Bezabh and T.G. Ambaye, *Sustainable materials and technologies*, 13 (2017) 18.
- [37] N. Ahmad and S. Sharma, (2012).
- [38] P. Velmurugan, S. Sivakumar, S. Young-Chae, J. Seong-Ho, Y. Pyoung-In, S. Jeong-Min and H. Sung-Chul, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 31 (2015) 51.
- [39] J.J. Vijaya, N. Jayaprakash, K. Kombaiyah, K. Kaviyarasu, L.J. Kennedy, R.J. Ramalingam, H.A. Al-Lohedan, V. Mansoor-Ali and M. Maaza, *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 177 (2017) 62.
- [40] H.M. Metiaz and A. Boudiba, SYNTHÈSE, CARACTÉRISATION DES NANOPARTICULES D'ARGENT À BASE D'EXTRAIT DES FEUILLES DE PLANTES ET ÉVALUATION DE LEUR ACTIVITÉ ANTIOXYDANTE ET ANTIMICROBIENNE, 0202.
- [41] J. Singh, G. Kaur, P. Kaur, R. Bajaj and M. Rawat, *World J Pharm Pharm Sci*, 7(2016) 730.
- [42] V. Sarsar, K.K. Selwal and M.K. Selwal, *African Journal of Biotechnology*, 13 (2014).
- [43] K. Kalimuthu, R.S. Babu, D. Venkataraman, M. Bilal and S. Gurunathan, *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 65 (2008) 150.
- [44] S. Shivaji, S. Madhu and S. Singh, *Process Biochemistry*, 46 (2011) 1800.
- [45] M. Rafique, I. Sadaf, M.S. Rafique and M.B. Tahir, *Artificial cells, nanomedicine, and biotechnology*, 45 (2017) 1272.
- [46] N. Vigneshwaran, N. Ashtaputre, P. Varadarajan, R. Nachane, K. Paralikar and R. Balasubramanya, *Materials letters*, 61 (2007) 1413.
- [47] K. Kathiresan, S. Manivannan, M. Nabeel and B. Dhivya, *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 71 (2009) 133.
- [48] N. Durán, P.D. Marcato, O.L. Alves, G.I. De Souza and E. Esposito, *Journal of nanobiotechnology*, 3 (2005) 1.
- [49] H. El-Rafie, M. El-Rafie and M. Zahran, *Carbohydrate polymers*, 96 (2013) 403.
- [50] D.D. Merin, S. Prakash and B.V. Bhimba, *Asian Pacific journal of tropical Medicine*, 3 (2010) 797.
- [51] A.M. El Badawy, K.G. Scheckel, M. Suidan and T. Tolaymat, *Science of the total environment*, 429 (2012) 325.

## CHAPITRE I : RAPPEL BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES NANOPARTICULES

---

- [52] W. Zhang, X. Qiao and J. Chen, *Materials Science and Engineering: B*, 142 (2007) 1.
- [53] K. Nitinaivini, T. Parnklang, C. Thammacharoen, S. Ekgasit and K. Wongravee, *Analytical Methods*, 6 (2014) 9816.
- [54] S. Rajeshkumar and L. Bharath, *Chemico-biological interactions*, 273 (2017) 219.
- [55] M. Sastry, V. Patil and S. Sainkar, *The Journal of Physical Chemistry B*, 102 (1998) 1404.
- [56] A. Taleb, C. Petit and M. Pileni, *The Journal of Physical Chemistry B*, 102 (1998) 2214.
- [57] S. Link and M.A. El-Sayed, *Annual review of physical chemistry*, 54 (2003) 331.
- [58] M.-I. Baraton, *Nanocrystalline Metals and Oxides*, Springer, 2002, p. 165.
- [59] S. Sun, C.B. Murray, D. Weller, L. Folks and A. Moser, *science*, 287 (2000) 1989.
- [60] V. Kathiravan, S. Ravi and S. Ashokkumar, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 130 (2014) 116.
- [61] C. Tang and Z. Yang, *Membrane Characterization*, Elsevier, 2017, p. 145.
- [62] L. Mulfinger, S.D. Solomon, M. Bahadory, A.V. Jeyarajasingam, S.A. Rutkowsky and C. Boritz, *Journal of chemical education*, 84 (2007) 322.
- [63] P.-C. Lin, S. Lin, P.C. Wang and R. Sridhar, *Biotechnology advances*, 32 (2014) 711.
- [64] E. Buhr, N. Senftleben, T. Klein, D. Bergmann, D. Gnieser, C. Frase and H. Bosse, *Measurement science and Technology*, 20 (2009) 084025.
- [65] K. Shamel, M. Bin Ahmad, E.A. Jaffar Al-Mulla, N.A. Ibrahim, P. Shabanzadeh, A. Rustaiyan, Y. Abdollahi, S. Bagheri, S. Abdolmohammadi and M.S. Usman, *Molecules*, 17 (2012) 8506.
- [66] Z.A. Ratan, M.F. Haidere, M. Nurunnabi, S.M. Shahriar, A. Ahammad, Y.Y. Shim, M.J. Reaney and J.Y. Cho, *Cancers*, 12 (2020) 855.
- [67] C.L. Keat, A. Aziz, A.M. Eid and N.A. Elmarzugi, *Bioresources and Bioprocessing*, 2 (2015) 1.
- [68] S. Deshmukh, S. Patil, S. Mullani and S. Delekar, *Materials Science and Engineering: C*, 97 (2019) 954.

### Introduction

L'objectif de cette partie est de présenter l'ensemble des manipulations qui sont effectuées dans le cadre de la préparation des nanoparticules d'argent par voie biologique. La partie expérimentale se compose de trois ensembles, le premier est une description de la plante utilisée comme source bioeducteur, le deuxième représente la partie chimique englobant la synthèse verte des nanoparticules d'argent par l'extrait de la plante. Le troisième regroupe l'ensemble des techniques de caractérisation du produit synthétisé (coloration, UV-Vis et détection).

## I. Matériels

### I.1 Description de la plante: LA MENTHE AQUATIQUE

*Mentha Aquatica* (c'est-à-dire appelé menthe d'eau) appartient à la famille de la menthe Lamiaceae, qui est planté dans des grandes zones, y compris l'Europe, au nord-ouest Afrique et Asie du sud-ouest. L'extrait de feuilles de *Mentha Aquatica* est enrichi avec divers composé biologiques, y compris les polyphénols, les flavonoïde et huiles essentielles qui en font une plante importante pour divers médicaments [1].



Figure 13: Représentation schématique et image de *Mentha Aquatica* L.

## II. Protocol expérimentale

### II.1. Préparation de l'extrait

Des feuilles fraîches de *Mentha Aquatica* L (domrane) ont été collectées et séchées à l'air, puis broyées à l'aide d'un mortier. Ensuite prend 2.5 g de poudre de feuille mélangé avec 100 mL d'eau distillé dans un ballon monocaule surmonté d'un réfrigérant, le mélange a subi un chauffage (80°C) et avec 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 à T= -4 °C.

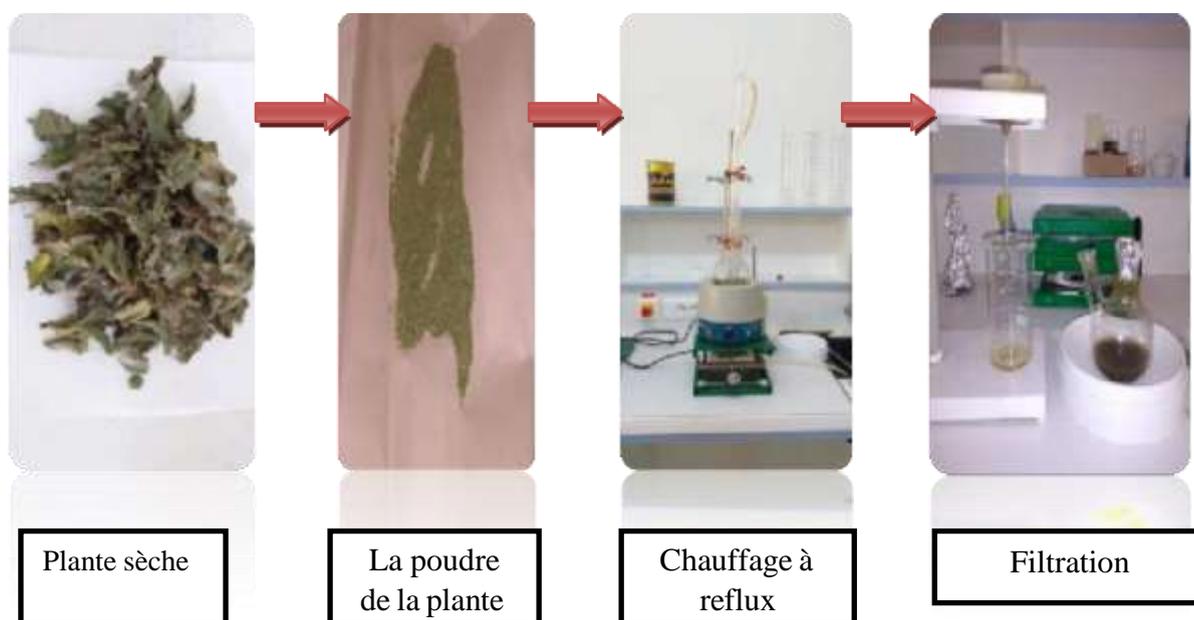


Figure 14 : les étapes de l'extraction.

## II.2. Préparation de nitrate d'Argent

Pour la synthèse des nanoparticules d'argent, et pour suivre l'influence de concentration de nitrate d'argent sur la formation des AgNPs ont été préparé différentes concentrations de solution de nitrate d'argent ( $8 \cdot 10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $3 \cdot 10^{-3}$ ,  $5 \cdot 10^{-3}$ ,  $7 \cdot 10^{-3}$ ,  $9 \cdot 10^{-3}$ ,  $8 \cdot 10^{-4}$ ) M

Tableau 5 : les solutions préparées d'AgNO<sub>3</sub> de différentes concentrations.

Solution	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C [AgNO <sub>3</sub> ]	$8 \cdot 10^{-2}$ g/mol	$10^{-3}$ g/mol	$3 \cdot 10^{-3}$ g/mol	$5 \cdot 10^{-3}$ g/mol	$7 \cdot 10^{-3}$ g/mol	$9 \cdot 10^{-3}$ g/mol	$8 \cdot 10^{-4}$ g/mol

### II. 3. Synthèse des nanoparticules d'argent

Un volume d'extrait de feuilles 0.5 ml (domrane) a été ajouté à 9.5 ml de solution aqueuse d'AgNO<sub>3</sub> sous une température ambiante. Le mélange de nitrate d'argent et l'extrait de feuilles (rapport 5%) à zéro de temps était jaune très claire, mais après quelque minutes la couleur change vers le marron, ce qu'indique la formation de nanoparticules d'argent. Les nanoparticules obtenues ont été analysé par spectrophotomètre UV-Vis (figure 15).

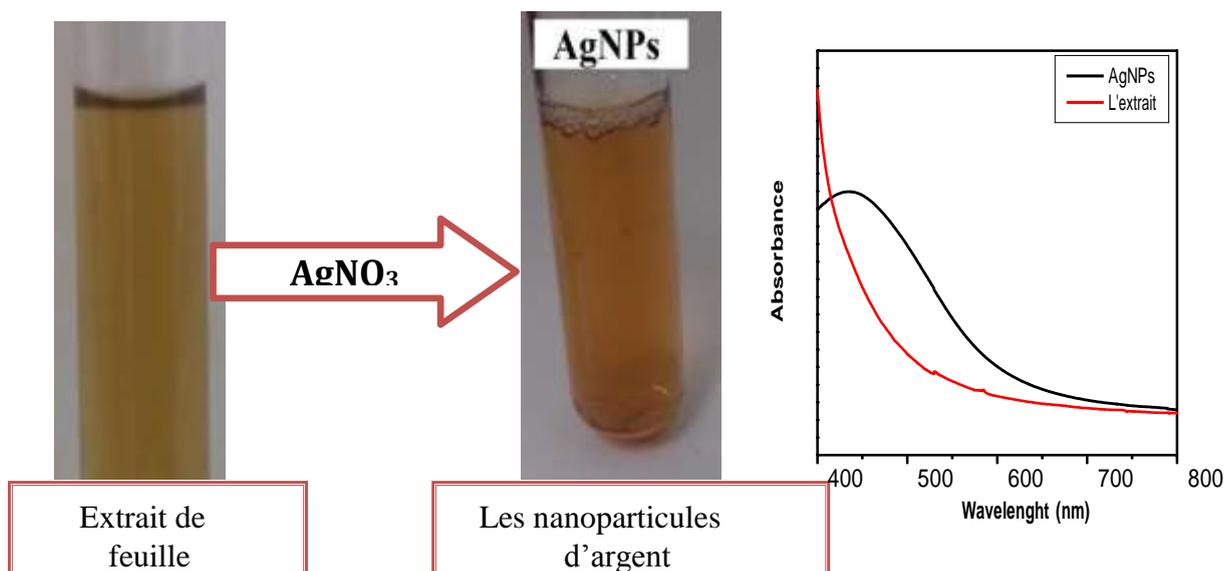


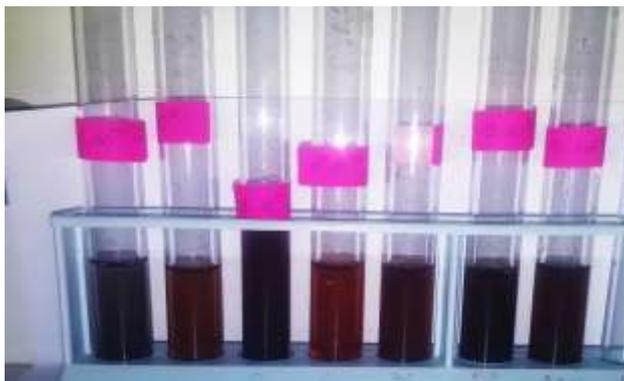
Figure 15: synthèse des nanoparticules d'argent.

#### II.3.1. Les paramètres influençant la formation des nanoparticules d'argent

##### a) Concentration d'AgNO<sub>3</sub>

Sept essais ont été réalisés, dans chaque essai ont été met 0.5 mL d'extrait du plant puis ajouté 9.5mL de la solution d'AgNO<sub>3</sub> de chaque concentration préparé.

Les solutions ont été 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.

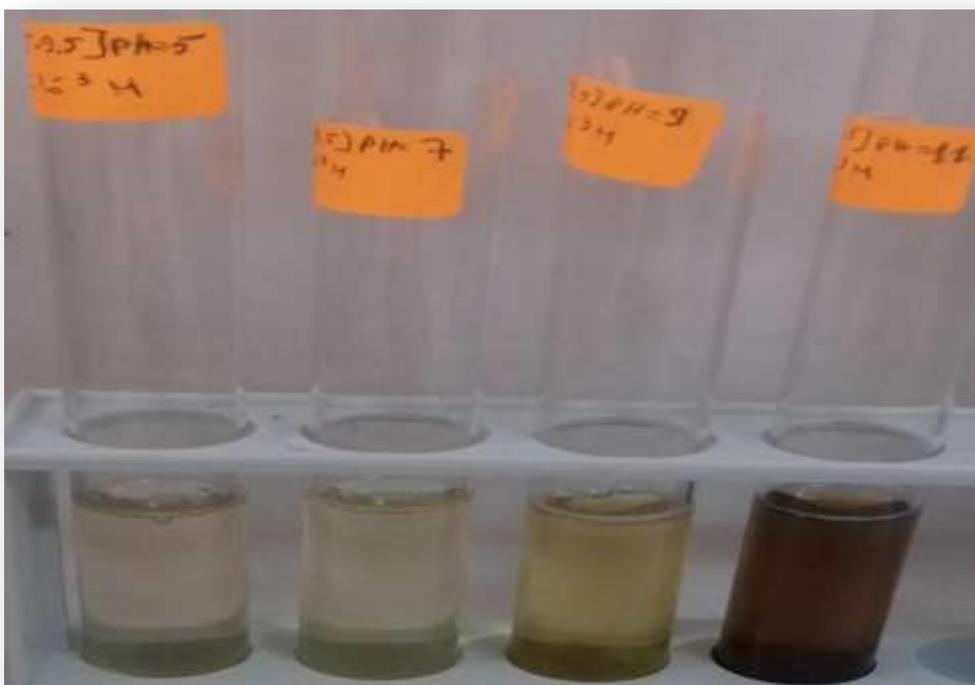


**Figure 16 :** Les tubes de différentes concentrations pour la formation des AgNPs.

### b) Le pH

Pour étudier l'influence du pH sur la vitesse de formation des AgNPs. On fait un dosage par le NaOH (1M) et le HCl (1M) pour obtenir les différents pH [5,7, 9 et 11] de l'extrait à l'aide de pH mètre.

Après le dosage, on prépare des mélanges de 5% de l'extrait et d'AgNO<sub>3</sub> de 3 mM pour chaque pH, puis analysé les échantillons après 10 min d'initiation par UV-vis.



**Figure 17 :** les échantillons de différents pH en premier instant

## II. 3.2 Le temps de formation

Pour étudier la cinétique de formation d'AgNPs, on prépare une solution de 10 ml d'un rapport 5% (0.5ml d'extrait et 9.5ml d'AgNO<sub>3</sub> de 3mM), puis On fait l'analyse UV-Vis de cette échantillon chaque 15min pour l'observation de la formation des AgNPs.

**Tableau 6** : Le changement de couleur de la solution de ( $3.10^{-3}$ ) M pendant 24h.

Le temps	02 min	15min	01h	2h	24 h
Les bouteilles					
La couleur	Jaune pale	Brun clair	brun	Brun colloïdale	Brun colloïdale

## III. Caractérisations

### III.1. UV-Visible

La spectroscopie UV-visible est l'outil de confirmation le plus couramment utilisé pour la détection de la propriété de résonance plasmonique de surface des AgNPs en laissant tomber une petite quantité de NPs synthétisées dans de l'eau distillée qui est ensuite soumise à des ultrasons pendant 10 min [2]. L'appareil utilisé est spectrophotomètre à double faisceau. L'analyse est effectuée entre 400 et 450 nm.



Figure 18 : Appareil d'UV-Visible de l'université d'Ain témouchent.

### IV. Applications des nanoparticules d'argent pour la détection du peroxyde d'hydrogène $H_2O_2$

Les nanoparticules synthétisées ont été appliquées avec succès à la détection colorimétrique du peroxyde d'hydrogène. L'addition d'un volume de 0.5 ml de  $H_2O_2$  (0.1M) à 1ml d'une solution d'AgNPs (de couleur marron foncée) provoque la décoloration de cette dernière après 5mn de réaction.

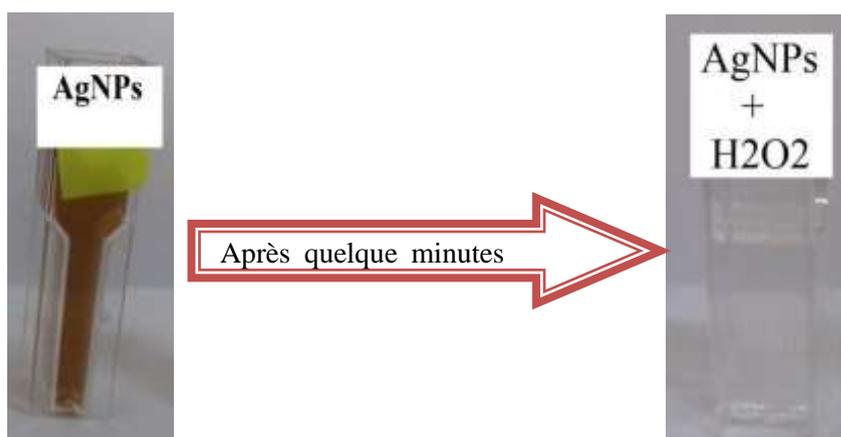


Figure 19 : illustration de la détection du peroxyde d'hydrogène par les nanoparticules d'argent.

#### IV.1. Préparation de solution $H_2O_2$ de 50%

Pour étudier l'influence des nanoparticules sur la détection de  $H_2O_2$ , on a préparé des solutions de  $H_2O_2$  de différentes concentrations (100  $\mu M$ , 80  $\mu M$  et 50  $\mu M$ ).

Pour la solution d'AgNPs on prend la solution de 0.7 ABS

**Tableau 7 :** Préparations de différentes concentrations de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Solutions	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>
C [μM]	100	80	50

**a) Expérience 01**

Pour étudier l'effet de concentration d'AgNPs sur la détection de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ont été versée 2 ml d'AgNPs préparée de concentration [01mMol] avec 1,5 ml de solution «H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>» de concentrations différentes (tableau 08), dans des tubes. Après ont été commencé l'analyse des échantillons par l'appareil UV-Visible.

**Tableau 8:** concentration constant de AgNPs / [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] variés.

	S <sub>0</sub> [100 μM]	S <sub>1</sub> [80 μM]	S <sub>2</sub> [50 μM]
V (ml)	1.5 ml (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) +2 ml AgNPs	1.5 ml (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) +2 ml AgNPs	1.5 ml (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) +2 ml AgNPs
Temps de détection (min)	8	16	22

**b) Expérience 02**

Pour étudier l'effet de volume H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dans la détection par d'AgNPs sur la détection, on prépare 1 mM d'AgNPs avec différents volumes de solution H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de concentrations [50μM] (tableau 09), et suivie la détection par l'appareil UV-Visible.

**Tableau 9 :** différents volumes de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de [50 μM] / concentrations constant d'AgNPs.

Volume(H2O2)ml	2	1.5	1
Volume (AgNPs)ml	2	2	2
Temps de détection(min)	20	22	24

### c) Expérience 03

Dans cette expérience ont été étudié l'effet de volume d'AgNPs sur la détection de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de concentrations constant [50 µM]. Et suivie par UV-vis pour chaque échantillon.

**Tableau 10** : différents volumes d'AgNPs / volumes constant de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> [50 µM] de chaque analyse.

	<b>Analyse 01</b>	<b>Analyse 02</b>	<b>Analyse03</b>
<b>V (ml)</b>	1.5 ml AgNPs +0.15ml (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	2.5 ml AgNPs +0.15 ml(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	3 ml AgNPs + 0.15ml (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )
<b>Temps de détection (min)</b>	19	30	40

### **Conclusion**

Nous avons synthétisé des nanoparticules d'argent par une synthèse verte non couteuse et respectueux de la nature par la réaction de  $\text{AgNO}_3$  dans l'extrait du plante *Mentha Aquatica* (domrane) et suivie la formation des nanoparticules à partir des déférentes conditions caractérisés par la spectroscopie UV-Visible.

Ensuite, nous avons étudiées l'effet des nanoparticules d'argent sur la détection de peroxyded'hydrogène.

Finalement, la synthèse a été suivie par un intervalle du temps.

### Les références

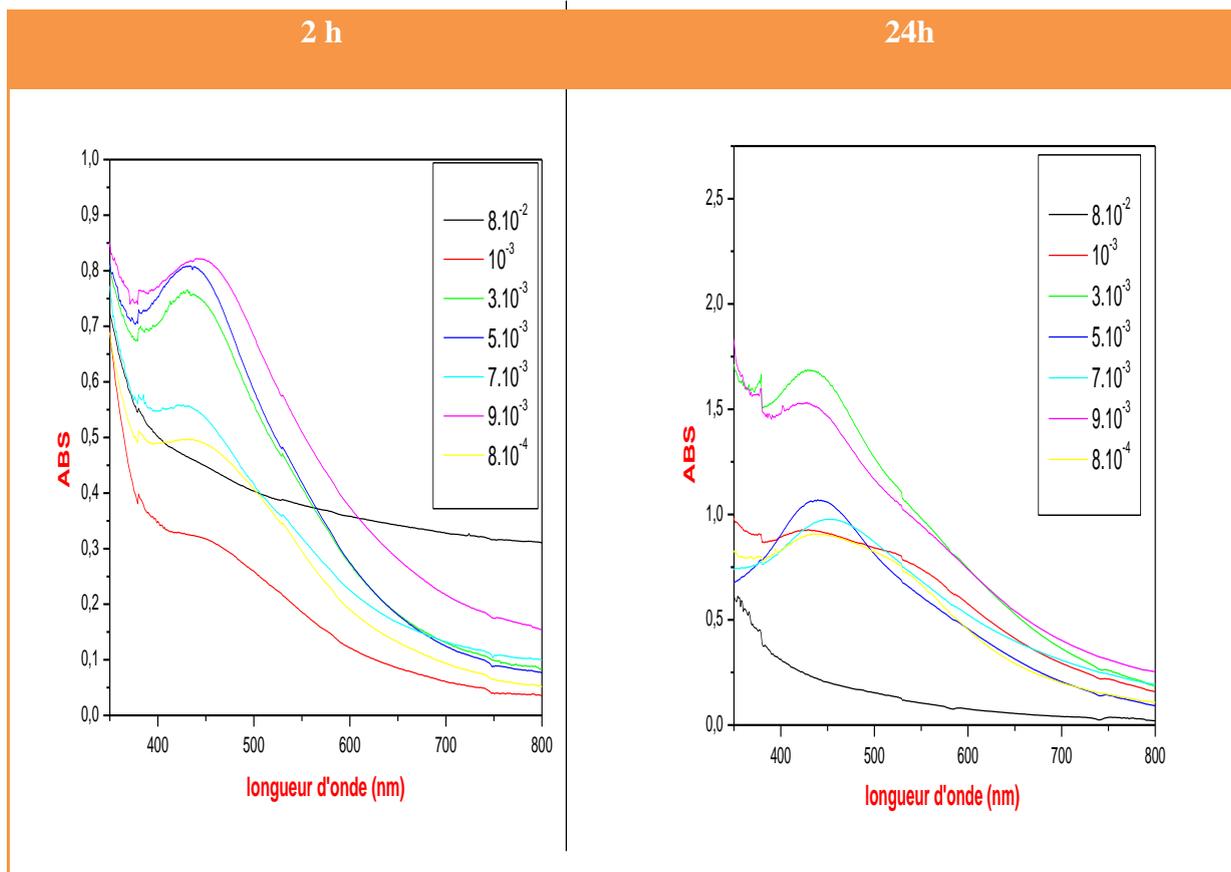
- [1] C. De Laet, T.K. Olszewski and C. Grison, Journal of Apicultural Research, 58 (2019) 714.
- [2] R. Sanghi and P. Verma, Bioresource technology, 100 (2009) 501.

### Introduction

Différentes méthodes biologiques sont de plus en plus reconnues pour la production de nanoparticules d'argent (AgNPs) en raison de leurs multiples applications. L'utilisation de plantes dans la synthèse verte de nanoparticules apparaît comme une approche rentable et respectueuse de l'environnement. Dans ce chapitre, la synthèse verte des nanoparticules d'argent en utilisant la plante *Mentha Aquatica*. Ces nanoparticule préparé sont caractérisées par le spectrophotomètre (UV-Vis), et appliqué les AgNPs comme un détecteur sur le peroxyde d'hydrogène.

### I. Effet de concentration d'AgNO<sub>3</sub> sur la formation des AgNPs

Les spectres d'absorption UV-vis des AgNPs préparés à l'aide de différentes concentrations d'AgNO<sub>3</sub>. On observe qu'une augmentation de la concentration d'AgNO<sub>3</sub> ( $3 \cdot 10^{-3}$ ,  $5 \cdot 10^{-3}$ ,  $7 \cdot 10^{-3}$ ,  $9 \cdot 10^{-3}$ ) entraînait une augmentation progressive de l'absorption maximale entre 430 et 460 nm, ce qui montre une réduction efficace d'Ag<sup>+</sup> en AgNPs à une concentration plus élevée d'AgNO<sub>3</sub>. Les données révèlent qu'indépendamment de la concentration d'AgNO<sub>3</sub> utilisée, des bandes de plasmons de surface similaires sont formées avec un petite décalage vers le bleu de la formation des AgNPs. Une augmentation du nombre des AgNPs a été observée dans la concentration moyenne d'AgNO<sub>3</sub> en 3 mM.

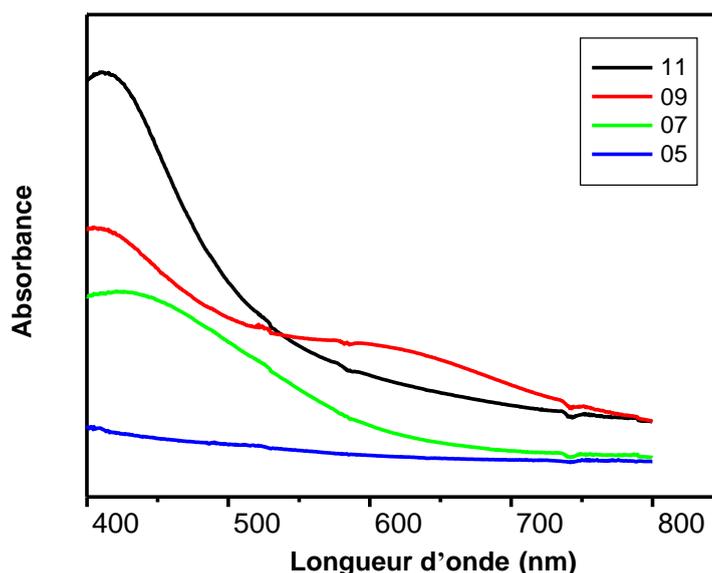


**Figure 20 :** Spectres UV-Vis des AgNPs de différentes concentrations d'AgNO<sub>3</sub> à différent temps.d' AgNO<sub>3</sub> à différent temps.

### II. Effet de pH sur la formation d'AgNPs

Le pH de la solution joue un rôle décisif dans la synthèse des AgNPs. L'effet du pH sur la synthèse d'AgNPs a été étudié en effectuant des réactions à différents pH (5, 7, 9 et 11) en utilisant 5% de l'extrait et 3 mM d'AgNO<sub>3</sub>. Au pH acide (pH 5), aucun pic de surface plasmons n'a été observé dans la région visible, ce qui est une caractéristique des AgNPs. Cela suggère que le pH acide n'est pas favorable à la synthèse des Ag NPs. Comme on le voit sur la **figure 21**, avec une augmentation de l'intensité de la bande d'absorption a été observée dans des conditions alcalines (pH 7, 9 et 11) en raison de la formation accrue d'AgNPs.

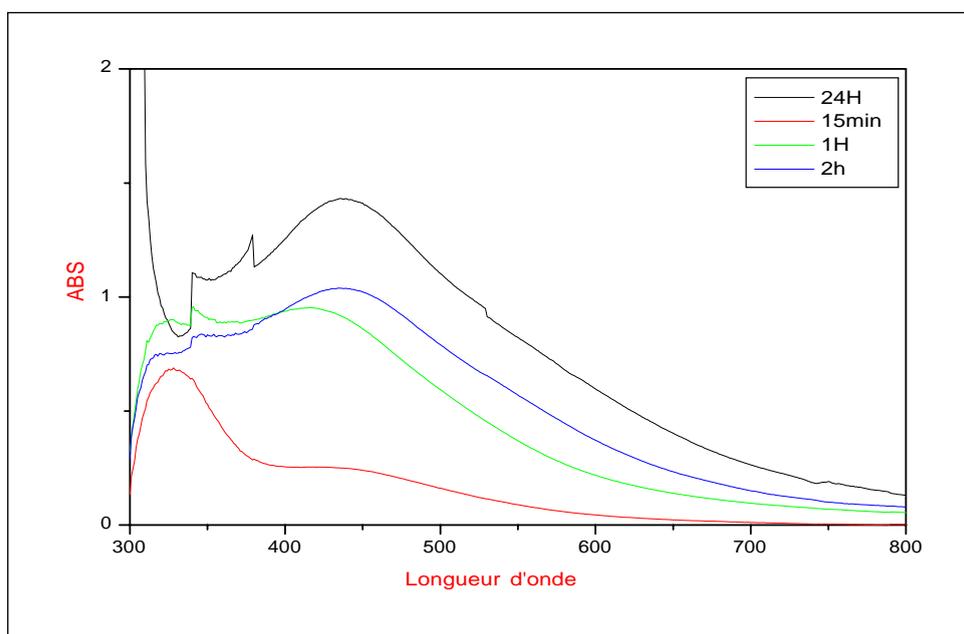
La bande d'absorption caractéristique à 430 nm dans le spectre UV-vis à pH=11 confirme la formation des nanoparticules d'argent qui correspond la surface de résonances plasmonique des AgNPs dans le milieu basique.



**Figure 21:** les spectres UV-vis des nanoparticules d'argent de pH 5, 7, 9, 11.

### III. La cinétique de formation des AgNPs

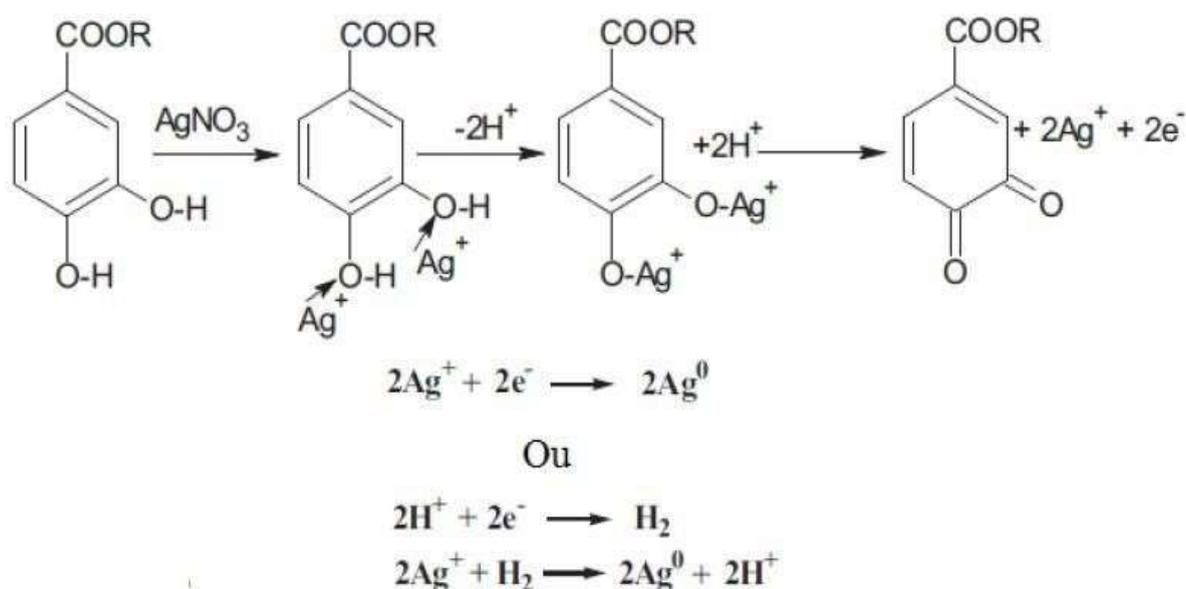
Le changement de couleur du jaune au brun a été remarqué à 15 min d'addition d'extrait de plante au nitrate d'argent. Les bandes d'absorption obtenus entre les 430-450 nm confirmés la biosynthèse de nanoparticules d'argent. L'intensité des bandes augmente avec l'augmentation du temps, ce qui indique la génération de plus en plus de nanoparticules et stabilité des nanoparticules biosynthétisée. L'augmentation de l'absorbance était plus élevée pendant l'intervalle de temps de 1h à 2h et 2h -24h. L'augmentation de l'absorbance en fonction de temps reviens à l'augmentation de nombre des nanoparticules ce qui indiquer la réduction de nitrate d'argent à nanoparticules d'argent.



**Figure 22:** Les spectres UV-Vis des AgNPs de solution ( $3 \cdot 10^{-3}$ ) M au cours du temps différents.

#### IV. Mécanisme de formation des nanoparticules d'argent :

Le mécanisme de formation des nanoparticules est tiré de la littérature en tenant compte du fait que l'extrait de la plante est très riche en polyphénols. La présence de  $Ag^+$  provoque l'oxydation des groupement hydroxyles pour former un complexe d'argent intermédiaire puis une quinone et des ions  $Ag^+$ , ces derniers sont réduits en Ag métallique en présence d'électrons libres.



**Figure 23 :** le mécanisme de formation des AgNPs.

## CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

La stabilité colloïdale des nanoparticules est assurée par l'interaction entre les hydrogènes du groupement phénolique de l'extrait aqueux et les nanoparticules d'argent chargées négativement. A la fin de la formation et stabilisant, les AgNPs prennent une forme sphérique.

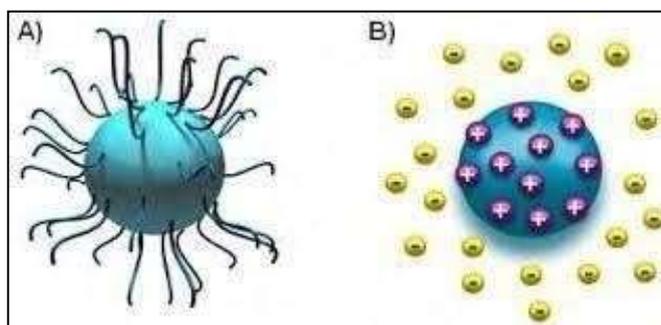


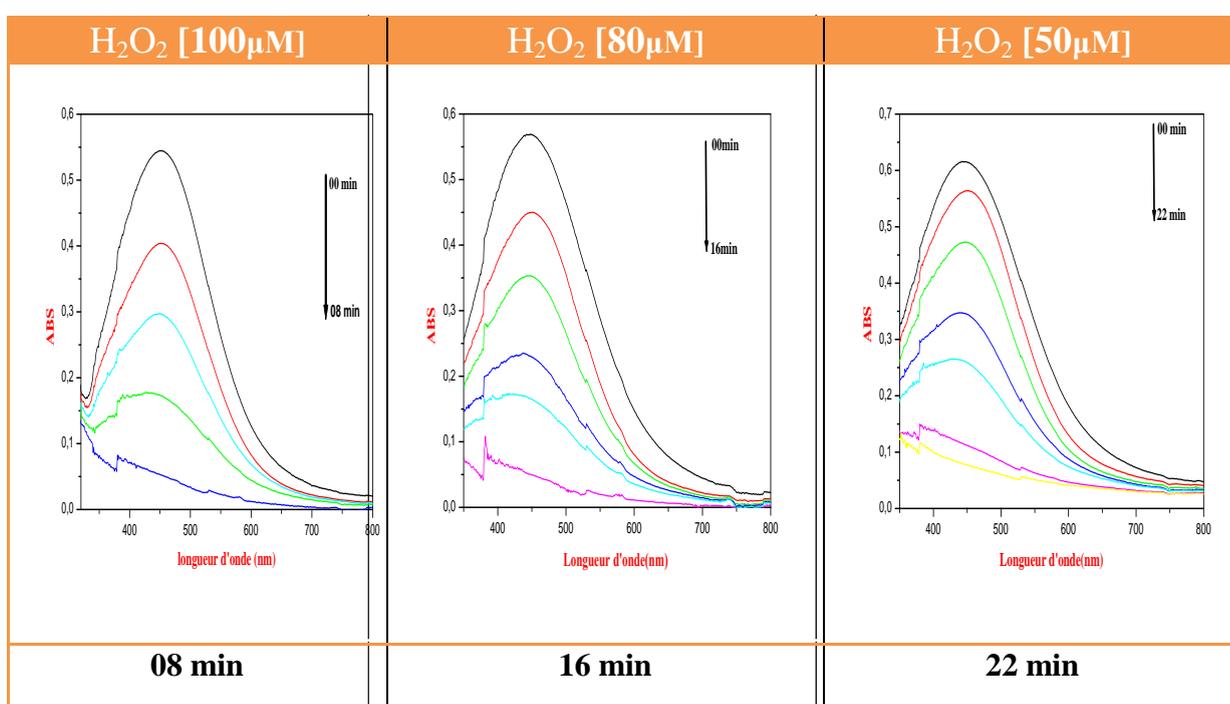
Figure 24 : stabilisation des AgNPs.

### V. Applications :

#### V.1. La détection de peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) par les AgNPs :

$H_2O_2$  est un agent oxydant puissant. Il oxyde les AgNPs et convertit la forme  $Ag^0$  en  $Ag^+$  en perdant les caractéristiques des nanoparticules. En conséquence, la solution AgNPs, à l'origine de couleur jaune, est progressivement devenue incolore. Par conséquent, un changement remarquable dans la force d'absorption de résonance plasmonique localisée de surface a également été observé [2].

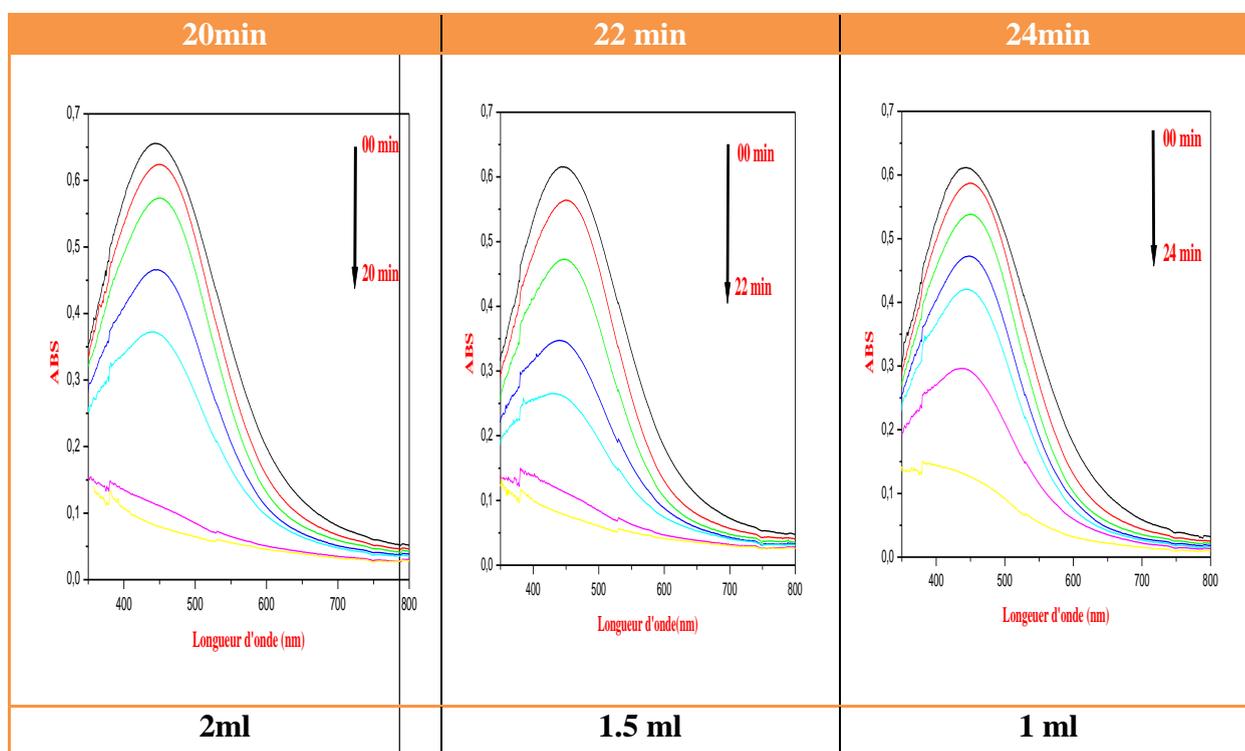
Tableau 11 : la détection de  $H_2O_2$  de concentrations variées par AgNPs de volumes et concentration constant.



## CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

Les AgNPs ont été étudiés pour leur sensibilité au  $H_2O_2$ , avec différentes concentrations de  $H_2O_2$ . Il a été observé sur le **tableau11**. Qu'avec l'augmentation de la concentration de  $H_2O_2$ , l'absorbance des nanoparticules diminue et prend moins du temps ([100 $\mu$ M], [80 $\mu$ M], [50 $\mu$ M] prend respectivement 8min, 16min, 22min). Une diminution de la bande SPR en fonction de la concentration de  $H_2O_2$ . Il été observé aussi la décoloration des solutions analysés de couleur brun à transparente.

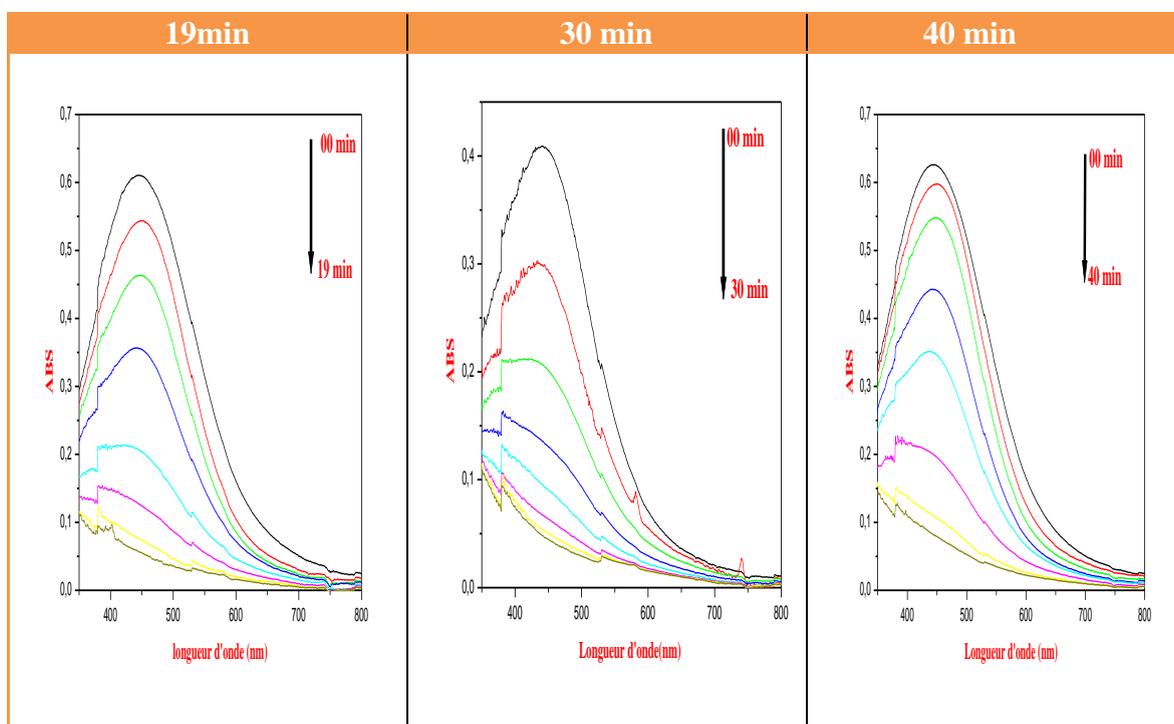
**Tableau 12** : la détection de  $H_2O_2$  de concentrations [50 $\mu$ M] de volumes variées et d'AgNPs de volumes constante (2 ml).



Avec une concentration stable de  $H_2O_2$  [50 $\mu$ M]. Il a été observé sur le **tableau12**, qu'avec l'augmentation de volume de  $H_2O_2$ , l'absorbance des nanoparticules diminue et prend moins du temps (2ml, 1.5ml, 1ml prend respectivement 20min, 22min, 24min). Une diminution des bande SPR en fonction de la des variations des volumes de  $H_2O_2$ .

## CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

**Tableau 13 :** la détection de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de concentrations [50μM] de volumes constants par des AgNPs de volumes variées.

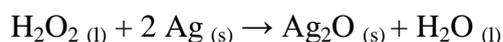


Avec une concentration stable de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> [50μM]. Il a été observé sur le **tableau13**, qu'avec l'augmentation de volume d'AgNPs, l'absorbance des nanoparticules diminue et prend plus du temps (1.5ml, 2.5ml, 3ml prend respectivement 19min, 30min, 40min). Une diminution des bande de SPR en fonction de la des variations des volumes d'AgNPs.

### Explication :

La présence d'AgNP bien dispersé rend la suspension de couleur jaune. Après ces étapes simples, le capteur est prêt à l'emploi.

Lors de l'addition d'un analyte fortement oxydant comme H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, le processus inverse se produit, entraînant l'oxydation de l'AgNPs et à la formation consécutive d'oxyde d'argent (Ag<sub>2</sub>O). Tandis que le peroxyde est décomposé dans l'eau et l'oxygène [3]. L'oxiréduction se produit comme décrit par l'équation chimique suivante :



En conséquence, la solution tend à redevenir incolore, et la diminution de son absorption est proportionnelle à la concentration de l'analyte. Le blanchiment se produit en conséquence de la diminution de la taille des AgNPs [4] et de la formation de Ag<sub>2</sub>O (qui ne présente pas d'absorbance dans la région du spectre 400-500 nm). Pas d'absorbance dans cette région du spectre d'absorption UV.

### Conclusion

Les nanoparticules d'argent ont été préparées par la méthode biologique ; ce procédé nous semble particulièrement intéressant car :

- Les biomolécules présentes dans l'extrait aqueux jouent à la fois le rôle d'agent réducteur et d'agent stabilisant. Aucun autre additif de type solvant, tensioactif, ou autre réducteur, chimique n'est nécessaire
- Le procédé est simple, rapide et peu coûteux en énergie

Les nanoparticules ainsi préparées ont été utilisées comme détecteur colorimétrique de  $H_2O_2$  en milieu aqueux

### Références

- [1] R. Sarkar, P. Kumbhakar and A. Mitra, Dig. J. Nanomater. Biostruct, 5 (2010) 491.
- [2] C.K. Tagad, S.R. Dugasani, R. Aiyer, S. Park, A. Kulkarni and S. Sabharwal, Sensors and ActuatorsB: Chemical, 183 (2013) 144.
- [3] Farrokhnia, M., S. Karimi, et al. "Colorimetric sensor assay for detection of hydrogen peroxide using green synthesis of silver chloride nanoparticles: Experimental and theoretical evidence." Sensors and Actuators B: Chemical (2017). **246**
- [4] Naik, A. N., S. Patra, et al. (2018). "Nafion membrane incorporated with silver nanoparticles as optical test strip for dissolved hydrogen peroxide: Preparation, deployment and the mechanism of action." Sensors and Actuators B: Chemical **255**: 605-615.

## CONCLUSION GENERAL

---

Ces dernières années, on s'intéresse de plus en plus à l'étude des nouvelles nanoparticules métalliques. En particulier, Les nanoparticules d'argent qui ont des propriétés physico-chimiques distinctives, notamment une haute conductivité thermique, stabilité chimique, activité catalytique et comportement optique non linéaire.

La synthèse biologique des AgNPs à partir de matériaux biocompatibles et biodégradables, comprend des bactéries, des champignons, des algues et des extraits de plantes. Récemment, un certain nombre de parties de plantes telles que les fleurs, les feuilles et les fruits, ont été utilisées pour la synthèse des AgNPs, ce qui rend cette synthèse populaire en raison de sa nature relativement polyvalente où les extraits de métabolites secondaires collectés à partir des sources biologiques contiennent de nombreuses biomolécules telles que les polyphénols qu'ils ont des propriétés réductrices responsables de la réduction des composés métalliques dans leurs nanoparticules respectives.

Donc Notre objectif était de synthétiser des nanoparticules d'argent par une procédure simple et respectueuse de l'environnement à faible coût, reproductible évolutive et économique contrairement aux méthodes chimiques. Les nanoparticules d'argent ont été synthétisées avec succès à l'aide extrait de feuille de plante médicinale. L'analyse UV-visible montre l'apparition d'une bande à 430 nm propre à la formation des nanoparticules d'argent.

Le processus de synthèse, la formation des AgNPs dépend de manière critique sur le pH, la concentration de réactif et le temps de réaction. Aussi, il a montré que la vitesse de formation des nanoparticules d'argent est accélérée en milieu basique. En modifiant ces paramètres environnementaux, la taille et la forme des nanoparticules synthétisées peuvent être modifiée.

Les AgNPs ont montrés leur efficacité comme détecteur colorimétrique de  $H_2O_2$ , l'addition de ce dernier à une solution des AgNPs d'un couleur marron foncé la décolore.

## Abstract

Nanotechnology is exploring a variety of promising approaches in the field of materials science at the molecular level, and silver nanoparticles (AgNPs) are of major interest at this time. To develop a simple and fast procedure for the biological synthesis of these nanoparticles we use *Mentha Aquatica* leaf extract (domrane) and by an inexpensive and environmentally friendly protocol.

The characterization of the obtained nanoparticles is done by UV-Visible spectroscopy, the position of the plasmon band is between 433 and 445 nm. Different parameters such as various concentration of  $\text{AgNO}_3$  and different pH were performed on the formation of AgNPs which show that the basic medium indicating an improvement of the formation of AgNPs. The synthesized AgNPs show the ability to detect hydrogen peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) in the environment. Finally, the green synthesis of silver nanoparticles is done under controlled conditions can be adopted in various industrial and research applications.

## Résumé

La nanotechnologie explore une variété d'approches prometteuses dans le domaine des sciences des matériaux au niveau moléculaire, et les nanoparticules d'argent (AgNPs) sont d'un intérêt majeur dans ce moment. Pour développer une procédure simple et rapide pour la synthèse biologique de ces nanoparticules on utilise l'extrait de feuille de *Mentha Aquatica* (domrane) et par un protocole non coûteux et respectueux de l'environnement.

La caractérisation des nanoparticules obtenue se fait par la spectroscopie UV-Visible, la position de la bande plasmons se situe entre 433 et 445 nm. Différents paramètres tel que la concentration variés d' $\text{AgNO}_3$  et différents pH était effectuées sur la formation des AgNPs qui montrent que le milieu basique indiquant une amélioration de la formation des AgNPs. Les AgNPs synthétisés montrent la capacité de détecter le peroxyde d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) dans l'environnement. Finalement, la synthèse verte des nanoparticules d'argent se fait dans des conditions contrôlées peut être adopté dans diverses applications industrielles et de recherche.

## ملخص

تستكشف تقنية النانو مجموعة متنوعة من الأساليب الواعدة في مجال علم المواد على المستوى الجزيئي ، وتحظى جسيمات الفضة النانوية باهتمام كبير في هذا الوقت. لتطوير إجراء بسيط وسريع للتوليف البيولوجي لهذه الجسيمات النانوية ، نستخدم مستخلص أوراق النعناع أكواتيكا (دومرين) وبروتوكول غير مكلف وصديق للبيئة. يتم توصيف الجسيمات النانوية التي تم الحصول عليها عن طريق التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية المرئية ، ويكون موضع شريط الطحين بين 433 و 445 نانومتر. تم إجراء معاملات مختلفة مثل التركيز المتنوع لنترات الفضة ودرجة الحموضة المختلفة على تكوين جسيمات الفضة النانوية والتي توضح أن الوسط الأساسي يشير إلى تحسن في تكوين هذه الجسيمات النانوية.

تظهر جسيمات الفضة النانوية المركبة القدرة على اكتشاف بيروكسيد الهيدروجين في البيئة. أخيرًا ، يمكن اعتماد التخليق الأخضر للجسيمات النانوية الفضية في ظل ظروف خاضعة للرقابة في العديد من التطبيقات الصناعية والبحثية.