

La ruée vers le nano-or

Delphine Schaming, Olivier Pluchery et Hynd Remita

Quand l'or prend la forme de particules nanométriques, ses propriétés physico-chimiques et sa couleur changent. Ces nanoparticules sont promises à de nombreuses applications, notamment dans le traitement des cancers.

Électronique moléculaire, optique, traitements anticancéreux, vêtements de haute technologie, pots catalytiques... Il suffit de faire une recherche « nanoparticules d'or » sur Internet pour comprendre que de minuscules particules d'or sont de plus en plus employées dans divers domaines technologiques et qu'elles pourraient un jour changer notre vie.

Il s'agit de nanoparticules, c'est-à-dire des particules d'or d'échelle nanométrique. Le nanomètre, rappelons-le, est le milliardième de mètre (10^{-9} mètre). En pratique, on a pris l'habitude de qualifier de nano-objet tout objet de dimension inférieure à 100 nanomètres, et l'on nomme or colloïdal une suspension de nanoparticules d'or dans un liquide.

Pourquoi ces nanoparticules d'or ou l'or colloïdal sont-ils intéressants ? Cela tient à leurs propriétés optiques, physiques et chimiques. À l'échelle nanométrique, qui est l'échelle immédiatement supérieure à celle des interactions moléculaires, ces propriétés diffèrent de celles de l'or plus massif. De plus, la petite taille des particules permet de les introduire dans la matière ou un

organisme afin d'exploiter ces propriétés. Nous allons expliquer ici les particularités que présentent les « nanopépites » d'or, puis nous détaillerons quelques-unes de leurs plus prometteuses applications.

Des propriétés optiques particulières

L'humanité exploite les propriétés particulières de l'or depuis la plus haute antiquité. Comme ce métal jaune ne s'oxyde pas, il est depuis toujours une matière précieuse, pour les joailliers notamment. Chose surprenante, l'or nanométrique aussi est exploité depuis longtemps. Ainsi, une coupe romaine en verre opacifié datant du IV^e siècle de notre ère, la coupe de Lycurgue, constitue l'exemple ancien d'emploi de nanoparticules d'or le plus célèbre. Conservée au *British Museum*, à Londres, cette coupe est bichromatique, c'est-à-dire qu'elle change de couleur selon son éclairage. Ainsi, elle apparaît rouge translucide lorsqu'elle est éclairée de l'intérieur, alors qu'elle est vert opaque lorsqu'elle est éclairée de l'extérieur (voir l'encadré page 35).

Ce changement de couleur découle des propriétés optiques particulières qu'acquiert un objet métallique de taille très inférieure à la longueur d'onde de la lumière. Voyons pourquoi.

Rappelons qu'une onde lumineuse est une onde électromagnétique, constituée d'un champ électrique et d'un champ magnétique oscillants se propageant de concert. Les directions de ces deux champs s'inversent toutes les demi-longueurs d'onde. Les longueurs d'onde de la lumière visible s'échelonnent entre 400 et 800 nanomètres, cela signifie que la direction du champ électrique de l'onde lumineuse s'inverse au bout d'une distance comprise entre 200 et 400 nanomètres.

Tous les électrons libres d'une nanoparticule métallique éclairée par de la lumière visible subissent donc à chaque instant pratiquement le même champ électrique, puisque la particule mesure une centaine de nanomètres au plus. Ces électrons de conduction se mettent donc à osciller en phase avec le champ électrique de l'onde lumineuse (voir la figure 1), c'est-à-dire à son rythme, qui



est de l'ordre de 10^{15} hertz. Ils ne sont limités dans leurs mouvements que par les bords de la nanoparticule.

Comme tout système oscillant, cet ensemble d'électrons a une fréquence de résonance : la fréquence dite de résonance plasmon. Quand la fréquence lumineuse lui est égale, l'entrée en résonance du système constitué par les électrons de surface oscillants se traduit par une forte absorption de l'onde lumineuse incidente.

La fréquence de résonance dépend de la nature métallique de la nanoparticule, de sa forme et de sa taille. Dans le cas de nanoparticules d'or sphériques en suspension dans de l'eau, la résonance se produit pour des longueurs d'onde voisines de 520 nanomètres (ce qui correspond à $0,6 \times 10^{15}$ hertz), soit du vert. La couleur observée étant complémentaire de la couleur absorbée, les nanoparticules apparaissent rouges.

Pour la même raison, les nanoparticules d'argent sphériques apparaissent jaunes (avec une longueur d'onde de résonance plasmon vers 400 nanomètres), tandis que les nanoparticules d'or non sphériques, par exemple en forme de bâtonnets, peuvent

suivre leurs formes et leurs dimensions revêtir toute une gamme de couleurs.

Dans le cas de nanoparticules d'une centaine de nanomètres, la diffusion de la lumière n'est plus négligeable devant son absorption. C'est pourquoi la coupe de Lycorgue apparaît différente suivant qu'elle est éclairée de l'intérieur (l'absorption domine) ou de l'extérieur (la diffusion domine).

Outre ces propriétés optiques, les nanoparticules d'or ont aussi un grand intérêt pour la chimie : elles catalysent de nombreuses réactions, c'est-à-dire qu'elles les facilitent ou les accélèrent. Les catalyseurs sont très utilisés dans l'industrie. Comme le catalyseur est régénéré au cours de la réaction, il peut resservir des centaines de fois, et agit en faible quantité (un atout dans le cas de l'or!).

Dans la majorité des cas, les catalyseurs sont solides et les réactions chimiques ont lieu à leur surface. On parle alors de catalyse hétérogène car les réactifs sont dans une phase liquide ou gazeuse. La catalyse est d'autant plus efficace que la surface de réaction est grande. Ainsi, pour limiter la quantité de matériau catalyseur à utiliser

L'ESSENTIEL

- L'or est inerte à l'état massif, mais pas à l'état de particules de taille nanométrique.
- Sous cette forme, l'or a des propriétés physiques et catalytiques intéressantes.
- Faciles à introduire dans un organisme, les nanoparticules d'or pourraient améliorer les traitements contre les cancers.
- Elles peuvent aussi dépolluer des gaz, servir à détecter des molécules ou des bactéries, etc.
- Leurs premières applications concrètes apparaissent.