



Synthèse et caractérisation de nanoparticules d'argent dopées au *Curcuma longa* application à la santé

Synthesis and characterization of silver nanoparticles doped with *Curcuma longa*: application to health

Bilonda Mucipayi Jaél ¹, Lokango Okintambolo Olivier ², Okoto Washema Mamie-Alice ², Muaku Bumba Aimé ², Kisensi Kalambayi Ravi ², Gefeu Loela Steven ², Samba Lokombe Christian ², Kasilemba Mponga Phany ², Masunda Tuwisana Adrien ¹, Mulongo Masamba Raphaël ^{1,2}

¹ Institut Supérieur Techniques Médicales de Kinshasa (ISTM/Kinshasa), B.P.774 Kinshasa XI, R.D. Congo

² Centre de Recherches Géologiques et Minières (CRGM), B.P.898 Kinshasa/Gombe, R.D. Congo

This is an open access article under the [CC BY-NC-ND](#) license.



Abstract: In this work, we tested the antibacterial efficacy of silver nanoparticles synthesized using an environmentally friendly method, green synthesis. The synthesized materials were applied in the medical field. The nanoparticles formed were characterized by colorimetry, by monitoring the variation in color as a function of reaction time, and by spectrophotometry, by determining the plasma resonance surface area (PRS) between 400 and 470 nm. The antioxidant capacity of the total turmeric extracts was determined by the FRAP assay, which evaluated the ability of the antioxidants to reduce ferric iron (Fe^{+3}) to ferrous iron (Fe^{+2}). The values were 322,75 and 331,25 mg AEA/100 g DW for the aqueous and alcoholic extracts, respectively. This is directly related to the presence of antioxidants in *Curcuma longa* and the solvents. Secondary metabolites were used as a coating agent (Curcumin) to protect the agent nanoparticles from oxidation. The resulting colloidal solution of the nanoparticles was tested on two bacterial strains: *Staphylococcus aureus* (Gram-positive) and *Escherichia coli* (Gram-negative). The Minimum Inhibitory Concentration (MIC) was 0,027; 0,078, and 0,014 mg/ml for *Escherichia coli* and 0,054; 1,262; and 0,056 mg/ml for *Staphylococcus aureus*, depending on the water/alcohol ratio. The results demonstrate the antibacterial efficacy of all the synthesized silver nanoparticles against the different strains studied.

Keywords: Green synthesis, Silver nanoparticles, *Curcuma longa*, bacterial strains, Minimum inhibitory concentration.

Résumé: Dans ce travail, nous avons tester l'efficacité antibactérienne de nanoparticules d'argent synthétisées par une méthode respectueuse d'environnement, la synthèse verte. Des matériaux synthétisés ont été appliqués dans le domaine médical. Les nanoparticules formées ont été caractérisées par colorimétrie en suivant la variation de la coloration en fonction de la durée de la réaction et par spectrophotométrie en déterminant la surface plasmique de résonance (SPR) entre 400 et 470 nm. Le pouvoir antioxydant des extraits totaux de Curcuma a été déterminé par le test FRAP qui a évalué la capacité des antioxydants à réduire le fer ferrique (Fe^{+3}) en fer ferreux (Fe^{+2}) qui est égal 322,75 et 331,25 mgEAA / 100g MS pour les extraits aqueux et alcoolique respectivement si est directement lié à la présence des antioxydants dans le *Curcuma longa* et aux solvants. Les métabolites secondaires ont été utilisés comme agent d'enrobage (Curcumine) en vue de protéger les nanoparticules d'agent contre l'oxydation. La solution colloïdale des nanoparticules obtenue a été testée sur deux souches des germes notamment le *Staphylococcus aureus* pour le gram positif et le *Escherichia coli* pour le gram négatif. La Concentration Minimale Inhibitrice (CMI) a été de 0,027; 0,078; 0,014 mg/ml pour *Escherichia coli* et de 0,054; 1,262; 0,056 mg/ml pour *Staphylococcus aureus* selon le rapport eaux/alcool. Les

résultats montrent une efficacité antibactérienne de l'ensemble des nanoparticules d'argent synthétisées sur les différentes souches étudiées.

Mots – clés: Synthèse verte, Nanoparticules d'argent, *Curcuma longa*, Souches des bactériennes, Concentration minimale inhibitrice.

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.23665614>

1 INTRODUCTION

De nos jours, la résistance bactérienne aux antibiotiques est considérée comme un problème de santé publique dans divers domaines tels que l'industrie agroalimentaire, le domaine biomédical et chirurgical avec des grandes pertes économiques. D'où la nécessité de lutter contre la résistance (1,4,5).

Ces dernières années, les maladies infectieuses émergentes, ainsi que l'augmentation des coûts du système de santé font que des pistes de solutions sont recherchées. La nécessité de lutter contre les bactéries multi résistantes justifie l'intérêt croissant pour le domaine de recherche dédié à la nanotechnologie. Les nanoparticules métalliques sont l'un des principaux pistes de solutions utilisés également pour la préparation des médicaments, des vecteurs de molécules actifs pour combattre certaines maladies (2,13,17).

Les propriétés biocides de l'argent ionique sont connues depuis très longtemps, celles de particules d'argent métalliques de façon beaucoup plus récente incorporées à l'échelle nanométrique dans les métabolites, elles peuvent donc être envisagées comme agent bactéricide, le problème étant d'avoir une bonne dispersion et une bonne stabilité. Le grand problème qui se pose est lorsque les nanoparticules sont synthétisées par des méthodes chimiques utilisant les produits chimiques toxiques et dangereux. Ainsi la synthèse verte est une méthode écologique et rentable pour un développement durable.

Cette méthode peu coûteuse, rapide et efficace conduit à la formation des nanoparticules de formes variées, avec une taille inférieure à 100 nm. Pour les stabiliser, on utilise des molécules organiques issues des plantes enfin de les enrobées et les protégées par leur pouvoir antioxydant (3,7,16). c'est ainsi que notre choix dans ce travail est porté sur la plante *Curcuma longa*. La question que l'on se pose est de savoir: les extraits du *Curcuma longa* peuvent-ils stabiliser les nanoparticules d'argent colloïdales et ces dernières sont-elles efficaces vis-à-vis de certaines bactéries résistantes ? Etant donné que le *Curcuma longa* a des propriétés antioxydantes et antimicrobiennes, nous estimons que les nanoparticules d'argent dopées au *Curcuma longa* apportent une synergie contre certaines bactéries résistantes sélectionnées.

Le but principal de ce travail est de tester l'efficacité antibactérienne des nanoparticules d'argent synthétisées par la méthode de verte et caractérisées par calorimétrie et une méthode physico-chimique. L'intérêt de cette étude réside dans la formulation des nouveaux agents antibactériens efficaces contre les bactéries résistantes aux antibiotiques couramment utilisés. Pour se faire, les objectifs spécifiques que nous nous sommes fixés sont :

- Préparer les extraits totaux de *Curcuma longa* ;
- Préparer la solution de nitrate d'argent qui sera réduit en nanoparticules d'argent enrobées en curcumine, constituant majeur de cette dernière ;
- Caractériser ces nanoparticules ;

- Évaluer leur pouvoir antioxydant par la méthode ferric activity power (FRAP);
- Et enfin de déterminer la Concentration Minimale Inhibitrice (CMI).

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 MATERIELS

2.1.1 Cadre de l'étude

Cette étude s'est déroulée au sein de l'institut supérieur des techniques Médicale de Kinshasa (ISTM). Les opérations de synthèse de nanoparticules d'argent par la chimie verte ont été effectuées au laboratoire de recherche de chimie et de biochimie de l'ISTM. Quant aux tests bactériologiques, ils ont été réalisés au laboratoire de bactériologie de recherches chimie et biochimie de l'ISTM. Nos investigations sur l'activité antibactérienne de nanoparticules d'argent dopée au *Curcuma longa* ont été réalisées pendant deux mois durant la période du 8 Mars au 8 Mai 2022.

2.1.2 Matériel végétal

Curcuma longa est une plante tropicale qui appartient à la famille des zingibéracées. Elle comporte un rhizome qui est une source de produits naturels appelé curcuminoïde qui sont souvent utilisés en médecine traditionnelle (16,18,25).

2.1.3 Matériel biologique

Deux souches bactériennes ont été utilisées pour l'étude de l'activité anti microbienne, bactérie gram positif (*Staphylococcus aureus*) et bactérie gram négatif (*Escherichia coli*).

2.1.4 Matériel synthétique :

Les nanoparticules d'argent produit in vitro et dopée à la curcumine provenant des extraits aqueux totaux de *Curcuma longa*.

2.1.5 Matériels et Réactifs utilisés

a. Matériels utilisés

- Spectrophotomètre UV-Visible marque V-730ST–JASCO: Compacité, double faisceau et haute précision multi-applications ;
- Centrifugeuses à tubes (DLAB) ;
- Etuve ;
- Incubateur ;
- Broyeur mécanique ;
- Becher ;
- Tubes à essai ;
- Ballon rond à fond plat ;
- Portoir pour tubes ;
- Erlenmeyer ;

- Pipette pasteur ;
- Papier filtre ;
- Gaz hydrophile ;
- Pied graduée ;
- Chronomètre ;
- Lampe à l'alcool ;
- Anse de platine ;
- Boîte de pétrie ;
- Ouate ;
- Marmite à précision ;
- Balance à précision ;
- Pince métallique ;
- Ecouvillon stérile ;
- Plaque chauffante ;
- Boîte d'allumette ;
- Papier buvard ,etc.

b. Réactifs

- Milieu Muller Hinton ;
- Produit biologique ;
- Eau distillée ;
- Ethanol 70% ;
- Eau physiologique ;
- Nitrate d'argent (AgNO_3) ;
- Ferricyanure de potassium ($\text{C}_6\text{N}_6\text{Fe}_6\text{K}_3$) 1% ;
- Blanc d'œuf ;
- Tampon phosphate salin (0.2 M ; pH 6.6) ;
- Chlorure ferrique (FeCl_3) (10%) ;
- Acide trichloracétique ($\text{C}_3\text{HCl}_3\text{O}_2$) (10%),etc.

2.2 MÉTHODES

2.2.1 Echantillonnage

Les échantillonnages des rhizomes de *Curcuma longa* provenant de la province du Kongo central ont été achetés au rond point Ngaba. Ces rhizomes bien nettoyés ont été séchés et broyés finement en poudre et celle-ci conditionnée dans les flacons plastiques hermétiquement fermés. Un échantillon biologique de *Staphylococcus aureus* et un autre de *Escherichia coli* provenant du laboratoire de bactériologie des cliniques universitaires de Mont- Amba.

Les différentes méthodes exploitées dans cette étude :

- Préparation de l'extrait aqueux du *Curcuma longa* ;
- Préparation de la solution de nitrate d'argent de *Curcuma longa* ;
- Préparation des nanoparticules dopées au *Curcuma longa* solution colloïdale ;
- Caractérisation d'AgNPs/Eaq *Curcuma longa* ;

- Test de l'activité antibactérienne d'AgNPs/E Aq *Curcuma longa*.

2.2.2 Préparation de l'extrait total du *Curcuma longa*

L'extrait aqueux du *Curcuma longa* a été préparé suivant ces étapes :

- Les rhizomes doivent être avant tout nettoyés et séchés à l'étuve pendant 24 heures dans une température de 60°C ;
- Les curcumas séchés sont broyés à l'aide du mixer jusqu'à l'obtention d'une poudre fine ;
- 7 grammes de cette poudre est ajouté à 35 ml de solution eau/éthanol (3/7, v/v) le tout est mélangé sous agitation magnétique pendant 24 heures ;
- La solution est centrifugée, puis récupérer le surnageant (partie liquide).

2.2.3 Préparation de la solution de nitrate d'AgNO₃

- Peser 0,17g de nitrate d'argent ;
- Remplir de l'eau distillée au 1/3 d'un ballon jaugé à fond plat ;
- Ajouter l'AgNO₃ versé dans le ballon jaugé ;
- Dissoudre le nitrate d'argent dans l'eau distillée ;
- Agiter vigoureusement ;
- Ajuster au trait de jauge en ajoutant de l'eau distillée ;
- Agiter avec un barreau magnétique la solution ;
- Couvrir cette solution et garder à l'abri de la lumière.

2.2.4 Préparation de la solution colloïdale des nanoparticules d'argent à base de la solution hydro alcoolique de *Curcuma longa*

- Diluer successivement 1 ml de la solution de l'extrait total du *Curcuma longa* dans 30, 50, et 70 ml de la solution AgNO₃ ;
- Agiter les solutions résultantes pendant une heure sous agitation magnétique ;
- Les solutions résultantes sont gardées dans des flacons colorés et à l'abri de la lumière pour les applications ultérieures.

2.2.5 Spectrophotométrie UV- Visible

a. Principe :

Elle consiste à l'interaction entre matière et la lumière lorsqu'une lumière monochromatique traverse une solution, l'intensité de la lumière absorbée est proportionnelle à la concentration de l'analyte, à absorptivité propre de la substance et l'épaisseur de la solution. Le spectre d'absorption d'un composé est obtenu en effectuant un balayage dans la zone d'absorption de la densité optique en fonction de la longueur d'onde (9).

$$A = \epsilon \cdot l \cdot C$$

Avec :

- A= Absorbance ou D.O ;
- ϵ = Coefficient extinction moléculaire ;
- l= Longueur du trajet optique ;
- C= Concentration.

b. Mode opératoire

- Placer dans le spectrophotomètre le blanc et l'échantillon contenant la solution colloïdale des AgNPs dopée au *Curcuma longa* ;
- Mesurer la longueur d'onde maximale en balayant la zone entre 400 et 500 nm.

2.2.6 Détermination du pouvoir antioxydant de l'extrait de *Curcuma longa*

a. Principe

L'évolution est basée sur la réaction de réduction du (Fe^{3+}) présent dans le complexe ferricyanure de potassium en (Fe^{2+}), la réaction est révélée par le virement de couleur jaune du fer ferrique (Fe^{3+}) en couleur bleue verte du fer ferreux (Fe^{2+}), l'intensité de cette colorisation est mesurée par le spectromètre à 700 nm.

b. Mode opératoire :

- Prélever 0,5 ml d'extrait à différente concentration est mélangé avec 1,25 ml d'une solution tampon phosphate 0,2M ;
- 1,25 ml d'une solution de ferricyanure de potassium à 1% dans 100 ml d'eau distillée ;
- Incuber à 50°C pendant 20 minutes ;
- Laisser refroidir ;
- 2,5 ml d'acide trichloracétique à 10% sont ajoutés pour stopper la réaction ;
- 1,25 ml du surnageant sont ajoutés à 1,25 ml d'eau distillée d'une solution et 250 microlitre d'une solution de chlorure ferrique à 10% ;
- La lecture de fait contre un blanc à 700 nm (blanc : en remplaçant l'extrait par l'eau distillée qui permet de calibrer la machine ;
- Le contrôle positif est représenté par l'acide ascorbique dont l'absorbance a été mesuré dans les mêmes conditions que les échantillons.

2.2.7 Détermination de l'activité antibactérienne des AgNPs à base de la solution hydro alcoolique de *Curcuma longa*

Méthode de dilution

a. Principe

La détermination de l'activité de l'AgNPs/Eaq *Curcuma longa* a été effectué par la méthode de dilution successive dans de bouillons ou de la gélose, qui est alorsensemencé avec les bactéries à tester. La concentration la plus faible empêchant toute croissance après incubation de 18 à 24 heures pour la

méthode de dilution est connue sous le nom de la Concentration Minimale Inhibitrice (CMI) de l'antibiotique testé.

b. Mode opératoire

Préparation de l'inoculum

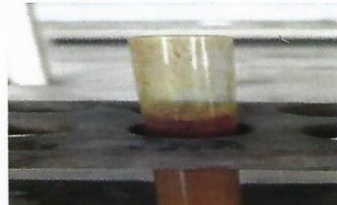
L'inoculum de ce travail a été préparé de la manière suivante :

- À partir d'une culture déjà isolée ;
- Disperser les colonies dans l'eau physiologique ;
- Mélanger au vortex de tubes jusqu'à obtenir une suspension homogène.

Procédure de la dilution.

- Mettre 1 ml d'eau distillée dans chaque tube propre ;
- Fermer le tube contenant de l'eau distillé avec l'ouate sèche ;
- Mettre 1 ml de la suspension dans le premier tube, puis retirer les tubes ;
- Mélanger au vortex de tubes jusqu'à obtenir une suspension homogène.

La dilution
a été diluée à 1



Curcuma longa ont

Les 8 tubes ont servi pour différentes concentrations :

- Mettre 1 ml des nanoparticules d'argent dans le premier tube ;
- Prélever 1 ml dans ce premier tube, puis mettre dans le second tube ;
- Une dilution successive jusqu'au quatrième tube puis prélever 1 ml dans le dernier tube puis jeter.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 RESULTATS

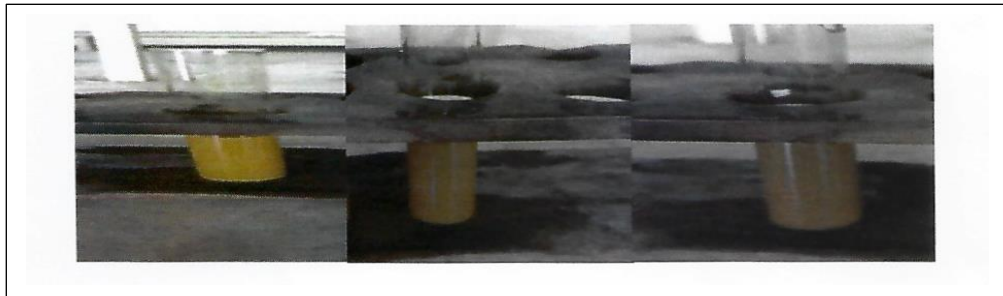
3.1.1 L'extrait hydro alcoolique de *Curcuma longa*

L'extrait hydro alcoolique de *Curcuma longa* est une solution de couleur jaune, stable et aromatisée représentée sur la figure 1 ci-après après .

Figure 1 : L'extrait hydro alcoolique de *Curcuma longa*

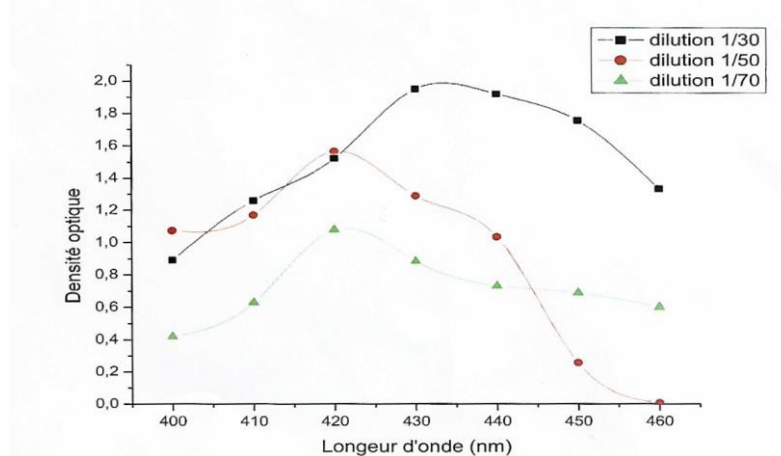
3.1.2 Caractérisation d'AgNPs à base de la solution hydro alcoolique du *Curcuma longa*

Deux méthodes de caractérisation ont été retenues dans ce travail, notamment colorimétrie et la spectrophotométrie UV-Visible.



3.1.2.1 Colorimétrie

La variation de la coloration de la solution colloïdale des nanoparticules d'argent varie en fonction de la taille, la concentration du pH de la granulométrie et de la durée de la réaction. Mais aussi de même pour la variation de la coloration des extraits de *Curcuma longa* qui ont été utilisés comme agent d'enrobage, comme le montre la figure 2 ci-après.



Figu

gent

3.1.2.2 S_j

Les métaux nobles (Or, Argent et Cuivre) ont une surface plasmonique de résonance localisée dans l'UV-Visible. La présence du LSPR dot le maximum se situe à une longueur d'onde d'absorption caractéristique d'un métal détermine la nature, la taille et la dispersion des nanoparticules métal. Nos résultats sont représentés dans la figure 3 suivant :

Figure 3 : Spectre des solutions colloïdales dans UV-Visible

3.1.3. Détermination la Concentration Minimale Inhibitrice (CMI)

Nous avons déterminé la CMI pour trois cas : la solution de AgNO_3 , la solution de l'extrait hydro alcoolique du *Curcuma longa* et enfin la solution colloïdale des nanoparticules d'argent à base de la solution hydro alcoolique de *Curcuma longa*. Nos résultats sont groupés dans les différents tableaux ci-après.

Tableau 1 : Activité antibactérienne (CMI) d' AgNO_3 par rapport aux souches sélectionnées

Concentration (mg/ml)								
Souches	0,044	0,089	0,178	0,356	0,712	1,425	2,85	5,7
S. aureus	+	+	+	CMI	-	-	-	-
E. coli	+	+	CMI	-	-	-	-	-

Les résultats de ce tableau ont montré la Concentration Minimale Inhibitrice (CMI) à 0,356 mg/ml pour *S. aureus* et à 0,178 mg/ml pour *E. coli*.

Tableau 2 : Activité antibactérienne (CMI) de *Curcuma longa* par rapport aux souches sélectionnées

Concentration mg/ml								
Souches	0,018	0,037	0,075	0,15	0,3	0,6	1,2	2,4
S. aureus	+	+	+	+	CMI	-	-	-
E.Coli	+	+	+	CMI	-	-	-	-

Les résultats obtenus ont montré la CMI de l'extrait hydro alcoolique de *Curcuma longa* à 0,3 mg/ml pour *S. aureus* et 0,15 pour *E. coli*.

Nous avons aussi étudié l'effet des solutions colloïdales des AgNPs à base de la solution hydro alcoolique contre les souches étudiées dont les résultats sont regroupés dans le tableau 3 suivant :

Tableau 3 : Activité antibactérienne de la solution colloïdale des AgNPs à base de la solution hydro alcoolique du *Curcuma longa* en fonction des différentes dilutions (1/30, 1/50, 1/70)

Taux de dilution	Souches	Concentration (mg/ml)							
1/30	<i>S. aureus</i>	0,013	0,027	0,054	0,109	0,218	0,437	0,875	1,75
		+	+	CMI	-	-	-	-	-
	<i>E. coli</i>	+	CMI	-	-	-	-	-	-
1/50	<i>S. aureus</i>	0,039	0,078	0,157	0,315	0,631	1,262	2,5525	5,05
		+	+	+	+	+	CMI	-	-
	<i>E. coli</i>	+	CMI	-	-	-	-	-	-
1/70	<i>S. aureus</i>	0,003	0,007	0,014	0,028	0,056	0,112	0,225	0,45
		+	+	+	+	CMI	-	-	-
	<i>E. coli</i>	+	+	CMI	-	-	-	-	-

Les résultats de ce tableau ont montré que la souche *S. aureus* une concentration inhibitrice à 0,054 mg/ml et *E. coli* à 0,27 mg/ml avec les nanoparticules d'argent dopés au *Curcuma longa* à la dilution 1/30. Les résultats de ce tableau ont montré que la concentration minimale inhibitrice a été trouvé pour la souche *S. aureus* à la concentration 1,262 mg/ml et *E. coli* à très faible concentration soit 0,078 mg/ml avec les nanoparticules d'argent dopés au *Curcuma longa* à la dilution 1/50. Les résultats de ce tableau ont montré que la souche *S. aureus* a été trouvée à une concentration minimale inhibitrice de 0,056 mg/ml et *E. coli* à une concentration de 0,014 mg/ml avec les nanoparticules d'argent dopés au *Curcuma longa* à la dilution 1/70.

3.1.4. Détermination de l'activité antioxydante

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4 : **Evaluation du pouvoir antioxydant**

Extrait	Activité antioxydante (mgEAA/100gMS)
Aqueux	322,75
Alcoolique	331,25

Il ressort de ce tableau que l'extrait aqueux et alcoolique ont présenté une concentration de 322,75 et 331,25 mgEAA/100g MS respectivement de l'activité antioxydant.

3.2 DISCUSSION

Au cours de ces dernières décennies plusieurs efforts ont été faits pour développer des méthodes de synthèse verte pour éviter l'utilisation des réactifs dangereux. Les biomolécules naturelles présentent dans les plantes telles que les protéines, les enzymes, les alcaloïdes, les phénols, les polysaccharides sont responsables de la formation des nanoparticules d'argent.

Dans cette étude nous décrivons la synthèse verte des nanoparticules d'argent utilisant les plantes en générale, le *Curcuma longa* en particulier.

3.2.1 L'extrait hydro alcoolique du *Curcuma longa*

La solution hydro alcoolique a été utilisée pour synthétiser les solutions colloïdales des nanoparticules d'argent plus stables. Ces solutions de couleur jaune contiennent plusieurs métabolites qui permettent de réduire des ions en argent métallique nanométrique comme le montre la figure 3, nos résultats sont analogues à ceux de (8,16,17).

3.2.2 Propriétés optiques des solutions colloïdales des nanoparticules d'argent

Les propriétés optiques extraordinaires des nanoparticules des métaux nobles (Cu,Au,Ag) ont acquis un avantage de biocapteurs optiques. Il y a un intérêt croissant dans l'utilisation des propriétés optiques des nanoparticules d'argent comme composant fonctionnel dans la production variée. Le changement de coloration est caractéristique à la formation des nanoparticules des métaux nobles (8,20,24).

En effet le mécanisme de synthèse des nanoparticules d'argent en présence de l'extrait hydro alcoolique de *Curcuma longa* comprend trois phases, la phase de croissance et la phase de terminaison.

Comme le montre la figure 2 les ions Ag^+ se lient aux métabolites réducteurs et aux agents stabilisants puis réduits en Ag métalliques. Ce mécanisme explique la variation de la coloration de complexe de l'ion argent et du métabolite qui croit par coalescence jusqu'à la formation des particules stables de taille nanométrique. La coloration de la solution colloïdale varie du jaune au rouge brun par addition des extraits totaux du *Curcuma longa* qui indique la formation des nanoparticules d'argent stables de forme bien déterminée. Nos résultats corroborent avec ceux de (8,10,16,17,20).

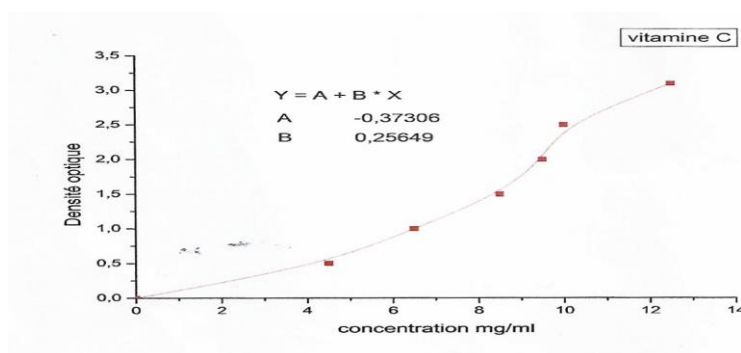
3.2.3 Spectrophotométrie des nanoparticules d'argent

La grande interaction des nanoparticules d'argent avec la lumière favorise la conduction des électrons sur la surface métallique qui implique l'oscillation collective quand les électrons sont excités à une longueur d'onde spécifique connue sous le nom de surface plasmonique de résonance localisée (SPRL, LSPR en Anglais) (9,21). Cette oscillation résulte des propriétés d'absorption entre 400 et 460 nm qui sont une propriété unique pour les nanoparticules d'argent sphériques.

En se basant du taux de dilution, la longueur d'onde maximale se déplace vers les longueurs d'onde maximale plus petites qui correspondent à 420 pour les dilutions 1/70, 1/50 et 430 pour la dilution 1/30 comme le montre la figure 3 ci-dessus. Nos résultats corroborent avec ceux (5,8,9,12,21,22). Il convient de signaler que les nanoparticules d'argent sont stables et ne sont pas oxydées car elles sont enrobées des métabolites provenant de l'extrait hydro alcoolique de *Curcuma longa*.

3.2.4. Pouvoir antioxydant de *Curcuma longa*

Le pouvoir antioxydant du *Curcuma longa* a été déterminé par la méthode FRAP et l'étude du pouvoir anti radicalaire sur les extraits aqueux et alcooliques obtenus à partir de la poudre est de 322,75 et 331,25 mg EAA/100g MS) respectivement. Ce qui montre que les extraits de *Curcuma longa* ont une forte activité antioxydante. Nos résultats sont analogues avec ceux de (4,5,6,12,13,23) comme le montre la figure 4 ci-après.



3.2.5. Acti

En se basant des résultats de tableau 1, il ressort que le nitrate d'argent a une activité antibactérienne vis-à-vis de *S. aureus* et *E. coli* dont la concentration minimale inhibitrice est de 0,356 mg/ml et 0,178 mg/ml respectivement. Au regard du tableau 2, il s'avère que les extraits hydro alcooliques ont aussi une activité antibactérienne de 0,3 mg/ml pour *S. aureus* et de 0,15 mg/ml pour *E. coli*. Il convient de signaler que le *Curcuma longa* a une activité plus élevée que le nitrate d'argent.

A la lumière des résultats du tableau 3, il est intéressant de constater que les concentrations minimales inhibitrices de différentes dilutions testées (1/30, 1/50, 1/70) ont montré une CMI plus efficaces par rapport à la solution de AgNO_3 et les extraits hydro alcooliques de *Curcuma longa* utilisés individuellement. Il apparait un effet inhibiteur des agents antimicrobiens existant par synergie. Nos résultats sont en accord avec ceux de (4,5,6,8).

Il convient aussi de signaler que les AgNPs se forment beaucoup plus pour les faibles dilutions, ce qui montre que nous avons des particules beaucoup plus fines et plus dispersées de formes sphériques dont le mécanisme d'inhibition peuvent être de plusieurs types, notamment la lyse, la destruction de l'ADN, l'oxygène réactive (10,11).

Les nanoparticules d'argent sphériques enrobées des métabolites de *Curcuma longa* sont plus stables et très efficaces. Nos résultats sont en accord ou corroborent avec les résultats de plusieurs auteurs sur les nanoparticules métalliques de métaux nobles (Ag, Au, Cu) (7,9,14,15,21,24).

CONCLUSION

Le but de travail était de tester l'efficacité antibactérienne de nanoparticules d'argent synthétisées et caractérisées obtenues par une méthode respectueuse d'environnement, la synthèse verte. Des matériaux synthétisés ont été appliqués dans le domaine médical.

Les nanoparticules formées ont été caractérisées par colorimétrie en suivant la variation de la coloration en fonction de la durée de la réaction et par spectrophotométrie en déterminant la Surface Plasmonique de Résonance (SPR) entre 400 et 470 nm.

Le pouvoir antioxydant des extraits totaux de *Curcuma longa* a été déterminé par le test FRAP qui a évalué la capacité des antioxydants à réduire le fer ferrique (Fe^{3+}) en fer ferreux (Fe^{2+}) qui est égal 322,75 et 331,25 mgEAA/100g MS pour les extraits aqueux et alcoolique respectivement si est directement lié à la présence des antioxydants dans le *Curcuma longa* et aux solvants.

Les métabolites secondaires ont été utilisés comme agent d'enrobage (Curcumine) en vue de protéger les nanoparticules d'argent contre l'oxydation. La solution colloïdale des nanoparticules obtenue a été testée sur deux souches des germes notamment le *Staphylococcus aureus* pour le gram positif et l'*Escherichia coli* pour le gram négatif. Nous avons déterminés leur concentration minimale inhibitrice qui était respectivement de 0,027, 0,078, 0,014 mg/ml pour *E. coli* et de 0,054, 1,262, 0,056 mg/ml pour *S. aureus*.

Les résultats montrent une efficacité antibactérienne de l'ensemble des nanoparticules d'argent synthétisées sur les différentes souches étudiées.

Le présent travail mérite des études supplémentaires. Les perspectives que nous proposons pour la suite de ce travail sont :

- Effectuer les tests d'activités antibactériennes sur d'autres souches;
- Etudier la biotoxicité des nanoparticules d'argent;
- Déterminer la microstructure des nanoparticules d'argent (taille et forme) dans les solutions colloïdales
- Reprendre les tests de cytotoxicité in Vivo.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Patrick, B., Jean-Louis, G., & Michel, S. (1998). *Bactériologie: les bactéries des infections humaines*. Paris, Médecine Sciences, Flammarion, 660p.
2. Nasrollazach, M., Sajidi, M., & Mahammad, S.S. (2018). Biosynthesis of copper nanoparticles supported on manganese dioxide nanoparticles using *Centalla asiatica*, L. Leaf extract for the efficient catalytic reduction of organic dyes nitro arenes. *Chinese Journal of Catalysis*, 39(1), 109-117. [https://doi.org/10.1016/S1872-2067\(17\)62915-2](https://doi.org/10.1016/S1872-2067(17)62915-2).
3. Cordero, B., Gomez, V., Platero-Prats, A., E., Reves, M., Echeverria, J., Cremades, E., Barragan, F., & Alvarez, S. (2008). Covalent radii revisited†‡. *Dalton Transactions*, 2832–2838, Doi: 10.1039/b801115j.
4. Bouzera, Y., & Hamouche A. (2013). *Activités Antioxydant et Antimicrobienne des extraits de Curcuma longa* [Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira (Algérie), Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie Physico-Chimique, 76p].
5. Niasa, M.G., Bilasi, M.D., Ndonganzadi, T., Biayi, M.E., Mulangala, M.F., Bulola, I.P., Kavuna, M.P., Nkole, M.O., Makinga, K.D., Komanda, K.K.L., K'Ekuboni, M.J., Maziana, D-D.P., Lunguya, M.J., Muamba, M.O., & Bakambo, E.G. (2026). Caractérisation de nanoparticules d'argent biosynthétisées à partir des feuilles de *Moringa oleifera* Lam. et évaluation de leurs applications photocatalytiques et antibactériennes, *Revue Congolaise des Sciences et Technologies*, 5(3), DOI : <https://doi.org/10.59228/rcst.026.v5.i2.306>.
6. Saidi, I., & chachaoua, D. (2023). *Evaluation de l'activité antibactérienne et antioxydante de la plante Curcuma longa L. (Zingiberaceae)* [Mémoire de Master, Université des Frères Mentouri Constantine I (Algérie), Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie et Ecologie Végétale, 46p].
7. Aminath, F.Y., Chakirath, F.A.S., Dougnon, V., Baba-Moussa, L.S., & Youssao, A.K. (2025). Synthèse verte des nanoparticules d'argent, leurs caractérisations et leurs applications: Une revue de synthèse. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 45(4), 678-698.
8. Shameli, K., Ahmad, M.B., Zamanian, A., Sangpour, P., Shabanzadeh, P., Abdollahi, Y., & Zargar, M. (2013). Green biosynthesis of silver nanoparticles using *Curcuma longa* tuber powder. *International Journal of Nanomedic*, 7, 5603–5610. <http://dx.doi.org/10.2147/IJN.S36786>.
9. Mahboub, S. (2023). *Biosynthèse et application des nanoparticules (Ag, CuO et ZnO) à partir des plantes sahariennes* [Thèse, Université Kasdi Marbah Ouargla (Algérie), Faculté des Sciences appliquées, Département de Génie des Procédés., 207p].
10. Mulongo, M.R., El Hamidi, A., Bouyahya, A., Halim, M., & Arsalane, S. (2018). A Novel-hybrid of B-Chitin/ Calcium phosphate functionalized with copper nanoparticles for antibacterial applications, *journal of environmental chemical engineering*, 6(5), 6399-6406, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.09.049>

11. Mulongo, M.R., El Hazzat, M., El Hamidi, A., Halim, M., & Arsalane, S. (2019). New functional β -chitin/calcium phosphate as promising support of copper nanocatalyst for the reductive degradation of methylene blue. *International journal of Environmental Science and Technology*, 16(1), Doi :10.1007/s13762-019-02353-z.
12. Youssra, M., (2021). *Biosynthèse des nanoparticules à base d'extraits des plantes et de la caractérisation de leur activité biologique* [Mémoire de Master, Université de Mohamed Boudiaf M'sila (Algérie), Faculté des sciences, Département des chimies. 71p.].
13. Brahimi, I., & Terrai, R. (2018). *Evaluation de l'activité antioxydante des deux plantes Rosmarinus officinalis et Curcuma longa* [Mémoire de Master, Université des Frères Mentouri Constantine I (Algérie), Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de la Biochimie et Biologie Cellulaire et Moléculaire, 84p.].
14. Bhavsar, S.P. (2022). Bio-synthesis of silver nanoparticles using a food colorant produced by *Monascus purpureus* MTCC 410 and its inhibitory effect on the food-borne human pathogens, *Aspergillus flavus*, *International journal of chemical studies*, 10(4), 01-06.
15. Tippayawat, P., Phromviyo, N., Boueroy, P., & Chompoosor, A. (2016). Green synthesis of silver nanoparticles in *Aloe vera* plant extract prepared by a hydrothermal method and their synergistic antibacterial activity. *PeerJ*. 19, 4, e2589, PMID: 27781173, PMCID: PMC5075710, Doi: 10.7717/peerj.2589.
16. Ludmila, K., & Amira, A. (2020). *Caractérisation phytochimique et activité antibactérienne de Curcuma longa* [Mémoire de Master, Université de Bouira (Algérie), Faculté de sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre, Département de biologie, 84p.] <http://dspace.univbouira.dz:8080/jspui/handle/123456789/9736>.
17. Bouaicha, N., & Timechbache, H. (2020). *Evaluation de l'activité antibactérienne du Curcuma longa commercialisé à Welaya de Biskra* [Mémoire de Master, Université Mohamed Khider (Algérie), Faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de la vie, Département des sciences de la nature et de la vie, 72p.]. [Http://archives.univbiskra.dz/bitstream/123456789/16523/1/BOUAICHA_Nouha_TIMECHBACHE_hasna.pdf](http://archives.univbiskra.dz/bitstream/123456789/16523/1/BOUAICHA_Nouha_TIMECHBACHE_hasna.pdf).
18. Ghédira, K. (2025). Curcuma : *Curcuma longa* L. (Zingiberaceae). *Phytothérapie*, 23(4). 201-210. <https://doi.org/10.3166/phyto-2025-0465>.
19. Arnand, C. (2020). *Etude de l'effet de la Curcumine sur les bactéries impliquées dans les maladies parodontales* [Thèse, Université de Bordeaux (France), Faculté de Sciences du vivant (Médecine humaine et pathologies). <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02887665>.
20. Dakal, T.C., Kumar, A., Majumdar, R.S., & Yadav, V. (2016). Mechanistic basis of antimicrobial actions of silver nanoparticles. *Front. Microbiol.* 7:1831. Doi: 10.3389/fmicb.2016.01831.

21. Abasi, E., Milani, M., Fekri Aval, S., Kouhi, M., Akbarzadeh, A., Tayefi Nasrabadi, H., Nikasa, P., Joo, S., Hanifehpour, Y., Nejati-Koshki, K., & Samiei, M. (2026). Silver nanoparticles: synthesis methods, bio-applications and properties. *Critical Reviews in microbiology*, 42, 173-180, Doi:10.3 109/1040841X.2014.912200.
22. Adhikari, A., Lamichhane, L., Adhikari, A., Gyawali, G., Acharya, D., Ek Raj Baral, E.B., & Chhetri, K. (2022). Green synthesis of silver nanon particles using *Artemisia vulgaris* extract and its applications toward catalytic and metal sensin. *Activity inorganics*, 10(8), 113. <https://doi.org/10.3390/inorganics10080113>.
23. Alvarez-Suarez, J.M., Tulipani, S., Díaz, D., Estevez, Y., Romandini, S., Giampieri, F., Damiani, E., Astolfi, P., Bompadre, S., & Battino, M. (2010). Antioxidant and antimicrobial capacity of several monofloral Cuban honeys and their correlation with color, polyphenol content and other chemical compounds. *Food Chem Toxicol Food and chemical toxicology*, 48(8-9), 2490-9, Doi: 10.1016/j.fct.2010.06.021. PMID: 20558231.
24. Charmaa, L. & Bahia, M. (2021). *Biosynthèse de Nanoparticules à base d'extrait de plantes et la caractérisation de leur activités biologiques* [Université Blida 1 (Algérie), Faculté des sciences de la nature et de la vie, Département de Biotechnologies, 77p.].
25. Tian, W-W., Liu, L., Chen, P., Yu, D-M., Li, Q-M., An, H., & Zhao, J-N. (2025). *Curcuma Longa* (turmeric): from traditional applications to modern plant medicine research hotspots. *Chinese Medicine*. 20. 10.1186/s13020-025-01115-z.