

Or colloïdal

L'**or colloïdal** est une suspension de nanoparticules d'or dans un milieu fluide qui peut être l'eau, un solvant organique ou un gel. Selon la taille et la concentration des particules en suspension, sa couleur varie du rouge vif (pour des particules de moins de 100 nanomètres), au jaunâtre (pour les particules les plus grosses)^{1,2,3}.

Connu depuis une époque reculée, l'or colloïdal fut à l'origine utilisé pour colorer le verre et la porcelaine. L'étude scientifique de ce mélange homogène ne débuta qu'avec les travaux de Michael Faraday dans les années 1850^{4,5}.

En raison de leurs propriétés optiques, électroniques et de reconnaissance moléculaire uniques, les nanoparticules d'or font l'objet de recherches approfondies, avec de multiples domaines d'applications comme la microscopie électronique, l'électronique, les nanotechnologies^{6,7}, la science des matériaux et la nanomédecine⁸.

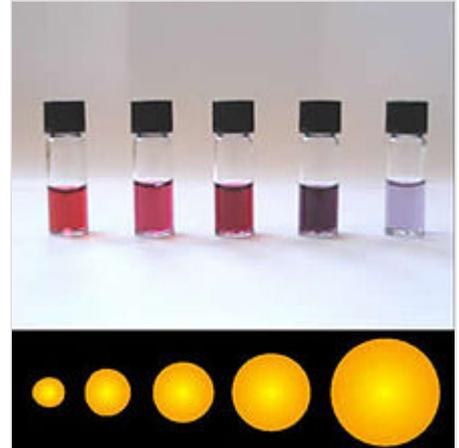
Les propriétés et les applications des nanoparticules d'or colloïdal dépendent de leur forme. Par exemple les particules en bâtonnets ont un pic d'absorption lumineuse à la fois transverse et longitudinal, et cette anisotropie conditionne leur propre cohésion⁹.

Histoire

L'or colloïdal est connu et utilisé depuis l'antiquité romaine pour préparer les verres rubis couleur de sang Hematinum, d'après la lecture de Pline l'Ancien¹⁰. [Information douteuse]. Au xviii^e siècle, plusieurs chimistes s'intéressent à un procédé de fabrication par réaction de l'or avec l'étain, qui aboutit à un pigment de couleur pourpre. Ce dernier, mis en suspension aqueuse, permet d'obtenir une variété d'or colloïdal.

Bien que cette préparation porte le nom d'Andreas Cassius (1605-1673)¹¹, la préparation était déjà connue 25 ans auparavant et décrite par les chimistes allemands Johann Rudolf Glauber (1604-1670)¹² et Johann Kunckel (1630-1703)¹³. Cette « pourpre de Cassius » était d'ailleurs déjà utilisée dans une usine de Potsdam en 1679¹⁴. La préparation consistait à plonger une lame d'étain dans une solution contenant de l'or. On décompose le chlorure d'or par le protochlorure et le dichlorure d'étain. Le dépôt pourpre qu'on obtenait était lavé à l'eau distillée et séché avec soin. On retrouve le pourpre de Cassius à la manufacture royale de Sèvres, au début du xviii^e siècle avec l'orfèvre Antoine Salomon Taunay.

La « pourpre de Cassius » se dissout dans le verre fondu ou le cristal, qu'elle colore en rosé ou en rouge rubis foncé (« rubis de Kunkel »). Elle était aussi employée pour la porcelaine, notamment la réalisation des porcelaines dites de la « famille rose », sous la dynastie Qing.



Différents coloris de l'or colloïdal : carmin, rose, rouge, pourpre et violet

L'or colloïdal fut étudié par Richard Adolf Zsigmondy qui obtint le prix Nobel de chimie en 1925 pour ses travaux sur les colloïdes.

Synthèse

Les solutions d'or colloïdal sont principalement préparées par réduction de sels d'or, typiquement l'acide chloraurique (HAuCl_4). Après dissolution du sel d'or, la solution est agitée vigoureusement et l'agent réducteur est ajouté, réduisant les ions Au^{3+} en atomes d'or neutres. Au cours de la réaction de plus en plus d'atomes d'or sont produits, la solution devient sursaturée et les atomes d'or commencent à précipiter sous la forme de particules sub-nanométriques. Les atomes d'or en solution s'agrègent autour de ces particules, et si la solution est bien agitée on peut obtenir une taille de particule homogène. Afin d'éviter que les particules s'agrègent entre elles, des agents stabilisant peuvent être ajoutés.

Méthode de Turkevich et Frens

La méthode de synthèse d'or colloïdal la plus simple est décrite en 1951 par Turkevich¹⁵, puis revue dans les années 1970 par Frens^{16,17}. Elle produit généralement des nanoparticules d'or relativement monodisperses, avec un diamètre de l'ordre de 10 à 20 nm. La synthèse repose sur la réaction de petites quantités d' HAuCl_4 chaud avec de petites quantités de citrate de sodium en solution, celui-ci jouant à la fois le rôle d'agent réducteur et d'agent stabilisant. La formation des nanoparticules d'or passe par un état intermédiaire dans lequel des nanofils d'or sont créés, ce qui explique la couleur très foncée observée durant la réaction avant l'apparition d'une couleur rubis caractéristique¹⁸. Des particules plus grosses peuvent être produites en diminuant la quantité de citrate de sodium, mais ces particules présentent une monodispersité et des formes moins homogènes.

Méthode de Brust

La méthode décrite par Brust en 1994 permet de préparer des solutions colloïdales d'or dans des solvants organiques non miscibles avec l'eau, comme le toluène¹⁹. Le diamètre moyen des nanoparticules formées est de l'ordre de 1 à 5 nm^{19,20}. Dans cette synthèse, l'acide chloraurique réagit avec du tétrahydroborate de sodium, qui joue le rôle d'agent réducteur, en présence de bromure de tetraoctylammonium (en), qui joue le rôle d'agent stabilisant et de catalyseur de transfert de phase. Le bromure de tetraoctylammonium ne se lie pas très fortement à la surface de l'or, et progressivement au bout de deux semaines les nanoparticules s'agrègent et précipitent. L'utilisation de thiols, et notamment d'alcanethiols, permet de prévenir cette agrégation et d'obtenir des solutions colloïdales quasi permanentes.

Méthode de Perrault et Chan

En 2009, Perrault et Chan décrivent la synthèse de solutions d'or colloïdal de diamètre de l'ordre de 50 à 200 nm en utilisant l'hydroquinone comme réducteur de l'acide chloraurique en solution aqueuse contenant des nanoparticules d'or plus petites²¹. L'utilisation de citrate permet de contrôler la croissance des nanoparticules. Cette méthode est un complément de la méthode de Turkevich et Frens afin d'obtenir de particules sphérique et monodisperses de plus grande taille.

Sonochimie

Des nanofils d'or de 30 à 50 nm de diamètre et quelques micromètres de long peuvent être préparés par sonochimie²². À partir d'une solution aqueuse de glucose, des ultrasons génèrent des radicaux hydroxyle qui permettent de réduire l'acide chloraurique en nanofils d'or. Ces nanofils sont très flexibles et peuvent former des angles supérieurs à 90 °. Quand le glucose est remplacé par de la cyclodextrine (un oligomère du glucose), les particules formées sont sphériques, suggérant un rôle particulier du glucose sur la morphologie des nanofils.

Méthode des copolymères séquencés

L'utilisation de copolymères séquencés pour la synthèse d'or colloïdal, décrite par Alexandridis en 2005²³, est une méthode économique, rapide et avec un faible impact sur l'environnement. Le copolymère joue dans ce cas à la fois le rôle de réducteur et d'agent stabilisant. Une variante de cette méthode permet d'obtenir des concentrations en nanoparticules d'or plus importantes en ajoutant du citrate de sodium comme agent réducteur²⁴.

Propriétés et usages en Industrie

L'or colloïdal fut à l'origine utilisé pour colorer le verre et la porcelaine (voir Histoire). Il est aussi apprécié par les artistes pour ses couleurs intenses.

L'industrie cosmétique l'inclut aux mêmes égards dans divers produits²⁵.

L'or colloïdal trouve de nouvelles applications pour des propriétés optoélectroniques et conductrices, par ex pour des cellules photovoltaïques organiques, des sondes optoélectriques, et pour d'autres composants électroniques.

Propriété et usage en chimie

L'or colloïdal catalyse diverses réactions chimiques. Il présente en particulier une activité catalytique supérieure pour le CO et d'autres oxydations à faible température^{26,27,28}, ainsi que ses alliages tel AuPd pour oxyder le méthane²⁹. Ceci mène notamment à des applications de piles à combustible.

Propriétés et usages en biotechnologie

L'or colloïdal est utilisé pour ses propriétés de couleur sensible à l'agrégation des particules (et à l'environnement), comme marqueur en biologie pour diverses techniques d'analyse diagnostique. Il est par ailleurs aussi utilisé pour d'autres techniques d'analyses pointues.

Test rapides (Immuno-essais)

L'or colloïdal permet de marquer des anticorps ou des antigènes qui seront utilisés comme réactifs de révélation dans des tests de phase homogène, ou de phase hétérogène (tests rapides type Lateral Flow sur membranes). Suivant la mise en œuvre, la réaction antigène-anticorps fait disparaître ou apparaître la coloration de l'or en présence de l'anticorps (ou l'antigène) de l'échantillon testé.

Imagerie (microscopie électronique)

Il est utilisé comme marqueur dans les techniques de microscopie électronique. En effet, l'or colloïdal est particulièrement dense et donc opaque aux rayons d'électrons. Les nanobilles d'or utilisées, typiquement de 10-200nm de diamètre, sont attachées à des immunoréactifs, qui les immobilisent sur les antigènes présent dans coupes de tissus/étalement de cellules (technique d'immunohistologie) par observation au microscope électronique, permettant leur localisation précise.

Autres: capteurs par résonance

L'or colloïdal a été utilisé pour détecter des interactions moléculaires, par ex de petits ligands avec des protéines recombinantes immobilisées sur les nanoparticules, en protéomique³⁰.

L'or colloïdal permet de sonder l'environnement par la technique de résonance de surface de plasma (SPR), car les nanoparticules d'or, par leur taille et propriétés, interagissent avec la lumière de façon très dépendante de l'environnement. Des diamètres ~30nm produisent une absorption de lumière bleu-vert (~450 nm) tandis que la lumière rouge (~700 nm) est réfléchi. Avec des diamètres croissants, le signal SPR se décale vers des longueurs d'onde croissantes jusqu'au rouge puis vers l'IR alors que quasi toute la lumière visible est réfléchi.

Propriétés et usages en médecine

L'or colloïdal est indiqué pour avoir des effets antibiotiques (antibactériens, antiviraux), néanmoins de tels effets potentiels ne sont pas reconnus par la médecine conventionnelle, en égard à de potentiels effets toxiques. Il entre par ailleurs comme ingrédient mineur dans la composition de médicaments utilisés comme oligo-éléments³¹.

Au niveau recherche (nanomédecine), les nanoparticules d'or sont montrées antimicrobien à large spectre (contre les bactéries Gram+ et Gram-) sans toxicité pour les cellules mammaliennes³², et aussi développées comme vecteur de médicaments.

Environnement

Milieu aquatique

En 2013, 19 produits référencés contenaient des nanoparticules d'or²⁵, notamment des produits cosmétiques. Leur utilisation entraîne leur rejet jusque dans le milieu aquatique où l'on ne connaît pas leurs effets sur la faune ou la flore. Des recherches ont été réalisées sur le sujet pour déterminer si ces nouveaux matériaux (nanoparticules) représentent un risque pour l'environnement aquatique. Les études écotoxicologiques^{33,34} menées sur des algues unicellulaires ou des bivalves mettent en évidence l'importance de plusieurs facteurs dans la toxicité des nanoparticules d'or :

- La taille (0,1 à >100 nm)
- Le revêtement (molécules adsorbées sur la surface)
- L'organisme exposé (interactions membranaires, assimilation...)
- La stabilité colloïdale (potentiel zêta)
- Le temps de contact
- La physico-chimie du milieu (pH, force ionique, matières en suspensions...)

Ces études prennent pour indicateurs des effets de toxicité (chez les algues) le taux croissance, le rendement photosynthétique, la granularité de la membrane et la morphologie.

Les résultats tendent à montrer que les nanoparticules d'or ne sont pas toxiques pour les algues, aux concentrations actuellement présentes dans les milieux aquatiques, lorsqu'elles ont un revêtement chargé négativement qui a pour effet de les empêcher d'entrer en contact avec les micro-organismes aquatiques (aussi chargées négativement). De plus, une fois dans l'environnement naturel, le diamètre des nanoparticules d'or augmente aux plus faibles concentrations (μM) ce qui accélère leur sédimentation et réduit leur mobilité. Une plus grande toxicité a été cependant remarquée sur les bivalves lorsque les nanoparticules présentent un revêtement chargé positivement.

Notes et références

1. (en) Marie-Christine Daniel and Didier Astruc, « Gold Nanoparticles: Assembly, Supramolecular Chemistry, Quantum-Size-Related Properties, and Applications toward Biology, Catalysis, and Nanotechnology. », *Chem. Rev.*, vol. 104, 2004, p. 293–346 (DOI 10.1021/cr030698+ (<https://dx.doi.org/10.1021/cr030698%2B>))
2. (en) Bernhard Wessling, « Conductive Polymer / Solvent Systems: Solutions or Dispersions? (<http://www2.ormecon.de/Research/soludisp/>) », 1996 (consulté le 29 mai 2010)
3. (en) University of Edinburgh School of Physics: Colloids (mentions Elixir of Life) (<http://www.ph.ed.ac.uk/~hs/Colloids/colloids.html>)
4. (en) Vanga R. Reddy, « Gold Nanoparticles: Synthesis and Applications », *Synlett*, n° 11, 2006, p. 1791-1792 (ISSN 0936-5214 (<https://portal.issn.org/resource/issn/0936-5214>), DOI 10.1055/s-2006-944219 (<https://dx.doi.org/10.1055/s-2006-944219>), lire en ligne (<https://www.thieme-connect.com/ejournals/pdf/synlett/doi/10.1055/s-2006-944219.pdf>))
5. (en) Michael Faraday, « Experimental Relations of Gold (and Other Metals) to Light », *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, vol. 147, janvier 1857, p. 145-181 (ISSN 0261-0523 (<https://portal.issn.org/resource/issn/0261-0523>), DOI 10.1098/rstl.1857.0011 (<https://dx.doi.org/10.1098/rstl.1857.0011>))
6. (en) Paul Mulvaney, « **The beauty and elegance of Nanocrystals: How invisibly small particles will colour and shape our future** (<http://uninews.unimelb.edu.au/news/791/>) » (Archive.org (https://web.archive.org/web/*/http://uninews.unimelb.edu.au/news/791/) • Wikiwix (<https://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://uninews.unimelb.edu.au/news/791/>) • Archive.is (<https://archive.is/http://uninews.unimelb.edu.au/news/791/>) • Google (<https://webcache.googleusercontent.com/search?hl=fr&q=cache:http://uninews.unimelb.edu.au/news/791/>) • Que faire ?), sur *uninews.unimelb.edu.au*, Université de Melbourne, 2003 (consulté le 29 mai 2010)
7. (en) C. N. Ramachandra Rao, Giridhar U. Kulkarni, P. John Thomas et Peter P. Edwards, « Metal nanoparticles and their assemblies », *Chem. Soc. Rev.*, vol. 29, 2000, p. 27-35 (ISSN 0306-0012 (<https://portal.issn.org/resource/issn/0306-0012>), DOI 10.1039/a904518j (<https://dx.doi.org/10.1039/a904518j>))
8. (en) Elodie Boisselier and Didier Astruc., « Gold nanoparticles in nanomedicine: preparations, imaging, diagnostics, therapies and toxicity. », *Chem. Soc. Rev.*, vol. 38, 2009, p. 1759-1782 (DOI 10.1039/B806051G (<https://dx.doi.org/10.1039/B806051G>))
9. (en) Vivek Sharma, Kyoungweon Park et Mohan Srinivasarao, « Colloidal dispersion of gold nanorods: Historical background, optical properties, seed-mediated synthesis, shape separation and self-assembly », *Mater. Sci. Eng., R*, vol. 65, n^{os} 1-3, 15 mai 2009, p. 1-38 (ISSN 0927-796X (<https://portal.issn.org/resource/issn/0927-796X>), DOI 10.1016/j.mser.2009.02.002 (<https://dx.doi.org/10.1016/j.mser.2009.02.002>))

10. Philippe Colomban, Thomas Calligaro, Claude Vibert-Guigue, Quang Liem Nguyen et Howell G. M. Edwards, « Dorures des céramiques et tesselles anciennes : technologies et accrochage », *Archéosciences*, vol. 29, 2005, p. 7-20 (ISSN 2104-3728 (<https://portal.issn.org/resource/issn/2104-3728>), lire en ligne (<http://archeosciences.revues.org/index424.html>))
11. (1a) Andreae Cassii D., *Hamburgensis De Extremo Illo Et Perfectissimo Naturae Opificio Ac Principe Terraenorum Sidere Auro*, Wolffus, 1685, 152 p. (lire en ligne (<https://books.google.fr/books?id=vml6AAAACAAJ&pg=PP3>))
12. (de) Johann Rudolf Glauber, *Des Teutschlandts Wohlfart*, vol. 4, Amsterdam, Jansson, 1659, 148 p., p. 35-36
13. Antonio Neri et al., *Art de la verrerie*, Durand, 1679, 629 p. (lire en ligne (https://books.google.fr/books?id=hTM_AAAACAAJ&pg=PP7)), p. 192
14. (en) L. B. Hunt, « The true story of purple of Cassius », *Gold Bull.*, vol. 9, n° 4, 1976, p. 134-139 (ISSN 0017-1557 (<https://portal.issn.org/resource/issn/0017-1557>), DOI 10.1007/BF03215423 (<https://dx.doi.org/10.1007/BF03215423>), lire en ligne (<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2FBF03215423>))
15. (en) J. Turkevich, P. C. Stevenson et al., « A study of the nucleation and growth processes in the synthesis of colloidal gold », *Discuss. Faraday Soc.*, vol. 11, 1951, p. 55-75 (ISSN 0366-9033 (<https://portal.issn.org/resource/issn/0366-9033>), DOI 10.1039/DF9511100055 (<https://dx.doi.org/10.1039/DF9511100055>)).
16. (en) G. Frens, « Particle size and sol stability in metal colloids », *Kolloid Z. Z. Polym.*, vol. 250, n° 7, 1972, p. 736-741 (ISSN 0023-2904 (<https://portal.issn.org/resource/issn/0023-2904>), DOI 10.1007/BF01498565 (<https://dx.doi.org/10.1007/BF01498565>), lire en ligne (<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2FBF01498565>)).
17. (en) G. Frens, « Controlled nucleation for the regulation of the particle size in monodisperse gold suspensions », *Nature*, n° 241, 1973, p. 20-22 (ISSN 0028-0836 (<https://portal.issn.org/resource/issn/0028-0836>), DOI 10.1038/physci241020a0 (<https://dx.doi.org/10.1038/physci241020a0>)).
18. (en) B.-K. Pong, H. I. Elim et al., « New insights on the nanoparticle growth mechanism in the citrate reduction of gold(III) salt: formation of the Au nanowire intermediate and its nonlinear optical properties », *J. Phys. Chem. C*, vol. 111, n° 17, 2007, p. 6281–6287 (ISSN 1932-7447 (<https://portal.issn.org/resource/issn/1932-7447>), DOI 10.1021/jp068666o (<https://dx.doi.org/10.1021/jp068666o>)).
19. (en) M. Brust, M. Walker et al., « Synthesis of thiol-derivatised gold nanoparticles in a two-phase liquid–liquid system », *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, n° 7, 1994, p. 801-802 (ISSN 0022-4936 (<https://portal.issn.org/resource/issn/0022-4936>), DOI 10.1039/C39940000801 (<https://dx.doi.org/10.1039/C39940000801>)).
20. (en) A. Manna, P.-L. Chen et al., « Optimized photoisomerization on gold nanoparticles capped by unsymmetrical azobenzene disulfides », *Chem. Mater.*, vol. 15, n° 1, 2003, p. 20–28 (ISSN 0897-4756 (<https://portal.issn.org/resource/issn/0897-4756>), DOI 10.1021/cm0207696 (<https://dx.doi.org/10.1021/cm0207696>)).
21. (en) S. D. Perrault et W. C. W. Chan, « Synthesis and surface modification of highly monodispersed, spherical gold nanoparticles of 50–200 nm », *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 131, n° 47, 2009, p. 17042–17043 (ISSN 0002-7863 (<https://portal.issn.org/resource/issn/0002-7863>), DOI 10.1021/ja907069u (<https://dx.doi.org/10.1021/ja907069u>)).
22. (en) J. Zhang, J. Du et al., « Sonochemical formation of single-crystalline gold nanobelts », *Angew. Chem. Int. Ed.*, vol. 45, n° 7, 2006, p. 1116–1119 (ISSN 1433-7851 (<https://portal.issn.org/resource/issn/1433-7851>), DOI 10.1002/anie.200503762 (<https://dx.doi.org/10.1002/anie.200503762>)).
23. (en) T. Sakai et P. Alexandridis, « Mechanism of gold metal ion reduction, nanoparticle growth and size control in aqueous amphiphilic block copolymer solutions at ambient conditions », *J. Phys. Chem. B*, vol. 109, n° 16, 2005, p. 7766–7777 (ISSN 1520-6106 (<https://portal.issn.org/resource/issn/1520-6106>), DOI 10.1021/jp046221z (<https://dx.doi.org/10.1021/jp046221z>)).

24. (en) D. Ray, V. K. Aswal *et al.*, « Synthesis and characterization of high Concentration block copolymer-mediated gold nanoparticles », *Langmuir*, vol. 27, n° 7, 2011, p. 4048–4056 (ISSN 0743-7463 (<https://portal.issn.org/resource/issn/0743-7463>), DOI 10.1021/la2001706 (<https://dx.doi.org/10.1021/la2001706>)).
25. (en) « Nanotechnology - Project (<http://www.nanotechproject.org>) »
26. (en) Jianfeng Huang, « Colloidal Nanocrystals as Heterogeneous Catalysts for Electrochemical CO₂ Conversion », *Chem. Mater.* 2019, 31, 1, 13-25, 2019 (lire en ligne (<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.chemmater.8b04155>))
27. (en) Ruud J.H. Grisel, « Catalysis by Gold Nanoparticles », *Gold bulletin* 35(2):39-45 · June 2002, 2002 (lire en ligne (https://www.researchgate.net/publication/225716489_Catalysis_by_Gold_Nanoparticles))
28. (en) Paul L. Freund, Michael Spiro, « Colloidal catalysis: the effect of sol size and concentration », *J. Phys. Chem.* 1985, 89, 7, 1074-1077, 1985, p. 1074-1077 (lire en ligne (<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/j100253a007>))
29. (en) Yang Yan, « High H₂O₂ Utilization Promotes Selective Oxidation of Methane to Methanol at Low Temperature », *Front. Chem.*, 07 April 2020, 2020 (lire en ligne (<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fchem.2020.00252/full>))
30. (en) Andrew B. Thompson, « A Gold Nanoparticle Platform for Protein–Protein Interactions and Drug Discovery », *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2011, 3, 8, 2979-2987, 2011, p. 2979-2987 (lire en ligne (<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/am200459a>))
31. Vidal/Laboratoire Labcatal, « OligoCure (<https://eurekasante.vidal.fr/medicaments/vidal-famille/medicament-bocure01-OLIGOCURE.html>) » (consulté le 11 avril 2020)
32. (en) Xiaoning Li, « Functional Gold Nanoparticles as Potent Antimicrobial Agents against Multi-Drug-Resistant Bacteria », *ACS Nano* 2014, 8, 10, 10682-10686, 2014, p. 10682-10686 (lire en ligne (<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/nn5042625>))
33. (en) Renata Behra, « Colloidal Stability and Toxicity of Gold Nanoparticles and Gold Chloride on *Chlamydomonas reinhardtii* », *Springer Science*, 2015
34. (en) Renault *et al.*, « Impacts of gold nanoparticle exposure on two freshwater species: a phytoplanktonic alga (*Scenedesmus subspicatus*) and a benthic bivalve (*Corbicula fluminea*). », *Gold Bull.*, 2008

Voir aussi

Bibliographie

- (en) L. B. Hunt, « The true story of purple of Cassius », *Gold Bull.*, vol. 9, n° 4, 1976, p. 134-139 (ISSN 0017-1557 (<https://portal.issn.org/resource/issn/0017-1557>), DOI 10.1007/BF03215423 (<https://dx.doi.org/10.1007/BF03215423>), lire en ligne (<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2FBF03215423>)).
- Préparation de la « pourpre de Cassius » : Théophile Jules Pelouze et Edmond Fremy, *Traité de chimie, générale, analytique, industrielle et agricole : Chimie inorganique*, vol. 3,

t. 2, Masson, 1865, 3^e éd., 1379 p. (lire en ligne (<https://books.google.fr/books?id=EbEEAAAAYAAJ&pg=PA1213&dq=pourpre+de+cassius>)), p. 1213-1214.

Articles connexes

- Rubis doré

Liens externes

- Making Colloidal Gold from Gold Wire and Electrolysis (vidéo) (<https://www.youtube.com/watch?v=mK4xL8D66Xg>)
-

Ce document provient de « https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Or_colloïdal&oldid=209941664 ».

-