



Communication

Formation d'un assemblage cruciforme stable de nanoparticules d'or à partir de feuilles de Cannabis indica

Anjul Khadria 1,2,* et Subhankar Paul 1,*

¹ Laboratoire de biologie structurale et de nanomédecine, Département de biotechnologie et de génie médical, National Institute of Technology, Rourkela 769008, Inde Laboratoire

² d'imagerie optique Caltech, Andrew et Peggy Cherng Département de génie médical, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91125, États-Unis * Correspondance :

anjul@caltech.edu (AK); spaul@nitrkl.ac.in (SP)

Résumé : Les nanoparticules d'or sont de plus en plus utilisées dans plusieurs applications électroniques, de fabrication de matériaux et biomédicales. Plusieurs méthodes ont été rapportées pour préparer des nanoparticules d'or de différentes formes et tailles avec différentes propriétés photophysiques. Bien qu'utiles pour préparer des nanoparticules d'or, la plupart des méthodes ne sont pas suffisamment stables, ce qui conduit à la dégradation des nanoparticules si elles sont conservées à température ambiante (jusqu'à 30 °C) pendant quelques jours. Dans cet article, nous rapportons une méthode nouvelle et respectueuse de l'environnement pour synthétiser des nanoparticules d'or auto-assemblées sous des formes cruciformes en utilisant l'extrait de feuille de Cannabis indica comme agent réducteur sans l'aide de polymères ou de produits chimiques supplémentaires. Les nanoparticules s'avèrent stables pendant plus d'un mois (45 jours) lorsqu'elles sont conservées à température ambiante (jusqu'à 30 °C). Ils ont pu former des conjugués stables avec la protéine α -lactalbumine bovine qui pourraient posséder des propriétés anticancéreuses.

Mots clés : nanoparticules d'or ; les nanomatériaux ; protéine alpha-lactalbumine; Cannabis indica



Citation : Khadria, A. ; Paul, S.

Formation de cruciforme stable

Assemblage de nanoparticules d'or

issues de feuilles de Cannabis indica. Appl.

Nano2022, 3, 143–148. [https://doi.org/](https://doi.org/10.3390/applnano3030010)

10.3390/applnano3030010

Rédacteur académique : Anthony William Coleman

Reçu : 9 juin 2022

Accepté : 7 juillet 2022

Publié : 13 juillet 2022

Note de l'éditeur : MDPI reste neutre en ce qui concerne les revendications juridictionnelles dans les cartes publiées et les affiliations institutionnelles.



Copyright : © 2022 par les auteurs.

Licencié MDPI, Bâle, Suisse.

Cet article est un article en libre accès distribué selon les termes et

conditions des Creative Commons

Licence d'attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

L'utilisation de nanoparticules d'or a augmenté de façon exponentielle dans plusieurs applications biomédicales et non biomédicales [1]. Plusieurs études ont démontré que les nanoparticules d'or possèdent une activité anticancéreuse et, récemment, il a été cliniquement démontré qu'elles traitent les tumeurs localisées de la prostate [2]. En raison de leurs excellentes propriétés photophysiques, ils ont été explorés pour être utilisés comme agents théranostiques [3]. Les nanoparticules d'or sont apparues comme l'un des agents les plus prometteurs pour le traitement de divers types de cancer en raison de plusieurs avantages qui leur sont associés tels que (1) la facilité d'absorption cellulaire par endocytose, (2) la facilité de synthèse et de caractérisation à grande échelle, (3) la capacité de former des complexes stables avec une large gamme de biomolécules, (4) la biocompatibilité et (5) des propriétés physicochimiques uniques. Les nanoparticules d'or de différentes formes et tailles ont des propriétés uniques avec des effets différents sur les cellules cancéreuses [4]. Il a été démontré avec succès que les conjugués de protéine α -lactalbumine bovine (BLA) avec de l'acide oléique, communément appelés BAMLET (alpha-lactalbumine bovine rendue mortelle pour les tumeurs), sont anticancéreux ; cependant, l'acide oléique est également toxique pour les cellules saines [5,6]. Il a été démontré que les nanoparticules d'or biocompatibles remplacent l'acide oléique dans le conjugué BAMLET pour former des conjugués nanoparticules d'or-BLA anticancéreux in vivo [7]. L'un des défis majeurs de la synthèse de nanoparticules d'or assemblées est de les rendre stables à des températures allant jusqu'à 30 °C, ce qui leur donnera une longue durée de conservation et les rendra biocompatibles pour former des conjugués stables. Plusieurs méthodologies de synthèse de nanoparticules nécessitent des températures élevées et des produits chimiques toxiques, qui peuvent être nocifs pour les protéines. Dans cette étude, nous rapportons la synthèse de nanoparticules d'or stables et assemblées de manière cruciforme à l'aide de feuilles de Cannabis indica et la formation de ses conjugués avec la protéine BLA. Normalement, les nanoparticules d'or assemblées sont préparées à l'aide de polymères ou d'autres produits chimiques assistés par des thiols ; cependant, dans ce rapport,

nous n'avons pas utilisé de tels produits chimiques synthétiques pour former l'assemblage cruciforme des nanoparticules d'or [1,9].

2. Matériels et méthodes

Matériaux : Le bromure de cétyltriméthylammonium (CTAB) a été obtenu auprès de Himedia, Inde. L'acide oléique a été obtenu auprès de RFCL Limited, Inde. Le chlorure aurique hydraté et l' α -lactalbumine bovine (BLA) ont été obtenus auprès de Sigma Aldrich, Inde. Toute la verrerie a été achetée à Borosil, en Inde. De l'eau Milli-Q (qualité HPLC) a été utilisée dans toutes les préparations.

Synthèse d'un assemblage cruciforme de nanoparticules d'or à l'aide d'extrait de feuilles de Cannabis indica : Pour préparer l'agent réducteur, les feuilles de Cannabis indica ont été (2,80 g) dissoutes dans 5 mL d'eau suivies d'une centrifugation à 5 000 tr/min pendant 10 min. Le surnageant résultant a été filtré à l'aide d'un filtre seringue de 0,22 μ m (Whatman) et le culot a été jeté. Une solution de chlorure aurique (5 ml, 2,5 mM) dans l'eau a été mélangée à 18,65 ml d'une solution aqueuse de bromure de cétyltriméthylammonium (CTAB) à 12,5 mM, et le mélange a été agité à 100 °C. Après 2 minutes, l'extrait de feuille filtré (surnageant) a été ajouté au mélange réactionnel. La réaction a été stoppée en plaçant le flacon du mélange réactionnel dans un bain de glace peu de temps après que la couleur du mélange soit devenue rouge rosé, couleur caractéristique des nanoparticules d'or.

Analyse granulométrique par diffusion dynamique de la lumière (DLS) : L'analyse granulométrique DLS a été réalisée pour déterminer la taille moyenne et l'indice de polydispersité des nanoparticules à l'aide d'un instrument Malvern Zetasizer Nano-ZS.

Analyses au microscope électronique à balayage (MEB) et aux rayons X à dispersion d'énergie (EDX) : L'image SEM haute résolution a été prise à l'aide d'un instrument Jeol JSM-6480 LV. Des films minces de l'échantillon ont été préparés sur la grille pour l'imagerie. L'analyse EDX a été réalisée par l'instrument JEOL-JSM 5800 pour confirmer la présence d'or.

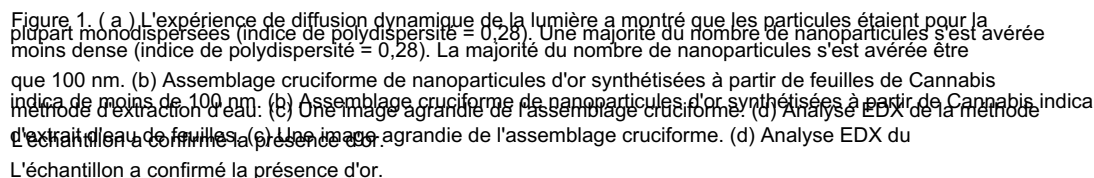
Analyse du spectre UV-Vis des PNB : L'analyse spectroscopique UV-Vis (PerkinElmer, Lambda35) du mélange réactionnel a été réalisée à des longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm pour tester la stabilité des nanoparticules. Les nanoparticules ont été conservées à température ambiante (jusqu'à 30 °C) dans l'obscurité entre les mesures.

Préparation des conjugués BAMLET et GNP – BLA : La solution mère d' α -lactalbumine bovine (BLA) a été préparée dans un tampon phosphate 20 mM de pH 7,2. Pour préparer les conjugués, la suspension de nanoparticules d'or (0,35 ml) a été mélangée à la solution de 0,15 ml de BLA pour obtenir une concentration finale de BLA à 1,0 mg/mL et de PNB à 1,75 mM, suivie d'une incubation à 60 °C pendant 10 min. Pour préparer BAMLET, 10 μ L d'acide oléique ont été mélangés avec 0,3 mL de solution mère de BLA (la concentration finale était de 1 mg/mL) et 0,69 mL de tampon et incubés à 60 °C pendant 10 min [10].

Spectres d'émission de fluorescence du tryptophane : La solution de protéine α -lactalbumine bovine (BLA) a été préparée dans un tampon phosphate 20 mM (pH = 7,2) à une concentration de 1 mg/mL. Les spectres de fluorescence du tryptophane des conjugués GNP – BLA et uniquement de la solution BLA ont été enregistrés dans un spectromètre à luminescence Perkin-Elmer LS-55. Une longueur d'onde d'excitation de 280 nm a été utilisée et des spectres d'émission ont été enregistrés de 280 à 550 nm.

3. Résultats

Les nanoparticules d'or sont couramment préparées par la méthode de réduction chimique [11]. Différents extraits de plantes tels que Hibiscus rosa-sinensis et Ocimum tenuiflorum ont été utilisés comme agents réducteurs pour la synthèse de nanoparticules d'or à partir du chlorure aurique [12,13]. Ici, nous avons synthétisé un assemblage cruciforme stable de nanoparticules d'or en utilisant un extrait aqueux de feuilles de plantes de Cannabis indica. Nous avons confirmé par diffusion dynamique de la lumière que les particules préparées par notre méthode étaient monodispersées (indice de polydispersité de 0,28) et de taille nanométrique (Figure 1a). Les tailles et les formes des nanoparticules ont été confirmées par des expériences de microscopie électronique à balayage (MEB) (Figure 1b, c). Les expériences SEM ont révélé un rare assemblage cruciforme des nanoparticules. L'analyse EDX (Figure 1d) a confirmé la présence d'or dans l'échantillon.



Nous n'avons observé aucun changement significatif de ses spectres d'absorbance dans le visible Nous l'avons observé au cours du changement sur une période de 5 jours lorsqu'elle est stockée à température ambiante région (400 à 700 nm) atteignant jusqu'à 30 °C prouvant la stabilité des nanoparticules (Figure 2a). Aucune précipitation a été observée sur 45 jours. Les maxima d'absorption de la lumière autour des 680 nm en raison de la résonance plasmonique de surface démontrent la formation de ha-d'or en raison pas de nanoparticules. Le changement de surface définit maximums pleins le largeur (FWHM) du spectre réduit de Le changement environ 5 nm un jour et un jour 90 à 5 nm du jour spectre réduit 45, ce qui n'est pas significatif du jour 1 au jour 30 et 3 nm du jour 30 autre va stabilité des nanoparticules. Après synthèse, l'or stable démontre la stabilité des nanoparticules. Alors avons synthétisé des nanoparticules d'or stables nous avons préparé son conjugué avec la protéine BSA par une méthode de choc thermique et avons surveillé et suivi le spectre de fluorescence du tryptophane (Figure 2b) [14]. La fluorescence correspond les intensités de tous les échantillons ont été normalisées par rapport au BAMLET. Les trypto-les échantillons ont été normalisés par rapport au BAMLET. La fluorescence du tryptophane BSA a changé de manière significative après la liaison à l'or. L'intensité de la protéine BSA a changé de manière significative après la liaison aux nanoparticules d'or (à les nanoparticules pour former un conjugué nanoparticule-BSA) et facile à dire (pour former BAMLE) forment un conjugué ainsi nanoparticule-BSA et la ligande élève pour former BAMLET confirmant la formation des conjugués. BSA a une émission de fluorescence intrinsèque du tryptophane d'émission à 334,5 nm, qui correspondent à des spectra d'émission avec un maximum d'émission à 334,5 nm ce qui correspond à un spectre d'émission partielle répond à une configuration partiellement enroulée du tryptophane [15]. L'émission maximale de configuration entièrement de tryptophane [15] L'émission maximale de tryptophane dans l'or BSA était à environ 355 nm, ce qui correspond à une plus grande exposition changement conformationnel du solvant aqueux, confirmant ainsi un changement conformationnel dans la structure protéique [14]. Les nanoparticules d'or n'ont montré aucune émission de fluorescence (Figure 2b).

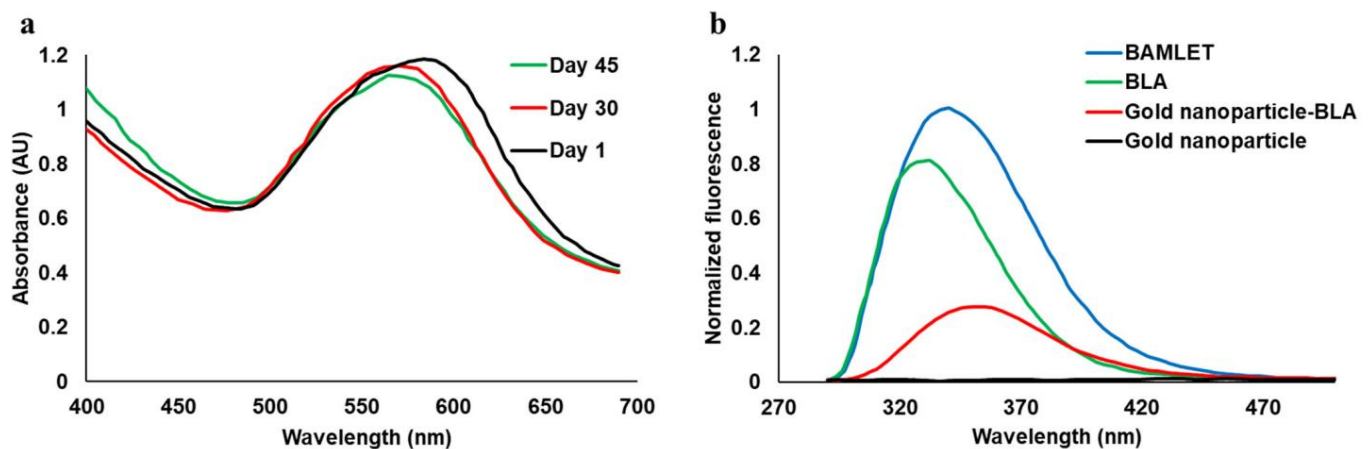


Figure 22. (a) UV-Vis spectra of gold nanoparticles at Day 1, Day 30, and Day 45. (b) Fluorescence spectra of BLA, Gold nanoparticle-BLA, and Gold nanoparticle. The x-axis is Wavelength (nm) and the y-axis is Absorbance (AU) or Normalized fluorescence.

4. Discussion

Ce travail rapporte uniquement la synthèse et la caractérisation de nanoparticules d'or en utilisant l'extrait aqueux de feuilles de Cannabis indica comme agent réducteur. L'extrait de feuilles de Cannabis indica et son conjugué avec le BLA, qui s'est révélé anti-cancéreux contre cellules cancéreuses du sein dans des études préliminaires *in vitro*, comme précédemment répété dans le cadre d'une thèse de premier cycle [16]. Nous avons synthétisé un assemblage cruciforme stable de nanoparticules d'or en utilisant un extrait aqueux de feuilles de Cannabis indica comme agent réducteur sans utilisation de produits chimiques supplémentaires tels que des polymères. Pour le meilleur à notre connaissance, un tel assemblage cruciforme de nanoparticules d'or individuelles n'a jamais été rapporté auparavant. L'auto-assemblage des nanoparticules est le résultat de plusieurs types d'interactions interfaciales, telles que les attractions de Van der Waals, les forces magnétiques et coulombiennes, les répulsions stériques et restériques, les interactions hydrophobes et hydrophiles, etc., dépendant de la chimie de surface des nanoparticules [17,18]. L'extrait aqueux des feuilles de Cannabis indica contient plusieurs produits chimiques qui peuvent avoir contribué à la formation de l'assemblage cruciforme des nanoparticules d'or dans nos conditions expérimentales. À l'avenir, il pourrait être intéressant d'isoler les produits chimiques et de tester les effets de chacun d'eux individuellement ou en présence les uns des autres pour former des nanoparticules d'or auto-assemblées. Compte tenu de la présence de centaines de produits chimiques dans les feuilles, la réalisation de tels travaux dépassait le cadre du projet actuel. Les nanoparticules d'or auto-assemblées ont d'énormes applications dans le domaine des capteurs, de l'optique et de l'électronique. Les nanoparticules auto-assemblées ont également trouvé une utilisation améliorée et l'électronique. Les nanoparticules auto-assemblées ont également été utilisées pour améliorer le ciblage des tumeurs cérébrales, ce qui reste l'un des défis les plus difficiles à résoudre en médecine [19].

le ciblage des tumeurs, qui reste l'un des défis les plus difficiles à résoudre en science médicale [19].

L'utilisation d'un extrait aqueux de feuilles de Cannabis indica comme agent réducteur garantit que qu'aucun déchet toxique n'est généré pendant la procédure de synthèse, contrairement à l'utilisation de substances nocives. Cette découverte donne un aperçu d'une nouvelle classe de composés, qui peuvent être utilisés pour synthétiser des nanoparticules d'or auto-assemblées, stables (à des températures allant jusqu'à 30 °C). Sur être utilisé pour synthétiser des nanoparticules d'or stables (à des températures allant jusqu'à 30 °C) et auto-assemblées. En étudiant les spectres d'émission de fluorescence, nous avons trouvé un décalage vers le rouge ainsi qu'une réduction de l'intensité de fluorescence du tryptophane de la protéine BLA, ce qui indique un changement conformationnel. La réduction de l'intensité de fluorescence du tryptophane de la protéine BLA, ce qui indique un changement dans la protéine. Le changement de conformation du tryptophane de la protéine BLA dû à la conjugaison de la nanoparticule d'or semble avoir exposé le tryptophane d'un noyau hydrophobe partiellement enfoui à une configuration dans le noyau hydrophobe à une configuration plus exposée à l'eau ; cependant, la diminution du rendement de fluorescence exacte du tryptophane de la protéine BLA, qui provoque la relaxation énergétique, est difficile à attribuer à une interaction hydrophobe entre le BLA et la nanoparticule d'or. La conjugaison BLA a lieu en raison d'interactions hydrophobes entre le BLA et le cle [20]. Une discussion sur la chimie exacte et détaillée des nanoparticules d'or auto-assemblées avec le BLA est présentée dans le chapitre 5. La conjugaison BLA a lieu en raison d'interactions hydrophobes entre le BLA et le cle [20]. Une discussion sur la chimie exacte et détaillée des nanoparticules d'or auto-assemblées avec le BLA est présentée dans le chapitre 5. La conjugaison BLA a lieu en raison d'interactions hydrophobes entre le BLA et le cle [20]. Une discussion sur la chimie exacte et détaillée des nanoparticules d'or auto-assemblées avec le BLA est présentée dans le chapitre 5.

et les propriétés physicochimiques peuvent d'abord être synthétisées ; leurs conjugués avec la protéine BLA peuvent alors être formés. Les essais cliniques qui ont utilisé des nanoparticules d'or pour traiter les tumeurs ont eu recours à la thérapie photodynamique, qui repose sur l'utilisation de lumière de longueurs d'onde spécifiques pour exciter les nanoparticules et générer de la chaleur ou des espèces oxygénées réactives [2,21,22]. Bien que la thérapie photodynamique ait été bénéfique pour traiter les tumeurs localisées, elle ne peut pas être utilisée en pratique pour tuer les tumeurs métastatiques qui se sont propagées à plusieurs parties du corps car il n'est pas toujours possible d'éclairer différentes parties plus profondes du corps humain.

Les techniques basées sur la chimiothérapie qui utilisent des médicaments tels que la doxorubicine et le paclitaxel sont des méthodes cliniques de référence pour tuer les cellules cancéreuses métastatiques, mais elles sont également nocives pour les cellules saines. Des alternatives sont donc nécessaires, telles que les conjugués nanoparticules d'or – BLA, qui ne sont pas toxiques pour les cellules saines [7,23]. Les nanoparticules d'or peuvent être combinées avec d'autres produits chimiques naturels, tels que le pyrophosphoribide-a et des molécules apparentées qui possèdent des propriétés anticancéreuses et photophysiques, pour former des conjugués avec une efficacité accrue [24,25]. Outre la biologie du cancer, les nanoparticules d'or ont été utilisées pour l'imagerie optique non linéaire telle que la génération de deuxième harmonique (26). Il peut être intéressant d'étudier les propriétés optiques non linéaires de ces nanoparticules dans des cellules vivantes et des gouttelettes lipidiques monocouches en les conjuguant avec des porphyrines, dont il a été démontré qu'elles possèdent des propriétés optiques non linéaires extrêmement élevées [27]. Les nanoparticules d'or ont également été utilisées dans la modulation neuronale comme alternative à l'optogénétique. De plus, il peut être intéressant de fabriquer leurs conjugués avec différents colorants optiques pour fabriquer un seul agent, capable de moduler les neurones et de détecter simultanément les potentiels d'action (28, 29). Dans l'ensemble, l'application des nanoparticules d'or augmente de façon exponentielle et de nouvelles méthodes plus écologiques permettant de synthétiser des nanoparticules stables et auto-assemblées sont hautement nécessaires, ce que nous avons tenté de cibler à travers ce travail.

Contributions des auteurs : AK et SP ont conçu et conçu le projet. AK a conçu le protocole de synthèse des nanoparticules d'or, synthétisé tous les échantillons et les a caractérisés. SP a supervisé le projet. AK a écrit le journal. Tous les auteurs ont contribué à la rédaction du manuscrit. Tous les auteurs ont lu et accepté la version publiée du manuscrit.

Financement : Cette recherche a reçu un financement du Département de biotechnologie du gouvernement indien et de l'Institut national de technologie de Rourkela, en Inde.

Déclaration du comité d'examen institutionnel : sans objet.

Déclaration de consentement éclairé : sans objet.

Déclaration de disponibilité des données : Toutes les données sont présentes dans le manuscrit. Des données supplémentaires peuvent être fournies sur demande raisonnable des auteurs correspondants.

Remerciements : Nous remercions Sunil Kumar Sarangi, Deependra K. Ban, Kunal Pal, Sirsendu Sekhar Ray de l'Institut national de technologie de Rourkela pour leurs discussions utiles.

Conflits d'intérêts : Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêts.

Les références

1. Daniel, M.-C. ; Astruc, D. Nanoparticules d'or : assemblage, chimie supramoléculaire, propriétés liées à la taille quantique et applications à la biologie, à la catalyse et à la nanotechnologie. *Chimique. Rév.* 2004, 104, 293. [\[CrossRef\]](#) [\[Pub Med\]](#)
2. Rastinehad, AR; Anastos, H. ; Wajswol, E. ; Winoker, JS; Sfakianos, JP; Doppalapudi, Saskatchewan ; Carrick, M. ; Knauer, CJ; Taouli, B. ; Lewis, Caroline du Sud ; et coll. Ablation photothermique localisée par nanoshell d'or des tumeurs de la prostate dans une étude pilote clinique sur un dispositif. *Proc. Natl. Acad. Sci. États-Unis* 2019, 116, 18590. [\[CrossRef\]](#) [\[Pub Med\]](#)
3. Gao, Q. ; Zhang, J. ; Gao, J. ; Zhang, Z. ; Zhu, H. ; Wang, D. Nanoparticules d'or dans le théranostic du cancer. *Devant. Bioeng. Biotechnologie.* 2021, 9, 647905. [\[CrossRef\]](#)
4. Sztandera, K. ; Gorzkiewicz, M. ; Klajnert-Maculewicz, B. Nanoparticules d'or dans le traitement du cancer. *Mol. Pharma.* 2019, 16, 1-23. [\[Référence croisée\]](#)
5. Svensson, M. ; Sabharwal, H. ; Håkansson, A. ; Mossberg, AK ; Lipniunas, P. ; Leffler, H. ; Svanborg, C. ; Linse, S. Caractérisation moléculaire des variantes de repliement de l' α -lactalbumine qui induisent l'apoptose dans les cellules tumorales*. *J. Biol. Chimique.* 1999, 274, 6388. [\[Référence croisée\]](#)

6. Shabbirahmed, AM; Kumaravel, M. ; Somu, P. ; Paul, S. ; Khadria, A. Progrès récents dans les nanomatériaux pour la thérapie photodynamique des cancers BT — Manuel sur le stress oxydatif dans le cancer : aspects thérapeutiques ; Chakraborti, S., éd.; Springer : Singapour, 2021 ; p. 1 à 24.
7. Yang, J. ; Wang, T. ; Zhao, L. ; Rajasekhar, VK ; Joshi, S. ; Andréou, C. ; Pal, S. ; Hsu, H. ; Zhang, H. ; Cohen, IJ; et coll. Nanosondes or/alpha-lactalbumine pour l'imagerie et le traitement du cancer du sein. *Nat. Bioméde. Ing.* 2020, 4, 686. [\[Réf. croisée\]](#)
8. Wang, A. ; Ng, HP; Xu, Y. ; Li, Y. ; Zheng, Y. ; Yu, J. ; Han, F. ; Peng, F. ; Fu, L. Nanoparticules d'or : synthèse, test de stabilité et application pour la croissance du riz. *J. Nanomater.* 2014, 2014, 451232. [\[Réf. croisée\]](#)
9. Ofir, Y. ; Samante, B. ; Rotello, VM Auto-assemblage de nanoparticules d'or médié par des polymères et des biopolymères [†]. *Chimique. Soc. Rév.* 2008, 37, 1814. [\[CrossRef\]](#)
10. Kamijima, T. ; Ohmura, A. ; Sato, T. ; Akimoto, K. ; Itabashi, M. ; Mizuguchi, M. ; Kamiya, M. ; Kikukawa, T. ; Aizawa, T. ; Takahashi, M. ; et coll. Méthode de traitement thermique pour produire de l'alpha-lactalbumine liée aux acides gras qui induit la mort des cellules tumorales. *Biochimie. Biophysique. Rés. Commun.* 2008, 376, 211. [\[Référence croisée\]](#)
11. Turkevitch, J. ; Stevenson, PC ; Hillier, J. Une étude des processus de nucléation et de croissance dans la synthèse de l'or colloïdal. *Discuter. Faraday Soc.* 1951, 11, 55. [\[Réf. croisée\]](#)
12. Philippe, D. ; Unni, C. Biosynthèse extracellulaire de nanoparticules d'or et d'argent à l'aide de feuilles de Krishna tulsi (*Ocimum sanctum*). *Phys. E Faibles Dimensions. Système. Nanostructure.* 2011, 43, 1318. [\[Réf. croisée\]](#)
13. Philip, D. Green synthèse de nanoparticules d'or et d'argent à l'aide d'Hibiscus rosa sinensis. *Phys. E Faibles Dimensions. Système. Nanostructure.* 2010, 42, 1417. [\[Réf. croisée\]](#)
14. Royer, CA Sondant le repliement des protéines et les transitions conformationnelles avec la fluorescence. *Chimique. Rév.* 2006, 106, 1769. [\[CrossRef\]](#) [\[Pub Med\]](#)
15. Royer, Californie ; Hinck, AP; Loh, SN; Prehoda, KE; Peng, X. ; Jonas, J. ; Markley, JL Effets des substitutions d'acides aminés sur la dénaturation par pression de la nucléase staphylococcique, tels que surveillés par spectroscopie de fluorescence et de résonance magnétique nucléaire. *Biochimie* 1993, 32, 5222. [\[CrossRef\]](#)
16. Khadria, A. Préparation du complexe binaire nanoparticules d'or- α lactalbumine pour le traitement du cancer du sein. Thèse de licence, Institut national de technologie, Rourkela, Inde, 2012.
17. Bian, K. ; Schunk, H. ; Oui, D. ; Hwang, A. ; Luc, TS ; Li, R. ; Wang, Z. ; Fan, H. Formation de supercristaux de nanoparticules d'or auto-assemblés avec couplage plasmonique de surface dépendant des facettes. *Nat. Commun.* 2018, 9, 2365.
18. Wang, C. ; Siu, C. ; Zhang, J. ; Fang, J. Comprendre les forces agissant dans l'auto-assemblage et les implications pour la construction supercristaux tridimensionnels (3D). *NanoRés.* 2015, 8, 2445. [\[Réf. croisée\]](#)
19. Feng, Q. ; Shen, Y. ; Fu, Y. ; Muroski, MOI ; Zhang, P. ; Wang, Q. ; Xu, C. ; Lesniak, MS; Li, G. ; Cheng, Y. L'auto-assemblage de nanoparticules d'or montre une commutation dynamique médiée par le microenvironnement et un ciblage amélioré des tumeurs cérébrales. *Théranostique* 2017, 7, 1875. [\[CrossRef\]](#)
20. Lystvet, SM; Volden, S. ; Halskau, O. ; Glomm, WR L'immobilisation sur des nanoparticules d'or modifie l'interaction de l' α -lactalbumine avec des monocouches de phospholipides pures et mixtes. *Matière douce* 2011, 7, 11501. [\[CrossRef\]](#)
21. Hu, F. ; Xu, S. ; Liu, B. Photosensibilisateurs à émission induite par l'agrégation : matériaux et applications biomédicales. *Av. Maître.* 2018, 30, 1801350.
22. Gémissment, J. ; Peng, Q. Un aperçu de l'histoire de la PDT. *Rés. anticancéreuse.* 2003, 23, 3591.
23. Sudha, T. ; Bharali, DJ ; Yalcin, M. ; Darwish, NHE; Coskun, MD; Keating, KA ; Lin, HY ; Davis, PJ ; Mousa, SA Administration ciblée de paclitaxel et de doxorubicine aux xénogreffes cancéreuses via la nanoparticule de nano-diamino-tétrac. *Int. J. Nanomed.* 2017, 12, 1305. [\[Réf. croisée\]](#)
24. Kang, SH; Nafiujjaman, M. ; Nurunnabi, M. ; P'tit.; Khan, HA ; Cho, KJ ; Euh, KM ; Lee, Y. Nanomatériau photoactif hybride composé de nanoparticules d'or, de phéophorbide-A et d'acide hyaluronique comme photothérapie bimodale ciblée. *Macromol. Rés.* 2015, 23, 474. [\[Réf. croisée\]](#)
25. Khadria, A. ; de Coene, Y. ; Gawel, P. ; Roche, C. ; Argiles, K. ; Anderson, HL Pyrophosphorides push-pull pour l'optique non linéaire imagerie [†]. *Org. Biomol. Chimique.* 2017, 15, 947. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
26. Clark, HA; Campagnola, PJ; Wuskell, JP; Lewis, A. ; Loew, LM Propriétés de génération de deuxième harmonique du fluorescent Nanoparticules d'or encapsulées dans des polymères. *Confiture. Chimique. Soc.* 2000, 122, 10234. [\[Réf. croisée\]](#)
27. Khadria, A. ; Fleischhauer, J. ; Boczarow, I. ; Wilkinson, JD; Kohl, MM; Anderson, HL Colorants porphyrines pour l'optique non linéaire Imagerie de cellules vivantes. *iScience* 2018, 4, 153. [\[CrossRef\]](#) [\[Pub Med\]](#)
28. Huang, K. ; Dou, Q. ; Loh, XJ Optogénétique médiée par les nanomatériaux : opportunités et défis. *RSC Adv.* 2016, 6, 60896. [\[Référence croisée\]](#)
29. Khadria, A. Outils pour mesurer le potentiel membranaire des neurones. *Bioméde. J.* 2022, sous presse. [\[Référence croisée\]](#)