Machine Translated by Google

Technologies avancées en nanobiotechnologie appliquée

ISSN : 2710-4001

L'importance des nanoparticules d'argent dans la vie humaine

Cheikh Ahmadi*

Département des sciences, Université Payame Noor (PNU), Téhéran, Iran

Reçu le : 07/01/2020 Accepté le : 27/01/2020 Publié le : 20/03/2020

Abstrait

L'un des nanomatériaux ayant un impact précoce dans le domaine des produits de santé est l'argent nanométrique. L'argent est utilisé depuis plus d'un siècle pour traiter diverses affections médicales grâce à ses propriétés antibactériennes et antifongiques naturelles. Les particules d'argent nanométrique mesurent généralement 25 nm. Leur surface spécifique extrêmement élevée augmente leur contact avec les bactéries et les champignons, améliorant considérablement leur efficacité bactéricide et fongicide. Au contact des bactéries et des champignons, l'argent nanométrique perturbe le métabolisme cellulaire et inhibe la croissance cellulaire. Il supprime la respiration, le métabolisme basal du système de transfert d'électrons et le transport des substrats à travers la membrane cellulaire microbienne. L'argent nanométrique inhibe la multiplication et la croissance des bactéries et des champignons responsables d'infections, d'odeurs, de démangeaisons et de plaies. L'argent nanométrique peut être utilisé dans de nombreux autres produits de santé, tels que les pansements pour les brûlures, les échaudures, les sites donneurs et receveurs de peau, l'acné et les plaies carieuses, ainsi que les produits d'hygiène féminine (protège-slips, serviettes hygiéniques et culottes).

Mots-clés : nanotechnologie, argent nano, bactéricide, fongicide, argent

1 Introduction La

nanotechnologie est une science en pleine expansion qui consiste à produire et à utiliser des particules de taille nanométrique (1 nm = 1 milliardième de mètre). Les nanotechnologies et les nanomatériaux sont omniprésents dans notre vie quotidienne en raison de leurs propriétés chimiques et physiques uniques. On trouve couramment sur le marché divers produits contenant des nanomatériaux. Il est fréquent de rencontrer des revêtements hydrophobes pour voitures, des surfaces autonettoyantes empêchant l'accumulation de saletés ou encore des t-shirts qui restent frais et sans odeur pendant longtemps [1]. Les propriétés uniques des nanomatériaux découlent de leur taille, c'est-à-dire des particules dont la taille est comprise entre 1 et 100 nanomètres [2]. À cette échelle, des matériaux isolants peuvent devenir conducteurs, des matériaux insolubles dans l'eau peuvent devenir solubles, etc. De plus, la nanotechnologie permet souvent de n'utiliser que de faibles quantités de nanomatériaux bruts pour conférer une propriété souhaitée à un produit. Il s'agit d'un atout majeur, tant du point de vue environnemental que commercial. Comme toute technologie de pointe, les nanomatériaux doivent être utilisés de manière responsable afin que les avantages offerts ne se transforment pas en risques [3]. Les nanoparticules d'argent suscitent un intérêt croissant en raison de leurs nombreuses applications en biomédecine. Généralement inférieures à 100 nm et contenant de 20 000 à 15 000 atomes d'argent, elles présentent des propriétés physiques, chimiques et biologiques distinctes de celles des matériaux dont elles sont constituées. Leurs propriétés optiques, thermiques et catalytiques sont fortement influencées par leur taille et leur forme [4]. De plus, grâce à leur large spectre d'activité antimicrobienne, les nanoparticules d'argent sont devenues les nanomatériaux stérilisants les plus utilisés dans les produits de consommation et les produits médicaux, tels que les textiles, les sacs de conservation alimentaire, les surfaces de réfrigérateurs et les produits de soins personnels [5, 6]. Les applications des nanoparticules d'argent dans différents domaines scientifiques sont schématisées sur la figure 1.

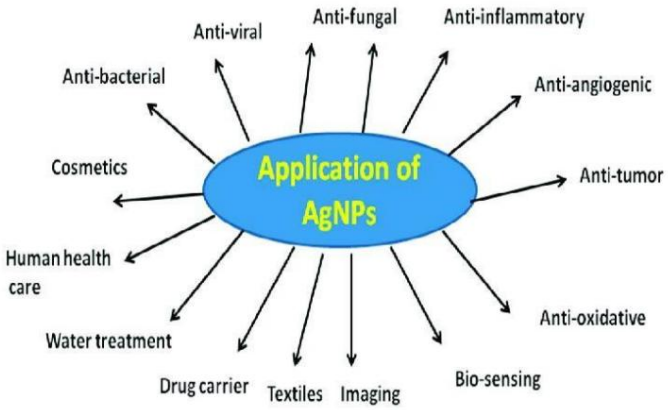

Figure 1 : Application des nanoparticules d'argent dans diverses sciences [27].

2 Argent et nano-argent

L'argent (Ag) est l'un des éléments de base qui composent notre planète. L'argent est un élément rare mais naturel, légèrement plus dur que l'or et très ductile et malléable. L'argent pur possède la conductivité électrique et thermique la plus élevée de tous les métaux et la plus faible résistance de contact. Il peut être libéré dans l'air et l'eau par des processus naturels tels que l'altération des roches ou par des activités humaines comme le traitement des minerais, la fabrication du ciment et la combustion des énergies fossiles. La pluie peut lessiver l'argent du sol et le transférer dans les nappes phréatiques. L'argent peut être présent sous quatre états d'oxydation différents : Ag , Ag , Ag² et Ag³ . Les deux premiers sont les plus abondants ; les deux derniers sont instables en milieu aquatique. L'ion argent libre est Ag .

Dans l'environnement, l'argent se trouve sous forme d'ion monovalent avec du sulfure, du bicarbonate ou du sulfate ou plus complexe avec des chlorures et des sulfates adsorbés sur des particules en phase aqueuse [7].

L'argent nano hérite de nombreuses propriétés de l'argent et constitue un matériau utile qui peut être utilisé dans de nombreux secteurs industriels. Il possède une conductivité électrique et thermique élevée. De même,

Auteur correspondant : Sh.Ahmadi, Département des sciences, Université Payame Noor (PNU), Téhéran, Iran. Courriel : sh.ahmadi@pnu.ac.ir

Machine Translated by Google

Il est possible de contrôler efficacement la croissance de plus de 650 espèces de bactéries, de champignons et d'algues grâce à la libération d'ions argent [1]. L'argent nanométrique n'est pas allergène. Lorsque la taille d'une nanoparticule d'argent est inférieure à quelques nanomètres, elle devient fluorescente. De plus, l'argent nanométrique diffuse efficacement la lumière. Toutes ces propriétés permettent d'utiliser l'argent nanométrique dans les produits médicaux, ménagers et d'hygiène, ainsi que dans les textiles, l'électronique, les cellules solaires, les filtres à eau, les fluides industriels, l'agriculture et bien d'autres domaines [2].

À quantité égale, l'argent et l'argent nanométrique présentent des surfaces spécifiques différentes. Par exemple, des sphères d'argent de diamètre quatre fois plus petit ont une surface spécifique quatre fois plus élevée [3]. La libération des ions argent diffère selon qu'ils proviennent de l'argent nanométrique, des sels d'argent ou de l'argent massif [4] : 1. Les ions argent sont libérés plus rapidement à partir de

l'argent nanométrique que de l'argent massif.

2. Les sels d'argent très solubles auront une vitesse élevée mais une courte durée de vie. durée d'émission des ions argent.
3. La libération d'ions à partir de l'argent nano est plus lente et plus constante sur de plus longues périodes.

2.2 Propriétés des nanoparticules d'argent. Lorsqu'elles

sont exposées à une longueur d'onde spécifique, les nanoparticules d'argent subissent une oscillation cohérente collective des électrons libres induite par le champ électromagnétique oscillant de la lumière. Cette oscillation provoque une séparation de charges par rapport au réseau ionique, formant ainsi une oscillation dipolaire dans la direction du champ électrique de la lumière. L'amplitude de cette oscillation atteint son maximum à une fréquence spécifique, appelée résonance plasmonique de surface (RPS) [5].

Les propriétés d'absorption et de diffusion des nanoparticules d'argent peuvent être modulées en contrôlant leur taille, leur forme et l'indice de réfraction à proximité de leur surface. Par exemple, les nanoparticules de petite taille absorbent principalement la lumière et présentent des pics d'absorption proches de 400 nm, tandis que les nanoparticules de plus grande taille diffusent davantage la lumière et présentent des pics plus larges et décalés vers les grandes longueurs d'onde. De plus, les propriétés optiques des nanoparticules d'argent peuvent également être modifiées par l'agrégation des particules et la délocalisation des électrons de conduction à proximité de chaque surface [5, 6].

L'argent (Ag) était également utilisé comme antiseptique depuis l'Antiquité. En principe, l'argent pur, les sels d'argent, les mélanges d'argent et de silice, l'argent nanométrique, les colloïdes d'argent et autres composés d'argent fonctionnent selon un mode similaire. Toutes ces substances libèrent des ions argent en phase liquide. Certains matériaux libèrent ces ions de façon abrupte mais de courte durée, tandis que d'autres les libèrent plus lentement mais sur une période plus longue. Les ions argent libérés interagissent fortement avec les composés azotés, phosphorés et soufrés présents dans les bactéries, les algues et les champignons [7, 8]. C'est ainsi que l'argent inhibe efficacement la croissance de ces micro-organismes. Comme tout matériau, l'argent peut être utile mais aussi présenter des risques, qui dépendent de son utilisation et de sa manipulation [9]. Par conséquent, un contrôle rigoureux et professionnel de la quantité et de la qualité est essentiel pour obtenir les meilleurs résultats. Les fabricants utilisent fréquemment l'argent pour les contacts électriques, car c'est un matériau hautement conducteur. Ses applications sont nombreuses et variées : électronique, automobile, industrie énergétique, etc. Par exemple, il est possible de fabriquer des contacts électriques par pulvérisation cathodique magnétronique, pâtes d'argent, électrolyse, impression jet d'encre et autres technologies. On observe notamment une demande croissante pour des contacts électriques transparents, flexibles et conducteurs. LG utilise de telles électrodes dans son écran de télévision enroulable récemment commercialisé [10, 11].

2.2 Toxicité et applications de l'argent. Lors de

l'utilisation de nanoparticules d'argent ou de tout autre composé d'argent dans la formulation de produits nouveaux ou existants, il est crucial d'évaluer l'impact environnemental potentiel et les interactions possibles avec les êtres vivants [10]. Des scientifiques ont mené une étude approfondie pour mesurer l'effet des nanoparticules d'argent et des sels d'argent sur l'eau.

Les chercheurs ont observé des effets marqués sur les invertébrés, les poissons, les plantes aquatiques, les algues, les micro-organismes, les lapins et les rats. Les effets les plus prononcés ont été constatés chez les invertébrés, les algues et les micro-organismes. Des lapins et des rats ont été exposés à des nanoparticules d'argent par voie intraveineuse, orale et cutanée. Seule une faible proportion de nanoparticules d'argent a été retrouvée dans les reins, les animaux testés ayant éliminé la majeure partie de l'argent ingéré. Aucune sensibilisation cutanée ou oculaire n'a été observée, même à dose excessive [12]. Les nanoparticules d'argent sont utilisées dans les applications électriques en raison de leur excellente conductivité. Le point de fusion des nanoparticules d'argent étant différent de celui de l'argent macroscopique, elles constituent un matériau de choix pour les encres et les pâtes. Les encres à base de nanoparticules d'argent peuvent être appliquées sur des surfaces plastiques ou d'autres matériaux susceptibles de se déformer à haute température. Par exemple, les fabricants de dispositifs d'identification par radiofréquence (RFID) utilisent des encres conductrices à base de nanoparticules d'argent pour l'impression sur des étiquettes plastiques destinées aux vêtements et à l'électronique flexible [13, 14].

L'utilisation de nanoparticules d'argent recouvertes de peptides pour la détection colorimétrique a fait l'objet de nombreuses études ces dernières années. Ces études se sont concentrées sur la nature de l'interaction entre le peptide et l'argent, ainsi que sur l'influence du peptide sur la formation des nanoparticules d'argent. Par ailleurs, l'efficacité des capteurs fluorescents à base de nanoparticules d'argent peut être très élevée et permettre de dépasser les limites de détection [15, 16].

Les nanoparticules d'argent sont largement utilisées comme sondes pour la diffusion Raman exaltée de surface (SERS) et la fluorescence exaltée par les métaux (MEF). Comparées à d'autres nanoparticules de métaux nobles, les nanoparticules d'argent présentent davantage d'avantages en tant que sondes, tels que des coefficients d'extinction plus élevés, des bandes d'extinction plus fines et des amplifications de champ importantes [17, 18].

Les nanoparticules d'argent sont largement utilisées comme nanomatériaux stérilisants dans les produits de consommation et médicaux, notamment les textiles, les sacs de conservation des aliments, les surfaces de réfrigérateurs et les produits de soins personnels [19, 20]. Il a été démontré que l'effet antibactérien des nanoparticules d'argent est dû à la libération prolongée d'ions argent libres [21].

Il a été démontré que les nanoparticules d'argent présentent des propriétés catalytiques d'oxydoréduction pour des agents biologiques tels que les colorants, ainsi que pour des agents chimiques tels que le benzène. L'environnement chimique de la nanoparticule joue un rôle important dans ses propriétés catalytiques. De plus, il est important de noter qu'une catalyse complexe se produit par adsorption des réactifs sur le substrat catalytique. Lorsque des polymères, des ligands complexes ou des tensioactifs sont utilisés comme stabilisants ou pour empêcher la coalescence des nanoparticules, l'activité catalytique est généralement diminuée en raison d'une capacité d'adsorption réduite. En général, l'argent

Les nanoparticules sont principalement utilisées avec le dioxyde de titane comme catalyseur pour les réactions chimiques [22, 23].

2.3 Méthodes de synthèse et mécanisme d'action antibactérienne des nanoparticules d'argent. Le nano-argent est souvent décrit

comme un type d'argent relativement nouveau et différent, doté de propriétés chimiques et physiques différentes.

Les nanoparticules d'argent sont générées par plusieurs méthodes à partir d'argent métallique et sont généralement utilisées dans les aliments, les produits de consommation et les produits médicaux en raison de leur activité antibactérienne [24].

Le tableau 1 présente quelques études récentes, ainsi que la variabilité de taille des nanoparticules d'argent (AgNPs) synthétisées par voie verte à partir de plantes et de micro-organismes. Il ressort de ce tableau que la taille des AgNPs synthétisées se situe entre 50 et 100 nm dans la plupart des études recensées. De par leur petite taille, les nanoparticules peuvent potentiellement traverser les membranes biologiques et atteindre un plus grand nombre d'organes et de tissus différents, où l'argent peut exercer ses effets antibactériens [25, 26]. L'argent étant généralement considéré comme relativement non toxique, les effets toxiques supplémentaires, tels que la génération de stress oxydatif, des nanoparticules d'argent peuvent être attribués à leurs caractéristiques nanométriques, notamment leur grande surface spécifique et la forte conductivité thermique qui en découle.

Machine Translated by Google

réactivité [27]. Une comparaison du mécanisme antibactérien des ions argent et des nanoparticules d'argent est présentée dans la figure 2.

Tableau 1 : Quelques travaux récents sur la synthèse verte des Ag-NPs.[28]

Sl. no.	Author	Reducing agent	Particle characteristics	Remarks
1	Kathiraven et al.	Filtered aqueous extract of *Caulerpa racemosa* marine algae	Size–5–25 nm Shape–sph, tri. Structure–FCC	Antibacterial action against *P. mirabilis* and *S. aureus*
2	John De Britto et al.	Aqueous filtrate of *Pteris argyraea, Pteris confuse*, and *Pteris biaurita*	–	Antibacterial action against *Shigella boydii, Shigella dysenteriae, S. aureus, Klebsiella vulgaris*, and *Salmonella typhi*
3	Sant et al.	Aqueous filtrate of *Adiantum philippense* L.	Size–10–18 nm Shape–anisotropic Structure–FCC Nature–MD	Ag-NPs from medicinally important plants opens spectrum of medical applications
4	Bhor et al.	Aqueous filtrate of *Nephrolepis exaltata* L. fern	Size–avg 24.76 nm Shape–sph. Structure–FCC	Antibacterial against many human and plant pathogens
5	Ajitha et al.	Filtered aqueous extract of *Tephrosia purpurea* leaf powder	Size–~20 nm Shape–sph. Structure–FCC	Antimicrobial agents against *Pseudomonas* spp. and *Penicillium* spp.
6	Rahimi-Nasrabadi et al.	Methanolic extract and essential oil of *Eucalyptus leucoxylon* leaf	Size–~50 nm Shape–sph. Structure–FCC	Ag-NPs with biomedical potential
7	Bagherzade et al.	Aqueous extract of saffron (*Crocus sativus* L.)	Size–12–20 nm	Inhibiting activity against *Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa, Klebsiella pneumonia, Shigella flexneri*, and *Bacillus subtilis*
8	Ashokkumar et al.	Filtered aqueous extract of *Abutilon indicum* leaf	Size–7–17 nm Shape–sph. Structure–FCC	Antimicrobial action against *S. typhi, E. coli, S. aureus, B. subtilis*
9	Tagad et al.	Locust bean gum polysaccharide.	Size–18–51 nm	Stability: 7 months, Ag-NPs served in development of H_2O_2 sensor
10	Yasin et al.	Filtered aqueous extract of Bamboo leaf	Size–13 ± 3.5 nm Shape–nearly sph. Structure–cryst	Antibacterial to *E. coli* and *S. aureus*
11	Sadeghi and Gholamhoseinpoor	Methanol extracted aqueous filtrate of *Ziziphora tenuior* leaf	Size–8–40 nm. Shape–sph. Structure–FCC	Stability: 6–12 pH range
12	Chen et al.	Chitosan biopolymer	Size–~218.4 nm Shape–oval and sph. Nature–Ag/chitosan nano hybrids	Antimicrobial to *E. coli, S. choleraesuis, S. aureus*, and *B. subtilis*
13	Mondal et al.	Saline washed, filtered aqueous extract of *Parthenium hysterophorus* root	Shape–spherical	Potential larvicidal for *Culex quinquefasciatus*
14	Nalwade et al.	Aqueous filtrate of *Cheilanthes forinosa* Forsk leaf	Size–~26.58 nm Shape–sph. Structure–FCC	Antibacterial action against *S. aureus* and *Proteus morgani*
15	Singh et al.	*Lantana camara*	48.1 nm	Antimicrobial to *E coli* and *S. aureus*. Leakage due to cell wall rupturing
16	Vimala et al.	Leaf and fruit of *Couroupita guianensis*	Cubic size 10–45 nm 5–15 nm	Water soluble phenolic compounds as reducing and stabilizing agent larvicidal to *Aedes aegypti* extensive mortality rate (LC90 ~ 5.65 ppm)
17	Cheng et al.	Chondroitin sulfate	Size–20 nmShape–sph	Stable for 2 months, Served as nano carrier for drug delivery
18	Sadeghi et al.	Filtered aqueous-methanol extract of *Pistacia atlantica* seed powder	Size–10–50 nm Shape–sph. Structure–FCC	Stability: 7–11 pH range. Antibacterial affect against *S. aureus.*
19	Zhang et al.	*Lactobacillus fermentum*. LMG 8900 cells	Size–~6 nm Shape–sph. Structure–FCC	Stable for 3 months. Resist growth of *E. coli, S. aureus* and *P. aeruginosa* Act as promising anti-biofouling agent
20	Das et al.	Mycelia of *Rhizopus oryzae*	Size–~15 nm Shape–sph. Structure–FCC	Stable for 3 months, Antimicrobial to *E. coli* and *B. subtilis*, Used for treating contaminated water and adsorption of pesticides
21	El-Rafie et al.	Crude hot water soluble polysaccharide extracted from different marine algae	Size–7–20 nm Shape–sph	Stability: 6 months,Ag-NPs treated cotton fibers antibacterial to *E. coli* and *S. aureus*
22	Suresh et al.	Filtered aqueous extract of *Delphinium denudatum* root powder	Size–85 nm Shape–sph. Structure–FCC Nature–PD	Anti-bacterial against *S. aureus, B. cereus, E. coli* and *P. aeruginos* Larvicidal to *A. aegypti*
23	Zuas et al.	Filtered aqueous extract of *Myrmecodia pendan* plant	Size–10–20 nm Shape–sph. Structure–FCC	Promising therapeutic value
24	Vijaykumar et al.	Aqueous extract of *Boerhaavia diffusa* plant powder.	Size–~25 nm Shape–sph. Structure–FCC, Cub	Antibacterial to fish pathogens *A. hydrophila, F. branchiophilum, P. fluorescens*
25	Elumalai et al.	Filtered coconut water	Size–70–80 nm Structure–FCC Nature–PD	Metabolites and proteins served as capping agents

Note: PD–Polydispersed, MD–Monodispersed, WD–Well Dispersed, Cryst–Crystalline. FCC–Face centered cubic; Tri–Triangular; Sph–Spherical; cryst–crystalline; Cub–cubic.

On peut affirmer que les nanoparticules d'argent (AgNPs) suscitent un intérêt considérable, compte tenu de leurs nombreuses applications dans divers domaines, notamment les sciences des matériaux, les biotechnologies, l'environnement et la médecine. Grâce à leurs propriétés physico-chimiques distinctives, les AgNPs sont largement utilisées contre les bactéries, les champignons, les virus, la leishmaniose, le paludisme et les cellules néoplasiques. De plus,

Des nanoparticules d'argent (AgNPs) ont été préparées par différentes méthodes.

Des procédés tels que les méthodes chimiques, physiques et biologiques ont été utilisés. Dans les méthodes biosynthétiques, le potentiel des réducteurs et stabilisateurs écologiques d'origine naturelle a été exploré.

La méthode biogénique est considérée comme écologique et facile à appliquer dans divers domaines, tels que la médecine, la cosmétique et la pharmacie. Des questions demeurent toutefois en suspens concernant la nanotechnologie à base d'argent, et chaque méthode de synthèse présente des limitations importantes qui nécessitent des précautions particulières.

Machine Translated by Google

Il convient de porter une attention particulière à leur éradication. De plus, les effets toxiques des nanoparticules d'argent, ciblant aussi bien les micro-organismes que les organismes supérieurs, y compris l'homme, constituent un autre aspect intéressant qui a également été souligné dans cette revue [29].

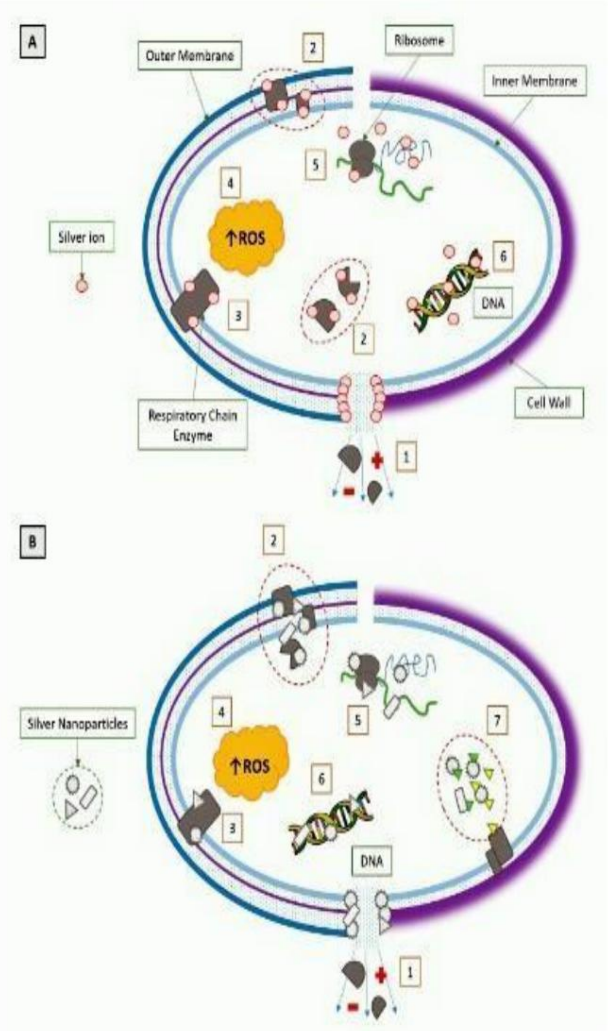

Figure 2. Comparaison des ions argent (A) et des nanoparticules d'argent.
(B) Mode d'action sur les bactéries Gram négatives (à gauche) et Gram positives (à droite).
(1) Formation de pores ; fuite de métabolites et d'ions (indiquée par les symboles + et - sur la figure ci-dessus). (2) Dénaturation des protéines structurales et cytoplasmiques ; inactivation des enzymes. (3) Inactivation des enzymes de la chaîne respiratoire. (4) Augmentation de la concentration intracellulaire d'espèces réactives de l'oxygène (ROS). (5) Interaction avec les ribosomes. (6) Interaction avec les acides nucléiques. (7) Inhibition de la transduction du signal [30].

Bien que des rapports concernant le potentiel des nanoparticules d'argent contre le cancer, le paludisme, la leishmaniose et d'autres maladies humaines soient disponibles, il faudra… une grande révolution pour découvrir le rôle potentiel des nanoparticules d'argent contre les problèmes mondiaux Les principales maladies à forte mortalité, comme le SIDA et l'hépatite chronique, nécessitent toujours un traitement approprié[29]. Les systèmes biologiques, notamment les bactéries, les champignons et les plantes, maintiennent une régulation stricte de divers mécanismes métaboliques tels que la photosynthèse, la respiration et le transport de plusieurs ions à travers les membranes, ainsi que l'architecture cellulaire (organisation des lipides et des protéines dans la membrane cellulaire, les autres endoplasmes et la paroi cellulaire). La manière dont les nanoparticules d'argent (AgNPs) pourraient jouer un rôle prometteur dans la régulation de ces voies métaboliques fonctionnant simultanément constitue un aspect intéressant de leur mécanisme d'action, qui reste à élucider. De plus, comme l'ont montré de nombreuses études, les cellules cancéreuses utilisent le glucose, la glutamine, l'asparagine (dans certains cas), les lipides et les protéines comme carburant pour leur prolifération incontrôlée. La question est maintenant de savoir si…

Les nanoparticules d'argent (AgNPs) empêchent la croissance des cellules cancéreuses soit en activant l'expression des enzymes glucosidase, lipase ou protéase, soit en s'y fixant. L'appareil mitotique et méiotique, lors de la division cellulaire, bloque l'ensemble du métabolisme des cellules anormales. Dans le cas d'un certain type de cancer, comme la leucémie lymphoblastique aiguë où l'asparagine constitue la principale réserve nutritive, si les nanoparticules d'argent (AgNPs) contrôlent ses concentrations en régulant l'expression de la L-asparaginase, une modification du pH (passage d'un pH neutre à un pH acide) du milieu (sang) se produirait, ce qui pourrait freiner la prolifération des cellules cancéreuses. En résumé, des études mécanistiques approfondies et pratiques sont nécessaires pour combler ces lacunes [30].

3. Résumé et conclusions. Grâce à leur surface

spécifique considérable et à leur petite taille, les nanoparticules peuvent interagir avec les membranes cellulaires et se diffuser facilement dans tout l'organisme. Compte tenu de leurs propriétés physico-chimiques et biologiques, il est probable qu'elles possèdent des mécanismes de toxicité uniques. Il reste à déterminer si les nanoparticules d'argent et autres nanoparticules induisent de nouveaux mécanismes de lésion susceptibles d'entraîner de nouvelles pathologies. Enfin, concernant l'argent, qu'il soit nanométrique ou non, se posent toujours les problèmes d'argyrie et d'argyrose chez l'homme, ainsi que d'eutrophisation de l'environnement.

Question éthique

Les auteurs connaissent et respectent les bonnes pratiques en matière d'éthique de la publication, notamment en ce qui concerne la paternité des articles (exclusion des contributions de complaisance), les soumissions multiples, la manipulation des figures, les conflits d'intérêts et le respect des politiques d'éthique de la recherche. Ils s'engagent à ce que les travaux soumis soient originaux et inédits, quelle que soit la langue.

Conflits d'intérêts

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts.

porterait atteinte à l'impartialité de ce travail scientifique.

Contribution des auteurs

Tous les auteurs de cette étude ont pleinement contribué à la collecte des données, à leur analyse et à la rédaction du manuscrit.

Références [1]

Dakal TC, Kumar A, Majumdar RS, Yadav V. Base mécanistique des actions antimicrobiennes des nanoparticules d'argent. Frontiers in microbiology. 2016;7:1831.
[2] Evanoff DD, Chumanov G. Synthèse de nanoparticules de taille contrôlée. 2. Mesure des sections efficaces d'extinction, de diffusion et d'absorption. The Journal of Physical Chemistry B. 2004;108(37):13957-62.

[3] Oberdörster G, Oberdörster E, Oberdörster J. Nanotoxicologie : une discipline émergente issue de l'étude des particules ultrafines. Environ Health Perspect 113 : 823–839. 2005.
[4] Mitrano DM, Rimmele E, Wichser A, Erni R, Height M, Nowack B. Présence de nanoparticules dans l'eau de lavage des textiles en argent conventionnel et en nano-argent. ACS nano. 2014;8(7):7208-19.

[5] Zaheer Z. Synthèse biogénique, propriétés optiques, catalytiques et potentiel antimicrobien in vitro de nanoparticules d'Ag préparées à partir d'extrait de fruit de datte de palmier. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 2018;178:584-92.
[6] Butler KS, Peeler DJ, Casey BJ, Dair BJ, Elespuru RK. Nanoparticules d'argent : corrélation entre la taille des nanoparticules et l'absorption cellulaire et la génotoxicité. Mutagenesis. 2015;30(4):577-91.
[7] Mijnendonckx K, Leys N, Mahillon J, Silver S, Van Houdt R. Argent antimicrobien : utilisations, toxicité et potentiel de résistance. Biométaux. 2013;26(4):609-21.
[8] Silver S, Phung LT, Silver G. L'argent comme biocide dans les pansements pour brûlures et plaies et la résistance bactérienne aux composés d'argent.

Machine Translated by Google

Journal de microbiologie industrielle et de biotechnologie. 2006;33(7):627-34.

[9] Fox CL, Modak SM. Mécanisme d'action de la sulfadiazine d'argent sur les infections des plaies de brûlure. Agents antimicrobiens et chimiothérapie. 1974;5(6):582-8.
[10] SUN Jh, ZHU Qd, YAN Zj, LU Hm, WANG Hr. Un examen de la recherche et de l'application du modèle AGNPS. Advances in Water Science. 2009;6.

[11] Zhang XF, Liu ZG, Shen W, Gurunathan S. Nanoparticules d'argent : caractérisation, propriétés, applications et approches thérapeutiques. International journal of molecular sciences. 2016;17(9):1534.

[12] Oomen AG, Steinhäuser KG, Bleeker EA, van Broekhuizen F, Sips A, Dekkers S, et al. Cadres d'évaluation des risques liés aux nanomatériaux : portée, lien avec la réglementation, applicabilité et perspectives d'avenir compte tenu de l'augmentation nécessaire de
efficacité. NanoImpact. 2018;9:1-13.
[13] Beyene HD, Werkneh AA, Bezabh HK, Ambaye TG.
Paradigme de synthèse et applications des nanoparticules d'argent (AgNPs), une revue. Matériaux et technologies durables. 2017;13:18-23.

[14] Larpant N, Pham AD, Shafaat A, Gonzalez-Martinez JF, Sotres J, Sjöholm J, et al. Détection par lecture sans fil de la conversion redox Ag/AgCl sur une étiquette RFID : conception d'un biocapteur universel sans batterie. Scientific reports. 2019;9(1):1-9.
[15] Ge S, Zhao J, Ma G. Photolyse monochromatique pour générer des clusters quantiques d'argent dans des matrices polymères avec une propriété antibiotique efficace. Langmuir. 2020;36(15):4088-97.
[16] Makwana BA, Darjee S, Jain VK, Kongor A, Sindhav G, Rao MV. Étude comparative : nanoparticules métalliques comme capteurs fluorescents pour les biomolécules et leur application biomédicale. Sensors and Actuators B: Chemical. 2017;246:686-95.
[17] Geddes CD, Cao H, Gryczynski I, Gryczynski Z, Fang J, Lakowicz JR.
Fluorescence amplifiée par les métaux (MEF) due aux colloïdes d'argent sur une surface plane : applications potentielles de l'indocyanine
Imagerie verte in vivo. The Journal of Physical Chemistry A. 2003;107(18):3443-9.

[18] Kneipp K, Wang Y, Kneipp H, Perelman LT, Itzkan I, Dasari RR, et al.
Détection de molécules uniques à l'aide de la diffusion Raman améliorée par surface (SERS). Physical review letters. 1997;78(9):1667.

[19] Iravani S, Korbekandi H, Mirmohammadi SV, Zolfaghari B.
Synthèse de nanoparticules d'argent : méthodes chimiques, physiques et biologiques. Recherche en sciences pharmaceutiques. 2014;9(6):385.

[20] Nowack B, Krug HF, Height M. 120 ans d'histoire du nanoargent : implications pour les décideurs politiques. ACS Publications ; 2011.
[21] Ahmadi S, Fazilati M, Mousavi SM, Nazem H. Performance antibactérienne/ fongique et anticancéreuse de nanoparticules d'Ag synthétisées par voie verte à l'aide d'un extrait de sarriette d'été. Journal of Experimental Nanoscience. 2020;15(1):363-80.
[22] Dong XY, Gao ZW, Yang KF, Zhang WQ, Xu LW.
L'argent nanométrique comme catalyseur d'argent de nouvelle génération dans les transformations organiques pour la synthèse efficace de produits chimiques fins. Catalysis Science & Technology. 2015;5(5):2554-74.
[23] Sarkar D, Khare D, Kaushal A, Acharya C, Bahadur J, Prakash J, et al.
Synthèse verte et à grande échelle de microparticules de silice chargées de nanoargent par séchage par pulvérisation : application comme agent antibactérien, catalyseur et substrat SERS. Applied Nanoscience. 2019;9(8):1925-37.

[24] Abbasi E, Milani M, Fekri Aval S, Kouhi M, Akbarzadeh A, Tayefi Nasrabadi H, et al. Nanoparticules d'argent : méthodes de synthèse, bio-applications et propriétés. Critical reviews in microbiology. 2016;42(2):173-80.

[25] Prabhu S, Poulose EK. Nanoparticules d'argent : mécanisme d'action antimicrobienne, synthèse, applications médicales et effets toxiques. International nano letters. 2012;2(1):32.
[26] Samberg ME, Orndorff PE, Monteiro-Rivière NA.
Efficacité antibactérienne des nanoparticules d'argent de différentes tailles, conditions de surface et méthodes de synthèse. Nanotoxicologie. 2011;5(2):244-53.

[27] Chen X et Schluesener HJ. Nanosilver : un nanoproduit en application médicale. Lettres de toxicologie. 2008;176(1):1-12.
[28] Akter M, Sikder MT, Rahman MM, Ullah AA, Hossain KFB, Banik S, et al.
Une revue systématique sur la cytotoxicité induite par les nanoparticules d'argent : propriétés physicochimiques et perspectives. Journal of advanced research. 2018;9:1-16.
[29] Wijnhoven SW, Peijnenburg WJ, Herberts CA, Hagens WI, Oomen AG, Heugens EH, et al. Nano-argent – revue des données disponibles et des lacunes de connaissances dans l'évaluation des risques pour l'homme et l'environnement. Nanotoxicology. 2009;3(2):109-38.
[30] Kędziora A, Speruda M, Krzyżewska E, Rybka J, Łukowiak A, Bugla-Płoskońska G. Similitudes et différences entre les ions argent et l'argent sous forme nanométrique en tant qu'agents antibactériens.
Journal international des sciences moléculaires. 2018;19(2):444.