Revue-IRS

Revue Internationale de la Recherche Scientifique (Revue-IRS)

ISSN : 2958-8413

Vol. 4, No. 5, Octobre 2026

Synthèse verte de nanoparticules de cuivre à base des extraits de totaux d'*Allium sativum* applique à la sante

Green synthesis of copper nanoparticles based on extracts of *Allium sativum* has applications in health

Samba Lokombe Christian [1], Kasilembo Mponga Phany [1], Lokango Okintambolo Olivier [1], Okoto Washema Mamie-Alice [1], Gefeu Loela Steven [1], Binti Fataki Keziah [1], Mialutila Nsimba Victorine [2], Masunda Tuwisana Adrien [2], Mulongo Masamba Raphaël [1,2]

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

[2] Institut Superieur Techniques Medicales de Kinshasa (ISTM/KINSHASA), B.P.774 Kinshasa XI, R.D. Congo

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license.

Abstract: The green synthesis of copper nanoparticles (CuNPs) was carried out using *Allium sativum* extract. Hydroethanolic extracts of *Allium sativum* were used as reducing and stabilizing agents in the preparation of the nanoparticles. The copper nanoparticles (CuNPs) were characterized by colorimetry (optical properties) and UV-Visible spectrophotometry by determining the plasmon resonance surface area (PRSA). After characterization, the antibacterial activity of the CuNPs boosted with *Allium sativum* extracts was evaluated against two bacterial strains: *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus.* The synthesized copper nanoparticles exhibited a highly effective bacteriostatic effect against both types of bacteria (*Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus).* The results obtained in this work demonstrate 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 it into the composition of pharmaceutical and biomedical products.

Keywords: *Allium sativum,* Green synthesis, Copper nanoparticles, Antibacterial activity, Minimum inhibitory concentration.

RESUME: La synthèse verte de nanoparticules de cuivre (CuNPs) a été réalisée à partir d'extrait d'*Allium sativum.* L'extraits hydroéthanolique d'*Allium sativum* a été utilisé comme agents réducteurs est stabilisants dans la préparation des nanoparticules. Les nanoparticules de cuivre (CuNPs) ont été caractérisées par colorimétrie (propriété optique) et spectrophotométrie UV-Visible par la détermination de la surface plasmonique de résonance (SPR). Apres caractérisation, l'activité antibactérienne des CuNPs dopes des extraits d'*Allium sativum* a été évalué sur deux souches bactérienne : *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus.* Les nanoparticules de cuivre synthétisées ont un effet bactériostatique très efficace contre les deux types de bactéries (*Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus).* Les résultats obtenus au cours de ce 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: *Allium sativum,* Synthèse verte, Nanoparticules de cuivre, Activité antibactérien, Concentration minimale inhibitrice.

Digital Object Identifier (DOI): https://doi.org/10.5281/zenodo.**23836197**

1 INTRODUCTION

La nanotechnologie est un domaine de recherche, d'innovation, de développement et d'activité industrielle qui a connu une croissance rapide ces dernières années. Cette technologie englobe de nombreuses disciplines telles que la biologie, l'ingénierie, la physique et la chimie. Elle implique la fabrication et le traitement de matériaux à l'échelle de 100 nm. Les nanocomposites polymères occupent une place particulière en raison de la diversité de leurs applications. La différence entre les propriétés des polymères purs et celles des nanocomposites polymères correspondants est attribuée à l'effet significatif des charges nanométriques sur la matrice polymère. Il est reconnu que les nanocomposites à base de matrice polymère sont des matériaux importants pour des applications telles que les revêtements, les adhésifs, l'industrie automobile, les applications isolantes, et les applications médicales (1).

Les nanomatériaux sont des matériaux composés de très petites particules de la taille d'un nanomètre. Ces matériaux ont des caractéristiques uniques et distinctives et attirent donc l'intérêt de nombreux chercheurs et ingénieurs dans plusieurs domaines tels que les sciences naturelles, industrielles, médicales, électroniques et biologiques. Il peut être fabriqué à partir d'une variété de matériaux tels que les métaux, oxydes, polymères, etc. Parmi les principales propriétés des nanoparticules, il a une surface élevée par rapport à sa taille, ce qui le rend très réactifs (2).

La synthèse des nanoparticules s'effectue habituellement par divers procédés physiques et chimiques tels que l'ablation par laser, la pyrolyse, le dépôt chimique ou physique de vapeur, le sol gel, l'électrode de position par lithographie, la plupart étant coûteux et où nécessitant l'utilisation de solvants toxiques. Récemment, de grands efforts sont faits pour utiliser des méthodes respectueuses de l'environnement pour la synthèse des nanoparticules de métaux nobles. Ceci est principalement obtenu par l'utilisation d'extraits des plantes ou de fruits. et de bio-organismes. Ces méthodes vertes sont peu coûteuses, rapides, efficaces et conduisent généralement à la formation de nanoparticules cristallines avec une variété de formes (sphères, tiges, prismes, plaques, aiguilles, feuilles, ou dendrites) avec des tailles comprises entre 1 et 100 nm. Ces caractérisations dépendant principalement des paramètres du processus, tels que la nature de l'extrait végétal et les concentrations relatives de l'extrait et du (s) sel (s) .la température et le temps de réaction (3,4).

La synthèse des nanoparticules de cuivre (CuNPs) avec des extraits totaux d'*Allium sativum* pourrait accroître leurs stabilité et donnerait une synergie à son activité biologique. La question que nous nous sommes posés et de savoir quelle serait l'activité antibactérienne des CuNPs dopés aux extraits totaux d'*Allium sativum* (Ail). Et quelle serait aussi leurs stabilités ?

Pour cela nous nous sommes fixés les objectifs spécifiques suivants :

- Détermination de l'activité antimicrobienne des nanoparticules de cuivre synthétisé vis-à-vis des deux souches bactériennes ;
- Extraction de principes actifs d'*Allium sativum* (Ail) ;
- Biosynthèse de nanoparticules de cuivre à partir des extraits totaux d'*Allium sativum* (Ail);
- Caractérisations les nanoparticules de cuivre par spectrophotométrie UV- visible et effet optique ;
- Détermination de pouvoir réducteur de Fer de l'extrait aqueux d'*Allium sativum* (Ail).

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 MATERIELS

2.1.1 Site et Période d'activité

Notre étude s'est réalisée aux laboratoires de chimie-biochimie et de Science des aliments de l'Institut Supérieur des Techniques Médicales de Kinshasa. Les expérimentations sur la synthèse verte des nanoparticules de cuivre ont été réalisées au laboratoire de Chimie tandis que les test bacteriologique ont été réalises au laboratiore de Science des aliments. Les données d'analyse ont été collectées dans la période du 18 avril au 07 juillet 2022.

2.1.2 Matériel végétal

Le matériel végétal utilise pour cette étude est constitué de bulbes d'*Allium sativum* (Ail). L'*Allium sativum* est une espèce de plante potagère vivace monocotyledone dont les bulbes à l'odeur et au gout fort, sont utilisés comme condiment en cuisine. Il est compose des acides amines non volatils, responsables de sa saveur. Ces acide amines contiennent du soufre (Thiosufinates), parmis lesquels le precurseur les plus predominant est l'alline ou le sulfoxide de S-allyl-cysteine (ACSO). Il est prisé pour ses propriétés anti-inflammatoires, antimicrobienne, antivirale, antiparasitaire, hypoglycemiante, etc (5,22,25), comme le montre le figure 1.

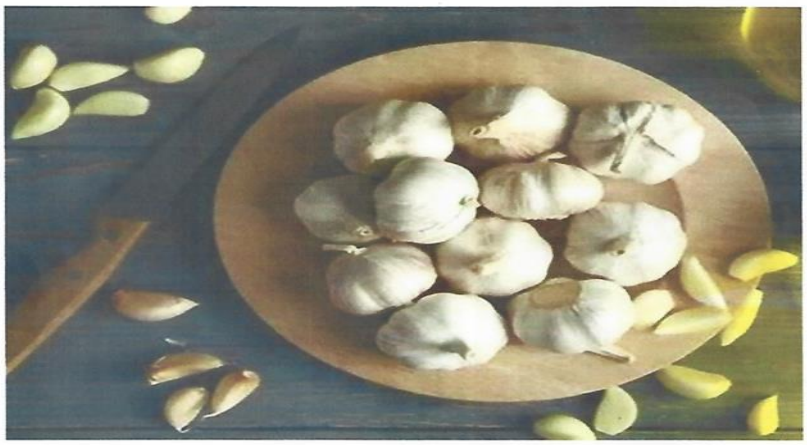


Figure 1 : **Présentation de l'*Allium sativum* (Ail).**

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 ;
- Boite de pétrie ;
- Ouate ;
- Marmite à précision ;
- Balance à précision ;
- Pince métallique ;
- Ecouvillon stérile ;
- Plaque chauffante ;
- Boite d'allumette ;
- Papier buvard.

b. Réactifs

- Milieu Muller Hinton ;
- Produit biologique ;
- Eau distillée ;
- Ethanol 70% ;
- Eau physiologique 0,9 % ;
- Ferricyanure de potassium 1% ;
- Chlorure ferrique 0,1% ;
- NaCl 9g/l ;
- $CuSO_4.5H_20$;
- Cuivre métallique ;
- *Allium sativum* (Ail) , etc.

2.2 METHODES

2.2.1 Echantillonnage

Les gousse d'*Allium sativum (*Ail) utilisées dans notre travail ont été achetés chez un épicier au marché de Rond-point Ngaba et les souches bactériennes ont été procurées au laboratoire de bactériologie des Cliniques Universitaires de Kinshasa.

Les différentes méthodes exploitée dans cette étude :

- Préparation des extraits totaux d'*Allium sativum ;*

- Synthèse verte de nanoparticules de cuivre (CuNPs) ;
- Caractérisation des nanoparticules de cuivre (CuNP) ;
- Activité antibactérienne.

2.2.2 Préparation de l'extrait total d'*Allium sativum*

La préparation de l'extrait hydroalcoolique a été effectuée par macération de la poudre végétale dans l'éthanol 70 %. Après avoir été expurgé, les gousses *d'Allium sativum* ont été coupées en rondelle, séchés à l'étuve à 105° C pendant 6h, puis broyés dans le but d'obtenir une poudre fine.

L'extrait total d*'Allium sativum* a été préparé en mélangeant 7g de la poudre d'*Allium sativum* (Ail) dans 35 ml d'une solution eau/éthanol (3/7, v/v), la suspension est passée sous agitation magnétique pendant 24h pour obtenir une solution homogène. Ensuite la solution a été centrifugée, puis conservée à l'abri de la lumière.

2.2.3 Synthèse verte des nanoparticules de cuivre (CuNPs)

La synthèse verte des nanoparticules de cuivre constitue une approche prometteuse dans le domaine des nanotechnologies. Elle repose sur l'utilisation d'extraits végétaux riches en composés bioactifs, tels que les polyphénols, les flavonoïdes et les tanins, susceptibles de participer à la réduction des ions cuivre et à la stabilisation des nanoparticules formées (26).

Une solution de sulfate de cuivre ($CuS0_4$) 10^{-3}M a été préparée en mélangeant 0,12 g de poudre de sulfate de cuivre penta hydraté ($CuSO_4.5H_20$) dans 500 ml d'eau distillée.

Différentes dilutions ont été préparées (1/30, 1/50 et 1/70) dans l'ordre de 1 ml de l'extrait total d'*Allium sativum* dans respectivement 30, 50 et 70 ml de la solution de $CuSO_4$, mélangées par agitation magnétique, ensuite ces trois différentes solutions ont été placés dans un bain-marie à 70°C puis conservées à l'abris de la lumière pour la caractérisation ainsi que l'activité antibactérienne. Les solutions obtenues ont présentées une coloration jaune.

2.2.4 Caractérisation des nanoparticules de cuivre (CuNP)

Spectrophotometrie UV-Visible

Elle suivre l'évolution de l'absorption optique et rechercher des indices de formation des nanoparticules.

- **Principe**

Elle repose sur l'interaction de la lumière émise avec l'échantillon à analyser, avec une radiation électromagnétique d'énergie élevée soit 200 nm à 800 nm. Cette technique consiste à étudier les structures électroniques de molécules insaturées et à mesurer l'étendue de leur conjugaison (26,10).

Son principe est basé sur la mesure de la différence entre la lumière incidente et la lumière transmise par la solution Loi de Beer-Lambert. Lorsqu'une lumière d'intensité Io traverse une substance en solution, une partie de celle-ci est absorbée par cette substance et l'autre partie sera transmise avec une intensité inférieure à Io. Les spectres enregistrés donnent l'absorbance en fonction de la longueur d'onde du

rayonnement ou encore du nombre d'onde. Le spectre d'absorption permet à la fois l'identification (analyse qualitative) et l'estimation (analyse quantitative) de la substance. Les mesures spectrophotométriques ont été effectuées à l'aide d'un spectrophotomètre à double faisceau ultraviolet-visible (UV-Visible) pour les nanoparticules cuivre (CuNPs) par balayage du spectre entre 200-500 nm.

2.2.5 Activité antioxydante

La détermination du pouvoir antioxydant a été réalisée sur l'extrait aqueux d' *Allium sativum* par la méthode de FRAP (Ferric Reducing Antioxydant Power). Cette méthode utilise comme réactif le ferricyanure de potassium et le Chlorure de Fer III.

2.2.5.1 Préparation de l'extrait aqueux de gousses d'*Allium sativum*

2 g de poudre d*'Allium sativum* a été mélangé à 20 ml d'eau distillée, agitée et incubée à la température ambiante pendant 10 min.

2.2.5.2 Test du pouvoir antioxydant par la réduction de Fer (Ferric Reducing Antioxydant Power)

Le pouvoir réducteur des différents extraits est estimé en appliquant la méthode de (6,7,8).

- **Principe**

L'évaluation est basée sur la réaction de réduction du Fer présent dans le complexe Ferrocyanure de potassium en Fer, la réaction est révélée par le virement de la couleur jaune du Fer ferrique (Fe^{+3}) au couleur bleu vert du Fer ferreux (Fe^{+2}), l'intensité de cette coloration est mesurée par un spectrophotomètre à 700 nm après 10 min d'incubation à la température ambiante, et dont l'intensité est proportionnelle au pouvoir réducteur des extraits testés (7).

- **Mode opératoire**

Quatre différentes solutions ont été préparées dans l'ordre de 2 ml, 1,5 ml, 1 ml et 0,5 ml de cette solution. Ensuite les 4 volumes ont été ramenés à 4 ml avec de l'eau distillée. On ajouta 1 ml de ferricyanure de potassium ($K_3Fe(CN)_6$) 1% dans chaque tube, agiter et incuber à la température ambiante pendant 10 min. Puis 1 ml de ce mélange a été prélevé, pour être placé dans 4 différents tubes et cela est ramené à 3 ml avec de l'eau distillée. On ajouta encore 1 ml de Chlorure de Fer III ($Fe\ Cl_3$) 0, 1 % dans chaque tube, enfin les 4 solutions ont été agitées puis dosées au spectrophotomètre à 700 nm.

2.2.6 Évaluation de l'Activité antimicrobienne

L'évaluation de l'activité antimicrobienne de nanoparticules de cuivre (CuNPs), de sulfate de cuivre ($CuSO_4$) et de l' extrait hydroalcoolique d'*Allium sativum* (Ail) a été effectué par la méthode de dilution en milieu liquide. La méthode de dilution consiste à observer une suspension bactérienne qui a été mise en contact avec différentes concentrations de la substance antimicrobienne dans un milieu liquide contenant les souches bactériennes :

- **Bactéries Gram Positifs :** *Staphylococcus aureus ;*
- **Bactéries Gram Négatifs :** *Escherichia coli.*

Préparation de I'inoculum

La densité de l'inoculum microbienne est indispensable, elle doit être comparé à un étalon de turbidité. L'étalon de référence est celui de Mac Ferland car l'activité antimicrobienne est dépendante de la densité de la suspension cellulaire de la souche microbienne utilisée. L'inoculum a été préparé à partir d'une culture pure et jeune (18 à 24h) des souches bactériennes sur milieu d'isolement, en prélevant quelques colonies puis mettre en suspension dans 10 ml de solution physiologique 0,9 %.

2.2.6.1 Détermination de l'activité antimicrobienne

L'aromatogramme est basé sur la technique utilisée en bactériologie médicale appelé Antibiogramme. Le principe de cette dernière réponse sur la diffusion de la substance antimicrobienne en milieu solide, dans une boîte de pétri, avec création d'un gradient de concentration après contact entre la substance et la souche microbienne en 18-24h à 37°C. Nous avons opté pour la méthode de dilution en milieu liquide, car elle semble plus reproductible et quantitative que la méthode de diffusion en disque (23,26).

La méthode de dilution en milieu liquide consiste à observer une suspension bactérienne qui a été mise en contact avec différentes concentrations de la substance antimicrobienne dans un milieu liquide. Il s'agit de déterminer la concentration minimale inhibition (CMI) en observant la présence ou l'absence de la turbidité. Cela détermine la concentration minimale qui permet une inhibition de la croissance bactérienne après 24h de contact (23,24).

Une dilution sériée, dans des tubes à essai de 5 ml contenant de l'eau distillé, est effectuée pour obtenir différentes concentrations. Ensuite 5 gouttes de l'inoculum préparé ont été ajoutées dans chaque tube, puis les tubes ont été incubés à l'etuve à 37°C. Les premiers tubes qui ne semblent pas présenter de croissance bactérienne représentent la CMI.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 RESULTATS

3.1.1 Solution colloïdales de CuNPs/Ex Aq *Allium Sativum*

La synthèse de nanoparticules de cuivre est une réduction des ions cuivrique (Cu^{2+}) en cuivre métallique suivant la réaction suivante :

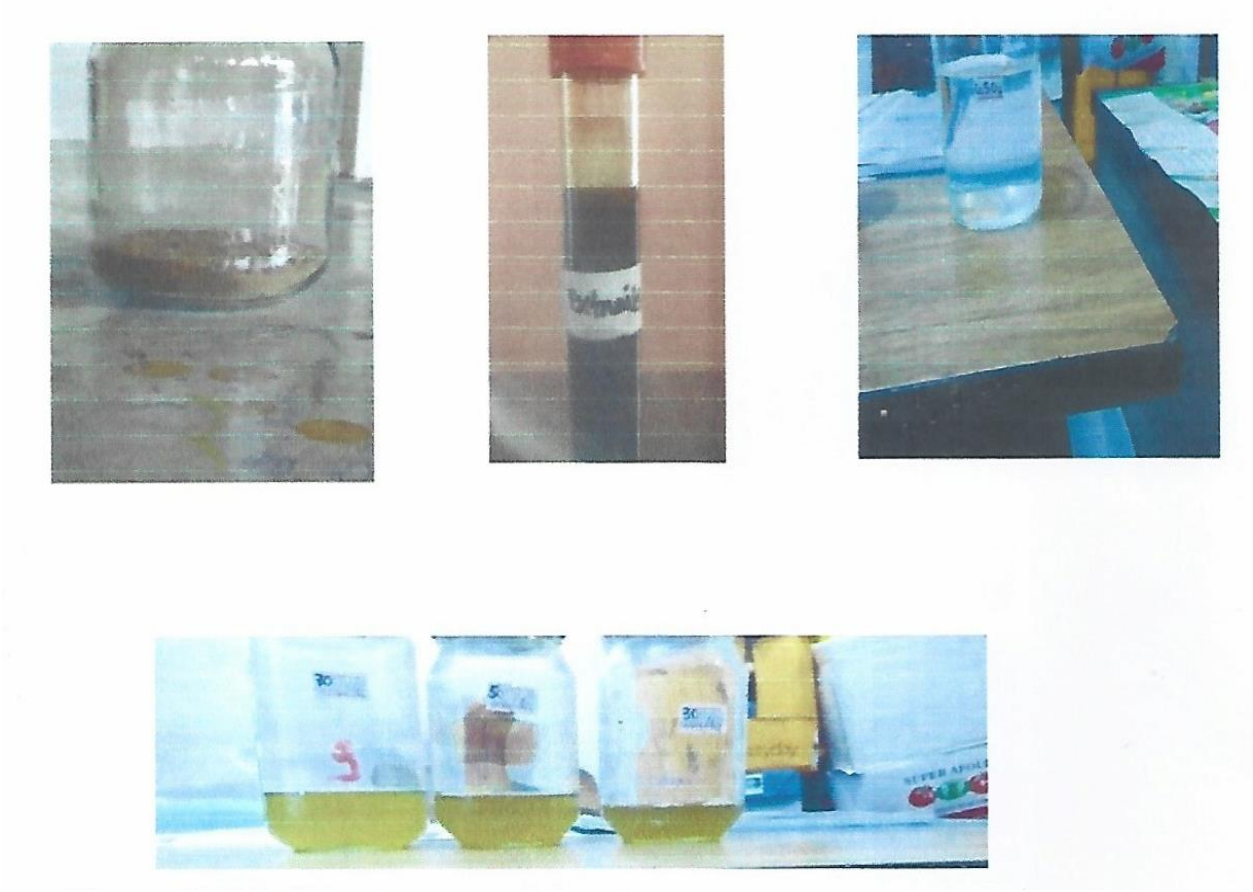
Cu^{2+} + Extraits totaux *Allium sativum* —> Cu° + solution colloïdale.

Les étapes de cette réaction sont:

- La nucléation ;
- La croissance ;
- Terminaison (maturation).

Nos résultats sont représentés dans la figure 2.

Figure 2 : **Montage synthèse de nanoparticules de cuivre (CuNPs)**



3.1.2 Spectrophotométrie ultraviolet-Visible (UV-Visible)

Les propriétés optiques de CuNPs synthétisées ont été étudiées en utilisant la spectrophotomètre ultraviolet-Visible. Les nanoparticules de cuivre synthétisées avec l'extrait botanique *d'Allium sativum* (Ail) ont été caractérisées par un spectrophotomètre UV-Visible dans la plage de 200-500 nm sont représentés dans la figure 3.

Des pics caractéristiques observés à 230 nm et 420 nm, 220 nm et 410 nm, 230 nm et 420 nm respectivement pour les solutions (1/30, 1/50 et 1/70) et les spectres enregistrés sont représentés dans la figure 2.

La formation des pics des différents échantillons sont principalement dues à la réduction du sulfate de cuivre et à la réduction biologique des particules végétales en solution. Cela indique que les particules végétales jouent un rôle important dans la réduction de $CuSO_4$ en CuNPs.

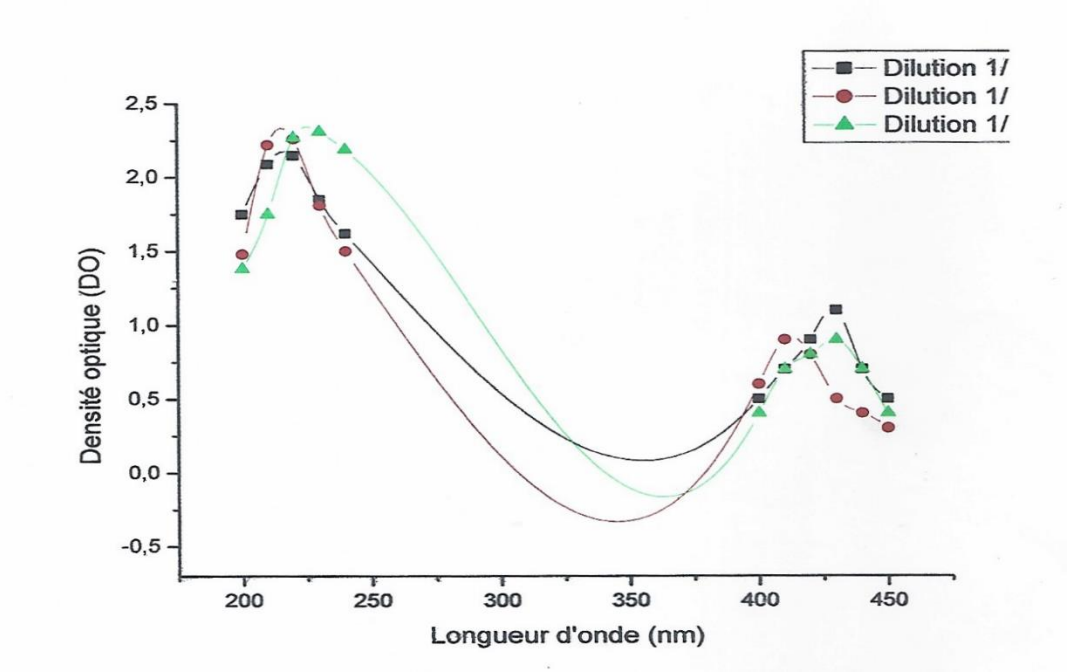


Figure 3 : **Spectre UV-Visible des NPs de Cu synthétisés par l'extrait d'*Allium sativum***

3.1.3 Evaluation de l'activité antioxydant

La détermination du pouvoir réducteur est souvent employée pour évaluer la capacité d'un éventuel antioxydant à donner des électrons. Cette aptitude de réduction peut servir d'indicateur significatif de ses activités antioxydants. En ce nous concerne, le virage de la coloration jaune à vert bleuâtre de la solution montre l'importance du pouvoir réducteur de la solution à analyser.

L'extrait aqueux d'*Allium sativum* a montré une capacité antioxydante équivalente proche de la solution à 62,5 mg/ml Vit. C sont représentés dans la figure 4.

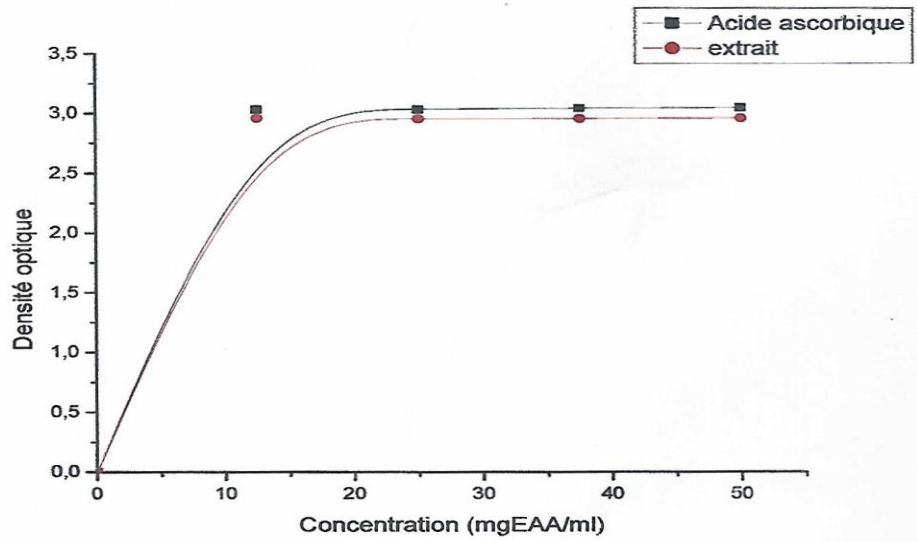


Figure 4 : **Pouvoir réducteur de l'extrait d'*Allium sativum* comparé avec celui de la Vit. C**

3.1.4 Evaluation de l'activité antibactérienne des nanoparticules synthétisés

Nous avons testé l'activité antibactérienne de CuNPs, de la solution de $CuSO_4$, ainsi que l'extrait hydroalcoolique de la plante étudiée (*Allium sativum)* sur deux souches bactériennes :

- *Escherichia coli* (Bactérie à Gram Négatifs) ;
- *Staphylococcus aureus* (Bactérie à Gram Positifs).

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

3.1.4.1. Détermination de la Concentration Minimale Inhibition (CMI)

Tableau 1 : **Activités antibactériennes (CMI) de la solution $CuSO_4$**

Souches bactériennes	**Concentration en mg/ml**				
	0,12	0,06	0,03	0,015	0,0075
Staphylococcus aureus	-	-	-	CMI	+
Escherichia coli	-	-	CMI	+	+

Ce tableau nous montre que la solution de : $CuSO_4$ a un effet sur les deux souches bactériennes. La CMI correspond à 0,015 mg/ml pour *Staphylococcus aureus* et 0,03 mg/ml pour *Escherichia coli.*

Tableau 2 : **Activités antibactérienne (CMI) de l'extrait hydroalcoolique d'*Allium sativum***

Souches bactériennes	**Concentration en mg/ml**				
	100	50	25	12,5	6,25
S. aureus	-	-	-	CMI	+
E. coli	-	-	CMI	+	+

Ce tableau indique que l'extrait hydroalcoolique de l'ail est efficace à partir de la concentration de 12,5 mg/ml pour *S. aureus* et de 25 mg/ ml pour *E. coli* tandis que les bactéries se sont multipliées dans tous les tubes quel que soit la concentration utilisée.

Tableau 3 : Activité antibactérienne de CuNPs à base de l'extrait total *d'Allium sativum* (conc. 1/30)

Souches bactériennes	**Concentration en mg/ml**				
	3,55	1,775	0,8875	0,44375	0,22187
S. aureus	-	-	-	CMI	+
E. coli	-	-	CMI	+	+

Ce tableau nous montre que le NPs de Cu à un effet sur les bactéries, a différente concentration (3,55 ; 1,775 ; 0,8875 ; 0,44375 et 0,22187) et que la CMI de NPs de Cu à 1/30 sur la souche *S. aureus* est de 0,44375 mg/ ml et 0,8875 mg/ ml pour la souche *E. coli*.

Tableau 4 : **Activité antibactérienne de CuNPs à base de l'extrait total d'*AlIium sativum* (conc. 1/50)**

Souches bactériennes	**Concentration en mg/ml**				
	1,8	0,9	0,45	0,225	0,1125
S. aureus	-	-	-	CMI	+
E. coli	-	-	CMI	+	+

Ces résultats montrent que la CMI de NPs de Cu à 1/50 sur *S. aureus* est de 0,225 mg/ml et de 0,45 mg/ml pour *E. coli*.

Tableau 5 : **Activité antibactérienne de CuNPs à base de l'extrait total *d'Allium sativum* (conc. 1/70)**

Souches bactériennes	**Concentration en mg/ml**				
	2,65	1,325	0,6625	0,33125	0,165625
S. aureus	-	-	-	CMI	+
E. coli	-	-	CMI	+	+

Les résultats de ce tableau nous montrent que la CMI de NPs de Cu à 1/70 est de 0,33125 mg/ml pour *S. aureus* et de 0,6625 pour *E. coli*.

3.2 DISCUSSION

3.2.1 Caractérisation des CuNPs/Ex Aq-Eth *Allium sativum*

3.2.1.1 Propriétés optiques de CuNPs

Les résultats de la figure 2, nous montre la variation de la coloration de la solution colloïdale des CuNPs /Ex Aq Et confirme la formation de nanoparticules de cuivre microstructure différente. En effet, la variation de la coloration montre la réduction du Cu^2 cuivrique (II) en cuivre métallique (O) avec leur coloration caractéristique. Nos résultats sont en accords avec ceux de (9,10,11).

Le rôle des phytomolécules dans la formation des nanoparticules de cuivre est mis en évidence car les plantes contiennent des agents réducteurs, des chélatants et des stabilisants ce qui confirment une grande stabilisant des nanoparticules obtenues. En effet le cuivre métallique s'oxyderait en oxyde de cuivre en absence des chélatants et des stabilisants (10,11).

3.2.1.2 La Résonance de la surface plasmique localisée

En se basant des courbes de la figure 3, il convient de remarquer la grande interaction des CuNPs avec la lumière qui favorise la conduction des électrons sur la surface métallique et implique une oscillation collective quand ils sont excites par la lumière à une longueur d'onde spécifique (SPR). Cette oscillation résulte dans les propriétés de l'absorption. Cette étude a permis de réaliser la synthèse verte de CuNPs à partir de l'extrait hydroalcoolique de la plante *Allium sativum*, et d'en évaluer l'activité

antibactérienne in vitro de *S. aureus* et *E. coli* par le test d'inhibition, sur milieu liquide. Nos résultats corroborent avec ceux de (5).

Les pics caractéristiques à 230, 220 et 230 nm respectivement pour 1/30, 1/50 et 1/70 ont été observé en UV et a 420, 410 et 430 dans le visible. Ce qui confirme la formation de CuNPs. 1/30 a montré deux pics à 230 et a 420 nm. Par contre, 1/50 a montré un effet hypochrome en UV et dans le visible, en absorbant à 220 et a 410 nm. Ceci est probablement lie à la microstructure et la taille des nanoparticules obtenues lors de la synthèse verte, et 1/70 a montré deux pics à 230 et à 430 nm. Les spectres UV-Visible des synthétisés sont représentés dans la figure 2. Nos résultats sont en accord avec ceux de (7,10,17,21).

3.2.2 Activite antioxydante des extraits acqueux d'*Allium sativum*

En ce qui concerne l'activité antioxydant de l'extrait hydroalcoolique de la plante étudiée, la littérature rapporte que les activités biologiques a l'extrait d'*Allium sativum* sont cependant dues à l'allicine, qui constitue l'une des molécules clés de l'ail, présentant plusieurs propriétés biologiques, médicales et organoleptiques (12).

Il convient de signaler que la capacité réductrice des composés est l'inducteur majeur de leur potentielle activité antioxydant. La présence de cette activité dans l'extrait favorise la réduction du fer ferrique en fer ferreux.

Les résultats de cette activité dans la figure 3 montrent que l'extrait hydroalcoolique de l'*Allium sativum* présente l'activité antioxydante légèrement inférieur que celle de l'acide ascorbique (62,5 mg /ml). Le pouvoir réducteur de l'acide ascorbique peut être dû aux substitutions poly et mono hydroxyde dans son cycle qui possède de puissantes capacités de don d'hydrogène. Nos résultats sont analogues à ceux de (12,13).

En conséquence, ces réducteurs peuvent réagir avec les radicaux libres pour stabiliser et bloquer les réactions radicalaires en chaine. Le type de solvant joue un rôle important dans l'extraction des composés phénoliques et des molécules antioxydantes. Selon (13), il a été montré que le mélange eau alcool est un meilleur solvant d'extraction des végétaux que l'alcool.

3.2.3 Activité antibactérienne des CuNPs d'*Allium sativum*

3.2.3.1 Activité antibactérienne de la solution du $CuSO_4$

Au regard des résultats du tableau 2, il convient de signaler que la solution de sulfate de cuivre a une activité antibactérienne et algicide. La CMI obtenue pour les deux souches signifie que la surface de cuivre a une grande activité antibactérienne (0,015 mg/ml) et (0,03 mg/mI) pour *S. aureus* et *E. coli* respectivement. Nos résultats corroborent avec ceux de (5,9,11).

Les propriétés antibactériennes des ions Cu^{2+} ont toujours été reconnues et les mécanismes de la toxicité ne sont encore partiellement compris (14).

3.2.3.2 Activité antibactérienne des extraits hydroalcoolique d'*Allium sativum*

En se basant des résultats du tableau 3, nous remarquons les extraits hydroalcoolique d'*Allium sativum* ont une activité antibactérienne. Nos résultats sont en accord avec ceux de (5,15,16). Mais, il convient de signaler que le solvant à aussi une grande influence sur la CMI en comparaison avec la solution de $CuSO_4$ et les CuNPs.

3.2.3.3 Activité antibactérienne des CuNPs/Ext Aq-Eth *AIlium sativum*

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 à ceux de la littérature (17,18,19) qui montrent que l'activité des NPs peut varier entre les bactéries Gram positif et Gram négatif.

Les travaux de (17,18) ont évalués les mêmes nanoparticules de cuivre sur différentes souches bactériennes. Les concentrations nécessaires pour avoir un effet antibactérien différent tellement dépendamment de la souche bactérienne, ce qui vient confirmer nos résultats. Ce phénomène peut être expliqué par les différentes membranes cellulaire 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 cousant des dommages. Cependant les mécanismes de dommages ne sont pas bien élucidés (14).

Des études ont montré que les NPs s'attachent à la surface des bactéries de différentes manières soit par des forces Van du Wards, soit électro statistique, hydrophobique ou des interaction 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 (14,18,19,21).

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 (20,21).

CONCLUSION

Les nanoparticules de cuivre (CuNPs), issues d'une synthèse respectueuse de l'environnement, trouvent des applications particulièrement efficaces dans les domaines pharmaceutique, optique, des batteries, des capteurs de gaz, de la catalyse, des cosmétiques et des semi-conducteurs.

Dans cette étude la synthèse verte de nanoparticules de cuivre (CuNPs) a été réalisée à partir d'extrait d'*Allium sativum.* L'extraits hydro éthanolique d'*Allium sativum* a été utilisé comme agents réducteurs est stabilisants dans la préparation des nanoparticules. Les nanoparticules de cuivre (CuNPs) ont été caractérisées par colorimétrie (propriété optique) et spectrophotométrie UV-Visible par la détermination de la surface plasmonique de résonance (SPR).

Apres caractérisation, l'activité antibactérienne des CuNPs dopes des extraits d'*Allium sativum* a été évalué sur deux souches bactérienne : *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus.* Les nanoparticules de cuivre synthétisées ont un effet bactériostatique très efficace contre les deux types de bactéries (*Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus).*

Les résultats obtenus au cours de ce 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.

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 l'*Allium sativum* (Ail), 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. Tahri, K., & Kiouas, H. (2024). *Préparation, caractérisation et application d'unnanomatériau à base d'oxyde de cuivre CuO.* [Mémoire de Master,Université de Ghardaïa, Incubateur Université de Ghardaïa, Faculté des sciences et de la technologie, Département de génie des procédés, 131p.].

2. Wiam, S., & Rahma, H. (2023). *Synthèse vert et caractérisation des nanoparticules à base de CuO et leur application en photocatalyse (élimination de bleu de méthylène)* [Memoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla,Faculté des Sciences appliquées, Département de Génie des Procédés, 70p.].

3. Safa, L., & Sana, H. (2023). *Synthèse verte et caractérisation des nanoparticules hybrides à base de Fe_2O_3-CuO et leur application en photocatalyse bleu de méthylène)* [Memoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla,Faculté des Sciences appliquées, Département de Génie des Procédés, 76p.].

4. Hadid, Y., & Chetioui, A., (2023). *Synthèse verte et caractérisation des nanoparticules à base de Fe_2O_3 et leur application en photocatalyse (Élimination de bleu de méthylène)* [Memoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla,Faculté des Sciences appliquées, Département de Génie des Procédés, 58p.].

5. Velsankar, K. , Aswin, R.M., Preethi, R., Muthulakshmi, V., & Sudhahar, S. (2020). Green synthesis of CuO nanoparticles via *Allium sativum* extract and its characterizations on antimicrobial, antioxidant, antilarvicidal activities. *Journal of Environmental Chemical Engineering,* Volume 8, p.104-123. Doi :10.1016/j.jece.2020.104123.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. Mulongo, M.R., El Hamidi, A., Bouyahya, A., Halim, M., & Arsalane, S. (2018). A Novel-hydrid of B-Chitin/ Calcium phosphate functionnalized with copper nanoparticules for antibacterial applications, *Journal of environnemental chemicalempineering,*6(5),6399-6406, https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.09.049.

10. Benmerzouga, N. (2024). *Synthèse des nanoparticules à base de cuivre par des extraits de feuilles d'Eucalyptus globulus. Etude de l'activité antioxydante et photocatalyque* [Mémoire de Master, Université Saad Dahlab Blida 1 (Algérie), Faculté des sciences, Département de chimie, 94p.].

11. Mulongo, M.R., Khachani, M., Arsalane, 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.

12. Naili, F. & Ben Selhoub, C. (2020). *Optimisation de l'extraction assistée par micro-ondes par plan d'expérience de l'ail*. [Mémoire de Master Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers, Département des Sciences Biologique, 55p, http://10.10.1.6:4000/handle/123456789/355].

13. Hernández-Ochoa, L. (2005). *Substitution de solvants et matières actives de synthèse par un combine « Solvant/Actif » d'origine végétale.* [Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique (Toulouse), France ⟨NNT : 2005INPT025G⟩. ⟨tel-04583360⟩].

14. Talantikit, M. (2014). *Effets antibactériens des nanoparticules de cuivre, oxyde de cuivre et oxyde de fer* [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie. https://publications.polymtl.ca/1608.

15. Metiaz, H.M., & Boudiba, A. (2020). *Synthèse, Caractérisation des nanoparticules d'argent à base d'extraits des feuilles des plantes et évaluation de leur activité antioxydante et anti microbienne*. [Mémoire de Master, Université de Ghardaïa (Algérie), Faculté des sciences et technologies, 83p]. Http ://dspace.univ ghardaia.dz 8080/xmlui/handle/ 123456789/308.

16. Charmaa, L. & Bahia, M. (2021). *Biosynthèse de Nanoparticles 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.]

17. Mahboub, S. (2023). *Biosynthèse et application des nanoparticules (Ag, CuO et*

ZnO) à partir des plantes sahariennes [Thèse, Universite Kasdi Marbah Ouargla (Algérie), Faculté des Sciences appliquées, Département de Génie des Procédés, 207p].

18. 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.].

19. Abbas, A.H., & Fairouz, N.Y. (2022). Characterization, biosynthesis of copper nanoparticles using ginger roots extract and investigation of its antibacterial activity. *Materials To day: Proceedings*, 61, 908–913, https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.551.

20. 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.

21. Yacoumbi, K. (2018). *Synthèse des nanoparticules de cuivre par la méthode hydrothermale (Application: Dégradation de bleu de méthylène)* [Mémoire de Master, Universite Mouloud Mammeri de Tizi- Ouzou (Algérie), Faculté des sciences, Département de chimie, 56p.].

22. Kuete, V. (2017). *Medicinal Spices and Vegetables from Africa,* 1st Edition Therapeutic Potential against Metabolic, Inflammatory, Infectious and Systemic Diseases, p.363-77.

23. Boutabia, L., Telailia, S., Bouguetof, I., Guenadil, F., & Chefrour, A. (2016). Composition chimique et activité antibactériennedes huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis L*. de la région de Hammamet (Tébessa-Algérie), *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, Vol. 85, p. 174-189.

24. Badaoui, C., Cherouat, H., & Deif, A. (2020). *Activité antimicrobienne des huiles essentielles de deux variétés d'agrumes* [Mémoire de Master, Université des Frères Mentouri Constantine 1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département Biologie animale, 83 p].

25. Gambogou, B., Ameyapoh, Y., Gbekley, E., & Djeri, B. (2019). l'Ail et ses composés bioactifs. Review on Garlic and its bioactive compounds. European Scientific Journal, 1857-7431.

26. Haddad Nadia (2024). *Synthèse verte des nanoparticules a effet antibactérien*, [Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem, Mémoire de Master, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, 75 p.]