



Synthèse verte de nanoparticules de cuivre à base des extraits de totaux de *Zingiber officinale* applique à la sante

Green synthesis of copper nanoparticles based on extracts of *Zingiber officinale* total: applications in health

Ntedika Mbioka Rita ¹, Lokango Okintambolo Olivier ², Kasilembo Mponga Phany ², Samba Lokombe Christian², Okoto Washema Mamie-Alice ², Gefeu Loela Steven ², Binti Fataki Keziah 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: The green synthesis of nanoparticles is considered a sustainable, environmentally friendly, non-toxic, and cost-effective development process. It utilizes plant extracts as reducing and stabilizing agents. Hydroethanolic extract of *Zingiber officinale* was used as a reducing and stabilizing agent in the preparation of the nanoparticles. In this study, copper nanoparticles (CuNPs) were characterized by colorimetry (optical properties) and UV-Visible spectrophotometry by determining the Plasmonic Resonance Surface (PRS) between 240 and 270 nm. The antioxidant capacity of total *Zingiber officinale* extracts was determined by the FRAP assay, which evaluated the ability of antioxidants to reduce ferric iron (Fe^{+3}) to ferrous iron (Fe^{+2}). The values were 555,986 mg AEA/100 g DW for the aqueous and alcoholic extracts, respectively, and are directly related to the presence of antioxidants in *Zingiber officinale* and the solvents. After characterization, the antibacterial activity of CuNPs spiked with *Zingiber officinale* extracts was evaluated against two bacterial strains: *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. We determined their Minimum Inhibitory Concentrations (MICs), which were 9; 12,75; and 10,875 mg/ml for *Escherichia coli* and 4,5; 6,375 and 5,44 mg/ml for *Staphylococcus aureus*, respectively. The synthesized copper nanoparticles exhibit a highly effective bacteriostatic effect against both types of bacteria, demonstrating that CuNPs possess significant potential for the aforementioned biological activities. The biomolecules present in the plant extract are effective for the synthesis of copper nanoparticles with a biological efficacy that offers the possibility of incorporating them into the composition of pharmaceutical and biomedical products.

Keywords: Green synthesis, Copper nanoparticles, *Zingiber officinale*, Antibacterial activity.

Résumé: La synthèse verte des nanoparticules est considérée comme étant un processus développement durables, respectueux de l'environnement, non toxique et rentable. Celle-ci utilise des extraits de plantes comme agents réducteurs et stabilisants. L'extrait hydro éthanolique de *Zingiber officinale* a été utilisé comme agents réducteurs et stabilisants dans la préparation des nanoparticules. Dans cette étude les nanoparticules cuivre (CuNPs) ont été caractérisées par colorimétrie (propriété optique) et spectrophotométrie UV-Visible par la détermination de la Surface Plasmonique de Résonance (SPR) entre 240 et 270 nm. Le pouvoir antioxydant des extraits totaux de *Zingiber officinale* 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 555,986 et 704,418 mgEAA/100g MS pour les extraits aqueux et alcoolique respectivement si est directement lié à la présence des antioxydants dans le *Zingiber officinale* et aux solvants. Après caractérisation, l'activité antibactérienne des CuNPs dopés des extraits de *Zingiber officinale* a été évalué sur deux souches bactérienne : *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*. Nous avons déterminés leur Concentration Minimale Inhibitrice (CMI) qui était respectivement de 9;

12,75; 10,875 mg/ml pour *Escherichia coli* et de 4,5; 6,375; 5,44 mg/ml pour *Staphylococcus aureus*. Les nanoparticules de cuivre synthétisées ont un effet bactériostatique très efficace contre les deux types de travail montrent que le CuNPs possède un potentiel important pour les activités biologique précitées. Les biomolécules présentes dans l'extraits de la plante étant efficaces pour la synthèse des nanoparticules de cuivre avec une efficacité biologique qui offre la possibilité de l'incorporer dans la composition des produit pharmaceutique et biomédicales.

Mots – clés: Synthèse verte, Nanoparticules de cuivre, *Zingiber officinale*, Activités antibactériennes.

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.23665810>

1 INTRODUCTION

Les nanotechnologies sont considérées comme étant l'ensemble des techniques visant à concevoir et caractérisées des matériaux des dimensions nanométriques (Nanoparticules). Parmi ces matériaux, les nanoparticules métalliques ont attiré l'attention des scientifiques en raison de leur applications dans plusieurs domaines, dont les sciences biomédicales, l'industrie chimique, l'électronique, la livraison de médicaments-gène et biocapteur, etc (1,2,19,20,28).

Au cours de ces dernières années la nanotechnologie a suscité beaucoup d'intérêt tant dans la synthèse de nanoparticules, ainsi qu'à leurs applications. Les processus écologiques à de développement durable sont en pleine croissance. Les plantes médicinales utilisées dans la synthèse verte des nanoparticules métalliques et leurs applications biométriques sont en pleine expansions. En effet, la synthèse des nanoparticules métalliques par la méthode verte, est une méthode écologique et rentable sans utilisation de produits chimiques difficiles. Elles utilisent des plantes ou des micro-organismes comme étant agent réducteurs ou stabilisants (2,3,20,28).

Les nanoparticules métalliques (Argent, Or et Cuivre) sont fréquemment utilisées pour leur caractère bactéricide. Les nanoparticules de cuivre ont attiré notre attention en raison de leur application dans divers domaines grâce à leur efficacité et leur faible toxicité comparée à d'autres métaux (4,5,20,23).

Les effets alarmants de la résistance des antibiotiques poussent la recherche pour la médecine alternative à résoudre les problèmes de la résistance microbienne. Au début du 20^{ème} siècle, les scientifiques ont accordés beaucoup d'intérêt à la nanobiotechnologie pour préparer des médicaments très efficaces mais le problème majeur est leur stabilité.

La question que nous nous sommes posés et de savoir quelle serait l'activité antibactérienne des CuNPs dopés aux extraits totaux de *Zingiber officinale*. Et quelle serait aussi leurs stabilités? Cette étude se propose à étudier la possibilité des CuNPs à l'aide de l'extrait de *Zingiber officinale*. Le CuNPs est caractérisé en UV en 230-240 nm et possède une activité antibactérienne à faible concentration. L'objectif général de notre étude est l'élaboration et l'optimisation des propriétés structurales des CuNPs et la diminution de la taille des particules jusqu'à l'échelle nanométrique. L'utilisation d'extraits de plantes comme bio réducteurs pour la production des CuNPs a attiré l'attention en raison de son protocole rapide, respectueux de l'environnement, non pathogène et économique.

Pour cela nous nous sommes fixés les objectifs spécifiques suivants :

- Extraction de principes de *Zingiber officinale* ;
- Biosynthèse de nanoparticules de cuivre à partir des extraits totaux de *Zingiber officinale* ;

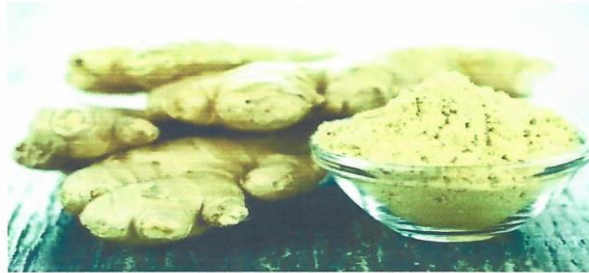
- Caractérisations des nanoparticules de cuivre par spectrophotométrie UV visible et effet optique ;
- Détermination de pouvoir réducteur de Fer de l'extrait aqueux de *Zingiber officinale* ;
- Détermination de l'activité antimicrobienne et anti-inflammatoire des nanoparticules de cuivre synthétisé vis-à-vis des deux souches bactériennes *S. aureus* et *E. coli*.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL

2.1.1 Site et

Notre étude s'est déroulée au Supérieur de Technologie de Synthèse verte. Les données



Les aliments de l'Institut National d'expérimentations sur la Technologie de Synthèse des aliments. Mai 2023.

2.1.2 Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé pour cette étude est constitué de rhizomes de *Zingiber officinale* (Tangawisi), comme le montre la figure 1. Le gingembre (*Zingiber officinale*) est une plante herbacée tropicale originaire d'Asie, célèbre pour son rhizome (tige souterraine) utilisé comme épice et remède naturel. Il est prisé pour ses propriétés anti-inflammatoires, antioxydantes et digestives, attribuées à ses composés actifs comme le gingérol (19,24).

Figure 1 : Présentation de Rhizomes de *Zingiber officinale* (Gingembre)

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 Matériels et Réactifs utilisés

a. Matériels utilisés

- Spectrophotomètre UV-Visible model 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 ;
- Ferricyanure de potassium 1% ;
- Acide Trichloracétique ($C_3HCl_3O_2$) (10%) ;
- Chlorure ferrique 0,1% ;
- NaCl 9g/l ;
- $CuSO_4.5H_2O$;

- Cuivre métallique ;
- *Zingiber officinale* (Gingembre) , etc.

2.2 METHODES

2.2.1 Echantillonnage

Les rhizomes de *Zingiber officinale* (Gingembre) utilisées dans notre travail ont été achetés chez un épicier au marché de Matadi Kibala et les souches bactériennes ont été procurées au laboratoire de bactériologie des Cliniques Universitaires de Kinshasa.

La méthodologie utilisée dans ce travail est la suivante :

- Etude phytochimique de rhizome *Zingiber officinale* ;
- Préparation des extraits totaux de *Zingiber officinale* ;
- Synthèse verte de nanoparticules de cuivre (CuNPs) ;
- Activité antibactérienne.

2.2.2 Activité antioxydante

La capacité réductrice du fer (FRAP)

Le pouvoir réducteur des différents extraits est estimé en appliquant la méthode des (8,13).

➤ Principe

L'évaluation du pouvoir réducteur est basée sur la réduction du complexe fer ferrique (Fe^{+3}) du complexe ferricyanure en fer ferreux (Fe^{+2}), en présence des antioxydants réducteurs, dont la couleur est verte qui est proportionnelle au pouvoir réducteur de l'extrait (9).

➤ Mode opératoire

Un volume de 2,5 ml de tampon phosphate (0,2 M, pH 6,6) et 2,5 ml de ferricyanure de potassium ($\text{C}_6\text{N}_6\text{FeK}_3$) (1%) est ajouté à 1 ml de chaque extrait (à différentes concentrations) ; 2,5 ml d'acide trichloracétique ($\text{C}_3\text{HCl}_3\text{O}_2$) (10%) sont ajoutés au mélange après une incubation de 20 min à 50°C. Après centrifugation à 3000 tours pendant 10 min ; 2,5 ml du surnageant sont mélangés avec 2,5 ml d'eau distillée et 0,5 ml de chlorure ferrique (FeCl_3) (0,1%). L'absorbance est mesurée à 700 nm.

➤ Expression de résultats

Les résultats sont exprimés en microgramme équivalent acide ascorbique par milligramme d'extrait sec (μg EAA/mg ES) et représentés dans le tableau 3 dans le résultat.

2.2.3 Préparation des extraits aqueux par macération

Le 10g de la poudre sèche sont placées dans un ballon à fond plat dans lequel on y ajoute 100 ml d'eau distillée macéré pendant 24 heures à la température ambiante puis filtré enfin de séparer les macérées de la marque.

a. Test des alcaloïdes

On ajout 2 ml de réactif de Wagner (2g d'iodure de potassium KI + 1,27 g d'iode I₂+100 ml d'eau distiller) à 2 ml de chaque extrait. L'apparition d'un précipité blanc jaune indique la présence des alcaloïdes (10).

b. Test des tanins

La présence des tanins est mise en évidence en ajoutant à 2 ml de l'extrait méthanolique, 1 à 2 gouttes de solution de chlorure ferrique (FeCl₃) diluée à 0,1%. L'apparition d'une coloration vert foncé indique la présence de tanins cathechiques ou bleu-vert indique la présence des tanins galliques (11,12).

c. Test des stéroïdes

La présence des stéroïdes a été mise en évidence on ajoute à 5 ml de l'extrait, 5 ml d'anhydride acétique dans une capsule, puis reprise dans un tube à essai dans lequel sont coulés 0,5 ml de H₂SO₄ concentré. L'apparition d'une coloration violette qui vire au bleu puis au vert indique une réaction positive.

d. Test des flavonoïdes

Dans un tube à essai, 1 ml de l'extrait à tester a été mélangé avec 1 ml d'acide chlorhydrique (HCl) concentré et 3 copeaux de magnésium. L'apparition d'une coloration rose, rouge ou jaune indique la présence des flavonoïdes (11,14).

e. Test des terpénoïdes

La mise en évidence de l'existence des terpénoïdes est réalisé par la réaction de Liebermann-Buchard ; On ajoute à 5 ml d'extrait, 5 ml d'anhydride d'acétate, ensuite nous avons ajouté 1 ml d'H₂SO₄ au fond du tube sans agitation. La formation d'un anneau rouge brunâtre à la zone de contact des deux liquides et d'une coloration violette de la couche surnageante révèlent la présence des stérols et des triterpènes (10).

f. Test des glycosides (cardiaques)

Un volume de 2 ml de chaque extrait a été dissous avec 2 ml de chloroforme et d'acide sulfurique concentré a été ajoutée avec précaution pour former une couche rougeâtre foncée de couleur brun à l'interface de l'anneau stéroïde indique la présence de glycosides cardiaques (15).

g. Test des anthocyanes

Les anthocynes sont révélées par l'ajout de 1 ml d'extrait, 3 ml de H₂SO₄ à 10 % et 1 ml de NH₄OH à 10 %, si la coloration s'accroît par acidification puis vire au bleu en milieu basique, on peut conclure la présence des anthocyanes.

h. Test des anthraquinones

Un volume de 5 ml de solution ammoniacale est ajouté au 5 ml de filtrat. La présence de la coloration rose ou violette à la phase ammoniacale indique la présence des quinones (16).

i. Test des huiles volatiles

On ajoute à 2 ml d'extrait 0,1 ml d'hydroxyde de sodium (10%) et quelques gouttes de HCl dilué à 10%, la formation d'un précipité blanc indique la présence d'huiles volatiles (17).

J. Test des quinones

Sur un volume de chacune des extraits, on ajoute quelques gouttes de NaOH, l'apparition d'un couleur jaune, rouge ou violet confirme la présence des quinones.

k. Test des coumarines

Introduire 5 ml d'extrait dans un tube, ajouter 0,5 ml de NH_4OH à 10%, mélanger et observer sous UV à 366 nm. Une fluorescence intense indique la présence des coumarines (12).

2.2.4 Spectrophotométrie UV- visible

a. Principe

La spectrophotométrie d'absorption moléculaire est régie par la loi de **Beer-Lambert**: lorsqu'une lumière monochromatique traverse une substance en solution, l'intensité de la lumière absorbée est proportionnelle à la concentration de la substance dissoute, à l' $\frac{\text{Absorbance échantillon}}{\text{absorbance étalon}}$ la substance en solution (29).

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

Avec :

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

b. Expressions de resultants

Concentration échantillon=Concentration étalon λ

Avec:

D.O.échantillon : Densité optique d'échantillon

D.O.étalon : Densité optique de l'étalon.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 RESULTATS

3.1.1 Screening phytochimique

Dans cette partie du travail, nous avons mis en évidence la présence de certains groupes tels que les flavoïdes, les alcaloïdes, les coumarines, les terpénoïdes, les quinones, etc. Le screening a été réalisé au niveau du laboratoire de recherches chimie biochimie de l'ISTM-KIN.

Les tests photochimiques consistent à détecter les différentes familles des composés existence dans les rhizomes de *Zingiber officinale* par des réactions quantitatives des caractérisations. Ces réactions sont basées sur les phénomènes de respiration ou de coloration par des réactifs spécifique à chaque famille des composés.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 1 : nous avons remarqué la présence de la majorité des métabolites secondaires dans le rhizome sauf les stéroïdes.

Tableau 1 : Récapitulatif de screening phytochimique des rhizomes de *Zingiber officinale*

Métabolites	Extraits de rhizomes de <i>Zingiber officinale</i>
Alcaloïde	+
Tannins	+
Flavonoïdes	+
Stéroïdes	-
Anthrocyanes	+
Antraquinones	+
Quinones	+
Coumarines	+
Terpénoïdes	+

Légende : + présence ; - absence

3.1.2 Extraction des extraits totaux

La préparation des extraits totaux été effectuée par macération dans l'eau-éthanol 3/7 volume /V. les résultats obtenus sont représentés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Rendement d'extraction des extraits totaux

Solvant utilisés	Rendement
Eau-éthanol	92,30 ± 0,17
Eau	87,08 ± 0,02
Ethanol	90,05 ± 0,03

3.1.3 Caractérisation des CuNPs/Eau-éthanol

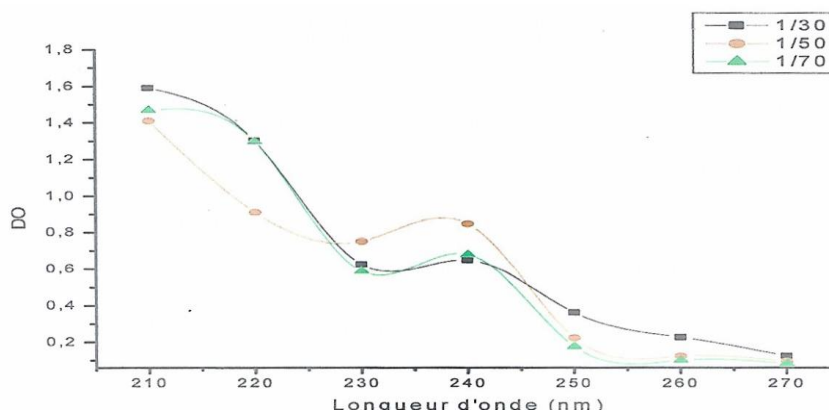
Après la synthèse verte des CuNPs/ Eau-éthanol à base des achats totaux des rhizomes *Zingiber officinale*, les nanoparticules de cuivre enrobé des molécules organiques provenant des rhizomes ont été caractérisées.

3.1.3.1 Colométrie

Les nanoparticules du cuivre ont été caractérisées par coloration qui consiste à la variation des couleurs jaune pâle à jaune puis jaune rougeâtre qui correspond aux étapes de la réaction de synthèse qui sont les suivants : Nucléation→croissance puis terminaison. Les nanoparticules de cuivre, macromolécules sont obtenues selon la réaction. Le changement de coloration montre chaque étape de la réaction de synthèse de nanoparticule de cuivre.

3.1.3.2 Sp

Les métaux
l'UV-Vis
caractéris
résultats sc



localisée dans
d'absorption
s métal. Nos

Figure 2 : Bande d'absorption surface plasmonique (SPRL) des CuNPs

3.1.4 Evaluation de l'activité antioxydant

Le test du pouvoir réducteur met évidence la capacité d'une molécule à réduire un oxydant le fer ferrique F^{3+} . C'est une technique pour former le fer ferreux F^{2+} . C'est une technique rapide, simple et reproductible qui peut être appliquée aux plantes et aux extraits organiques et aqueux. La détermination de pouvoir réducteur est souvent employée pour évaluer la capacité d'un éventuel antioxydant à donner des électrons. Nos résultats sont représentés dans le tableau 3 suivant:

Tableau 3 : Valeur de l'activité antioxydant par la méthode FRAP des extraits aqueux et méthanoïque de gingembre

Extrait	Activité antioxydant mgAA /100g MS
Alcoolique	555,986 ± 2,072
Aqueux	704,418 ± 4,199

3.1.5 Evaluation de l'activité antibactérienne des nanoparticules synthétisées

Nous avons testé l'activité antibactérienne de CuNPs, de la solution de $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ainsi que l'extrait hydro alcoolique de la plante étudiée (*Zingiber officinale*) sur deux souches bactériennes :

- *Escherichia coli* (bactérie à gram négatif) ;
- *Staphylococcus aureus* (bactérie à gram positifs)

Les résultats pour la détermination de la Concentration Minimale Inhibition (CMI) par la méthode de dilution successive sont regroupés dans les tableaux suivants :

Tableau 4 : Activité Antibactérienne de la solution $CuSO_4$

Souches bactériennes	Concentration en mg/ml						
	0,13	0,065	0,0325	0,01625	0,008125	0,0001625	0,0040625
<i>S. aureus</i>	-	-	-	-	CMI	+	+
<i>E. coli</i>	-	-	-	CMI	+	+	+

Le tableau ci-haut nous montre la solution $CuSO_4$ à un effet sur les deux souches bactériennes. La CMI correspond à 0,008125 pour la souche de *S. aureus* et 0,01625 mg pour la souche d'*E.coli*.

Tableau 5 : **Activité antibactérienne CuNPs à base de l'extrait total de *Zingiber officinale* (1/30)**

Souches bactériennes	Concentration en mg							
	72	36	18	9	4,5	2,25	1,125	0,5625
<i>S. aureus</i>	-	-	-	-	CMI	+	+	+
<i>S. coli</i>	-	-	-	CMI	+	+	+	+

Le tableau ci-haut nous montre la solution de CuNPs dû à base de l'extrait de gingembre a un effet sur les souches bactériennes et que la CMI se manifeste à 4,5 mg/ml pour la souche *S. aureus* et 9 mg/ml pour la souche d'*E. coli*.

Tableau 6 : **Activité antibactérienne de CuNPs à base des extraits total de *Zingiber officinale* (1/50)**

Souches bactériennes	Concentration en mg						
	102	51	25,5	12,75	6,375	3,1875	1,5937
<i>S. aureus</i>	-	-	-	-	CMI	+	+
<i>S. coli</i>	-	-	-	CMI	+	+	+

Le résultat de ce tableau ci-dessus nous montre que la solution de CuNPs a 1/50 a montré une CMI ce sur la souche de *S. aureus* à 6,375 mg/ml et de 12,75 mg/ml pour la souche d'*E.coli*.

Tableau 7 : **Activité antibactérienne de CuNPs à base l'extrait total de *Zingiber officinale* (1/70)**

Souches bactériennes	Concentration en mg							
	87	43,5	21,75	10,875	5,44	2,72	1,36	0,68
<i>S. aureus</i>	-	-	-	-	CMI	+	+	+
<i>S. coli</i>	-	-	-	CMI	+	+	+	+

Les résultats du tableau ci-après nous montre la solution de CuNPs à 1/70 a montré une CMI vis à vis de la souche de *S. aureus* à 5,44 mg/ml et 10,875 mg/ml pour la souche d'*E. coli*.

3.2 DISCUSSION

3.2.1 Groupes chimiques des *Zingiber officinale*

En se basant sur les résultats, le tableau 1, il ressort que le gingembre contient plusieurs familles chimique dont les alcoïdes, les tanins, des flavoïdes, des anthocyanes, des antroquinones, des quinones des coumarines et des terpénoïdes sauf stéroïde. Toutes ses molécules confèrent au gingembre plusieurs propriétés biologiques et plusieurs vertus thérapeutiques. Nos résultats sont en accord avec ceux de (7,13,19).

3.2.2 Rendement d'extraction

Le rendement de l'extraction des rhizomes de *Zingiber officinale* est élevé car, dans la matière sèche il ne reste que les fibres contenues dans les rhizomes dont la masse est très faible. Nos résultats sont en accord avec ceux de (20,21).

3.2.3 Caractérisation des CuNPs de *Zingiber officinale*

Les nanoparticules métalliques sont bien reconnus pour produire des couleurs, raison de leur forte absorption de la lumière et de leur diffusion dans la région visible du spectre UV-visible. En effet, lorsque les particules métalliques commencent à s'agréger la solution change d'une couleur à une autre et se manifeste par le changement d'intensité avec le déplacement. Une caractéristique de CuNPs est la couleur de leur solution colloïdale dû à une forte absorption dans le spectre du visible (3,20,22). Les nanoparticules de cuivre ont une surface de résonance plasmonique localisé dans l'UV visible dont le maximum se situe dans UV et ou dans visible. La présence de SPRL se situe à une longueur d'onde d'absorption caractéristique d'un métal détermine la nature, la taille et la dispersion des nanoparticules métalliques.

Des pics caractéristiques observé à 230 nm, 220 nm et 410, 230 nm et 420 nm, respectivement pour les solutions (1/30, 1/50 et 1/70) et spectre enregistré sont représenté dans la figure 2. La formation des pics des différents échantillons sont principalement dues à la réduction du cuivre et à la réduction biologique qu'à la particule végétale en solution. Cela indique que les particules végétales jouent un rôle important dans la réduction de CuSO₄ en CuNPs. Nos résultats sont en accord avec ceux de (3,20,22,23,29).

3.2.4 Evaluation de l'activité antioxydant

Au regard des résultats du tableau 3, il convient de signaler que le gingembre est très intéressant sur le plan microbiologique puisqu'il contient plusieurs composés antioxydant. Ces derniers protégeant les cellules contre les dommages causés par les radicaux libres. Il contient également du cuivre, nécessaire à la formation du collagène, des études ont montrées son effet sur les rides et l'élasticité de la peau (7,24,25). Le gingembre dans notre préparation apporte une quantité de cuivre qui est également réduit et d'après les travaux de (7,21,24) que certain d'un antioxydant dont résistent à la chaleur et rame à la cuisson ce qui expliquent augmentation d'activité antioxydant.

La détermination du pouvoir réducteur est souvent employée pour évaluer la capacité d'un éventuel antioxydant a donné les électrons. Cette aptitude de réduction peut servir d'indicateur indicatif de ses activités antioxydants. En ce qui nous concerne, les virages de la coloration jaune en vert bleuâtre de la solution montrent l'importance du pouvoir réducteur de la solution à analyser. L'extrait aqueux de *Zingiber officinale* a montré une capacité antioxydant équivalant proche de la solution à 65,5 mg/ml

Vit C. Nos résultats sont en accord avec ceux trouvés par (21,24,25,26) sur l'extrait de *Zingiber officinale* qui montre que le *Zingiber officinale* présente une capacité antioxydante.

3.2.5 Activité antibactérienne des CuNPs de *Zingiber officinale*

Les nanoparticules de métal et d'oxyde métallique en particulier démontrent une activité microbicide remarquable. Compte tenu de leur activité antimicrobienne distincte, le rôle de ces nanoparticules dans un certain nombre de produits biomédicaux est déjà proposé et fait l'objet d'un examen approfondi. Des produits de santé contenant des nanomatériaux manufacturés, tels que des pansements, des cathéters, des crèmes pour la peau et des sutures, sont déjà disponibles sur le marché (5). Leur efficacité est évaluée par la détermination de la Concentration Minimale Inhibitrice (CMI) et la Concentration Minimale Bactéricide (CMB).

Nos résultats sur les NPs de cuivre montrent qu'ils n'agissent pas de la même manière sur les deux souches bactériennes. Par contre nos résultats sont en accord avec ceux de la littérature (4,6,18,27) qui montrent que l'activité des NPs peut varier entre les bactéries gram positif et gram négatif.

Les travaux de (4,29) ont évalués les mêmes nanoparticules de cuivre sur différentes souches bactériennes. Les concentrations nécessaires pour avoir un effet antibactérien diffèrent tellement dépendamment de la souche bactérienne, ce qui vient confirmer nos résultats. Ce phénomène peut être expliqué par les différentes membranes cellulaires qui permettent ou non plus facilement l'accès aux NP. Nous avons vu précédemment très complexes de différentes molécules, protéines, et lipides les NPs interagissent avec les protéines de la membrane bactérienne causant des dommages. Cependant les mécanismes de dommages ne sont pas bien élucidés (6,29).

Des études ont montré que les NPs s'attachent à la surface des bactéries de différentes manières soit par des forces Van der Waals, soit électrostatique, hydrophobique ou des interactions récepteurs ligands, les molécules qui sont les plus susceptibles d'interagir avec les bactéries (gram positive ou négative) sont les LPS, les LTA, les protéines et phospholipides. Une fois à l'intérieur de la bactérie après perturbation de la membrane cellulaire, les nanoparticules de cuivre vont libérer les espèces réactives d'oxygène (ERO) la paroi cellulaire des bactéries à gram Négative est plus exposée aux NPs car elle est fine et permet d'avoir accès à la membrane bactérienne externe (4,6,18,27).

La fréquence élevée de l'activité, à l'égard des bactéries gram positive que gram négative a été observée dans la plupart des études sur les activités antibactériennes de NPs de cuivre la différence dans la structure de la paroi bactérienne joue un rôle important dans le passage de NPs il est important de préciser qu'un résultat observé lors de l'évaluation d'une activité d'un antibactérien est la composante de deux paramètres : l'intrinsèque des produits actifs et leur concentration dans la suspension (4,7,20,23,28).

CONCLUSION

La synthèse de nanoparticules de cuivre a obtenu une attention particulière dans le domaine de la nanotechnologie, en raison de leurs applications biomédicales et pharmaceutiques. L'extraction des composés actifs ont été réalisées par la méthode macération en utilisant une solution eau/étalon comme solvant d'extraction.

Les nanoparticules de cuivre ont été synthétisées à partir de l'extrait hydro éthanoïque de rhizome de *Zingiber officinale*. Cette étude a permis de faire une corrélation entre l'effet de de l'extrait de la solution de sulfate de cuivre. Nous avons démontré une approche verte pour la synthèse de NPs de cuivre en utilisant la plante *Zingiber officinale* comme un bio réducteur. En préparant des nanoparticules de cuivre sans utiliser d'agent de réduction nocifs. La caractéristique de nanoparticules de cuivre synthétisé a été réalisée par la méthode de surface, la spectroscopie UV-Visible. L'étude optique montre l'apparition des pics UV visible 200-500 nm dans le spectre d'absorption cela confirme la formation des nanoparticules de cuivre.

Les activités antioxydants et antibactériennes de l'extrait et des nanoparticules de cuivre synthétisées ont été évaluées. Le NPs de cuivre synthétisé ont montré une activité antibactérienne contre les bactéries *S. aureus* et *E. coli*, et la capacité à réduire le Fer ou révéral que l'extrait hydro alcoolique de *Zingiber officinale* a un meilleur pouvoir antioxydant proche de l'acide ascorbique (vitc). Le protocole présenté ici pour la synthèse de nanoparticules de cuivre, peut être étendu à d'autres NPs Métalliques en raison du fait que l'extrait végétal de *Zingiber officinale* est susceptible de réduire les métaux dans des condition physiologiques.

En perspectives, certains points restent à approfondir.

Il s'agit de compléter cette étude par :

- L'utilisation de la diffraction au rayon X (DRX) et la microscopie électronique à balayage pour pouvoir étudier la nature, la forme et la taille des nanoparticules synthétisées ;
- Faire des études biochimiques sur *Zingiber officinale* (Gingembre), en déterminant la concentration de chaque composant ;
- L'augmentation légère de la concentration ou du réactif de choix, pour assurer un bon rendement de la synthèse verte.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Ramsden, J.J. (2005). What is nanotechnology? *Nanotechnology perceptions*, 1, 3-17. Received 31 march 2005.
2. Okombe, E.V. & Nzuzi, G. (2019). Etude de l'activité antibactérienne (in vitro) des extraits aqueux et méthanoliques de l'ail (*Allium sativum* L.). *Journal of appli Biosciences*. <https://dx.doi.org/10.4314/jab.v14i1.7>
3. Mulongo, M.R., El Hamidi, A., Bouyahya, A., Halim, M., & Arsalane, S. (2018). A Novel-hybrid of B-Chitin/ Calcium phosphate fonctionnalized with copper nanoparticles for antibacterial applications, *Journal of environmental chemicalengineering*,6(5),6399-6406, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.09.049>
4. Amina, A.H., & Kelthoum, G. (2020). *Effet antibactérien des nanoparticules « cuivre, argent »* [Mémoire de Master, Université Frères Mentouri Constantine 1 (Algérie), Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie Appliquée, 116p.]
5. Youssra, M. (2021). *Synthèse des nanoparticules à base d'extrait de plante et la caractérisation des leurs activités biologiques* [Mémoire de Master, Université Maharned Boudiaf-Sila (Algérie), Faculté de sciences, Département de chimie, 71p.]

6. Verry, C., Percel, E., Chargari, C., Rodriguez-lafrasse, C., & Balosso, J. (2019). Utilisation de nanoparticules comme agent radio sensibilisant radiothérapie où en est- on? *Cancer / Radiothérapie*, 23(8), 917-921, Elsevier, Doi : 10.1016/j.canrad.2019.07.134
7. Saoussen, M., & Meroua, D. (2018). *Etude in vitro de l'activité antioxydante de gingembre « Zingiber officinale »* [Mémoire de Master, Université Frères Mentouri Constantine 1 (Algérie), Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biochimie et Biologie Cellulaire et Moléculaire, 84p.]
8. Yildirim, A., Mavi, A., & Kara, A.A. (2001). Determination of antioxidant and antimicrobial activities *Rumex crispus* L. extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 4083-4089. <http://dx.doi.org/10.1021/jf0103572>
9. Gulcin, I., Oktay, M., Kirecci, E., & Kufrevioglu, I.O. (2003). Screening of antioxidant and antimicrobial activities of anise (*Pimpinella anisum* L.) Seed Extracts. *Food Chemistry*, 83, 371-382. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00098-0](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00098-0)
10. Farah, A., Satrani, B., Fechtal, M., Chaouch, A., & Talbi, M. (2001). Composition chimique et activités antibactérienne et antifongique des huiles essentielles extraites des feuilles d'*Eucalyptus Camaldulensis* et de son hybride naturel (clone 583). *Acta Botanica Gallica*, 148, 183-190. <https://doi.org/10.1080/12538078.2001.10515886>
11. Harborne, J.B. (1998). *Textbook of phytochemical methods. A guide to modern techniques of plant analysis*. 5th Edition, Chapman and Hall Ltd, London, 21-72.
12. Sabri, F., Cole, J.A., Scarbrough, M.C., & Leventis, N. (2012). Investigation of Polyurea-Crosslinked Silica Aerogels as a Neuronal Scaffold : A Pilot Study. *PLoS ONE*, 7(3), e33242. Doi:10.1371/journal.pone.0033242
13. Ammor, K., Ez-zahra Amarti, F., Lagzizir, R., Mahjoubi, F., Bousta, D., & Chaqroune, A., (2021). Study of antioxydant, antiinflammatory, antinoceptive, activities and toxicity of stigmate' of Zea mays etracts, *phytotherapie*, 19 (4), 216-225.
14. Joshi, G., Wozniak, J., Petty, C., Martelon, M.K., Fried, R., Bolfek, A., Kotte, A., Stevens, J., Furtak, S.L., Bourgeois, M., Caruso, J., Caron, A., & Biederman, J. (2013). Psychiatric comorbidity and functioning in a clinically referred population of adults with autism spectrum disorders: a comparative study. *J Autism Dev Disord*, 43(6), 1314-25, Doi: 10.1007/s10803-012-1679-5. PMID: 23076506.
15. Harborne, J.B. (1973). *Phytochemical methods*. Chapman and Hall Ltd., London, 49-188.
16. Odebiyi, O.O., & Sofowora, E.A. (1978). Phytochemical screening of Nigerian medicinal plants II. *Lloydia*, 41(3), 234-46. PMID: 672462.
17. Kamalinejad, M., Mojab, F., Ghaderi, N., & Vahidipour, H.R. (2003). Phytochemical screening of some species of Iranian plants. *Iranian Journal of Pharmacertical Research*, 2, 77-82
18. Fernando, S., Gunasekara, T., & Holton, J. (2018). Antimicrobial Nanoparticles: applications and mechanisms of action. *Sri Lankan Journal of Infectious Diseases*, 8(1). <https://doi.org/10.4038/sljid.v8i1.8167>

19. Saidi, A., & Benhammadi, S. (2023). *Caractérisation physico-chimique du gingembre* [Mémoire de Master, Université Aboubekr-Tlemcen (Algérie), Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et Sciences de la Terre et de l'Univers, Département de Biologie, 72p.]
20. Benmerzouga, N. (2024). *Synthèse des nanoparticules à base de cuivre par des extraits de feuilles d'Eucalyptus globulus. Etude de l'activité antioxydante et photocatalytique* [Mémoire de Master, Université Saad Dahlab Blida 1 (Algérie), Faculté des sciences, Département de chimie, 94p.]
21. Beggas, L., & Bendoukhane, M. (2017). *Etude de l'activité Antioxydante de gingembre "zingiber officinale"* [Mémoire de Master, Université des Frères Mentouri Constantine 1 (Algérie), Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biochimie et Biologie Cellulaire et Moléculaire, 59p.]
22. Mulongo, M.R., Khachani, M., Aarsalane, S., Halim, M., & El Hamidi, A. (2015). Synthesis and thermal dehydroxylation kinetic of anhydrous calcium phosphate monetite CaHPO_4 . *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Doi: 10.1007/s10973-015-5130-y
23. Yacoubi, K. (2018). *Synthèse des nanoparticules de cuivre par la méthode hydrothermale (Application: Dégradation de bleu de méthylène)* [Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi- Ouzou (Algérie), Faculté des sciences, Département de chimie, 56p.]
24. Baghli, F., & Iles, M. (2024). *Contribution à l'étude de l'activité antioxydante des extraits de Zingiber officinale* [Mémoire de Master, Université Aboubekr Belkaid-Tlemcen (Algérie), Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et Sciences de la Terre et de l'Univers, Département d'Agronomie, 82p.]
25. Jagetia, G.C., Baliga, M.S., Venkatesh, P., & Ulloor, J.N. (2003). Influence of ginger rhizome (*Zingiber officinale* Rosc) on survival, glutathione and lipid peroxidation in mice after whole-body exposure to gamma radiation. *Radiat Res*, 160(5), 584-92. Doi: 10.1667/rr3057. PMID: 14565823
26. Haksar, A., Sharma, A., Chawla, R., Kumar, R., Arora, R., Singh, S., Prasad, J., Gupta, M., Tripathi, R.P., Arora, M.P., Islam, F., & Sharma, R.K. (2006). Zingiber officinale exhibits behavioral radioprotection against radiation-induced CTA in a gender-specific manner. *Pharmacol Biochem Behav*, 84(2), 179-88. Doi: 10.1016/j.pbb.2006.04.008. PMID: 16797061
27. Abbas, A.H., & Fairouz, N.Y. (2022). Characterization, biosynthesis of copper nanoparticles using ginger roots extract and investigation of its antibacterial activity. *Materials Today: Proceedings*, 61, 908–913, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.551>
28. Aminath, F.Y., Chakirath, F., Dougnon, V., Baba-Moussa, L.S., & Youssao, A. (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.
29. 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].