

Les nanomatériaux

RICHARD SIEGEL

Des solides composés de grains très fins sont plus durs, plus malléables ou plus transparents que les matériaux habituels.

Un soir de septembre 1989, nous avons décidé de nommer «matériaux nanophases» la nouvelle catégorie de matériaux que nous fabriquons. Les métaux nanophases, les céramiques nanophases et autres solides nanophases, autrement nommés nanomatériaux, sont constitués des mêmes éléments chimiques que leurs homologues classiques, mais, tandis que ces derniers sont des assemblages de grains dont le diamètre varie du micromètre au millimètre, composés de plusieurs milliards d'atomes, les grains constitutifs des matériaux nanophases mesurent moins de 100 nanomètres et contiennent au plus quelques dizaines de milliers d'atomes. Un agrégat de trois nanomètres de diamètre, par exemple, contient 900 atomes et est un million de fois plus petit que le point final de cette phrase.

Les nanomatériaux ont des propriétés originales, parce que leurs petits grains réagissent très différemment des grains plus gros aux contraintes mécaniques ou aux champs électromagnétiques. Par exemple, le cuivre nanophase est cinq fois plus dur que le cuivre ordinaire, et les céramiques nanophases sont moins cassantes que leurs cousines à gros grains. Nous ajustons la dureté, la couleur ou la plasticité de ces matériaux, en choisissant la taille des grains qui les constituent.

On trouve aujourd'hui des nanomatériaux dans de nombreux produits de consommation courante, des cosmétiques à l'électronique, et la liste de leurs applications n'est pas close. La croissance de l'entreprise que nous avons fondée pour les commercialiser témoigne de ce développement : nous produisons aujourd'hui par tonnes des matériaux qui n'étaient fabriqués, il y a quelques années encore, que par milligrammes, seulement pour les laboratoires de recherche.

Les nanomatériaux sont présents depuis longtemps dans la nature, des roches des météorites aux valves des coquillages. Dès que les hommes firent du feu, ils fabriquèrent aussi des particules nanométriques de fumée. Toutefois, l'histoire scientifique des nanomatériaux n'a commencé qu'en 1959, lorsque Richard Feynman évoqua en public les potentialités des toutes petites particules de matière condensée : «Je suis certain que si nous maîtrisons la structure de la matière à petite échelle, nous accéderons à un beaucoup plus grand nombre de propriétés de la matière.»

Des confirmations théoriques de cette intuition apparurent bientôt : au début des années 1960, Ryogo Kubo, de l'Université de Tokyo, détermina le comportement quantique de petits agrégats d'atomes. Ce modèle ne décrivait pas les conséquences du confinement des atomes sur les propriétés des

matériaux, mais il les faisait pressentir : lorsque la taille des grains élémentaires d'un matériau devient inférieure à la longueur critique associée à une propriété donnée, cette propriété devient ajustable.

Des métaux à grains fins

La recherche sur les agrégats nanométriques s'est développée au cours des 20 années suivantes, surtout au Japon et en URSS. Toutefois ces recherches étaient confidentielles, et c'est seulement en 1981, lors d'un colloque au Danemark, que Herbert Gleiter, de l'Université de la Sarre, annonça que les matériaux fabriqués par compactage de particules ultrafines avaient des propriétés radicalement différentes de celles des matériaux ordinaires. Peu après, son équipe publia plusieurs articles novateurs sur les métaux nanocristallins.



1. DES SUSPENSIONS DE PARTICULES NANOMÉTRIQUES du même matériau ont des couleurs différentes selon la taille de ces particules. Chacun des flacons présentés sur les photographies contient du sélénium de cadmium : seule la taille des grains varie. Chacun a une couleur différente, en lumière blanche (à droite) et en lumière ultraviolette (ci-dessus).

Quatre ans plus tard, avec Horst Hann, ancien élève de H. Gleiter, nous avons essayé de fabriquer des matériaux non métalliques avec des grains nanométriques. En quelques mois, nous avons obtenu une céramique composée d'agrégats d'oxyde de titane de dix nanomètres de diamètre (l'oxyde de titane est un pigment blanc, très utilisé dans diverses industries, de la peinture à la pâte à papier).

Notre technique ressemblait à celle des chimistes russes ou japonais. Lorsque l'on fait bouillir de l'eau près d'une fenêtre et qu'il gèle dehors, les molécules d'eau qui s'évaporent rencontrent l'air froid de la pièce et se condensent en fines gouttelettes d'eau suspendues dans l'air. La convection

naturelle conduit l'air et les gouttelettes vers la vitre froide, où l'eau liquide se condense en cristaux de glace. De la même façon, lorsqu'un métal est chauffé à une température supérieure à sa température de fusion, des atomes s'en évaporent. Pour fabriquer un nanomatériau, on refroidit ces atomes avec un gaz inerte, tel l'hélium, qui ne réagit pas chimiquement avec eux : les atomes d'hélium absorbent l'énergie des atomes métalliques, qui se condensent en petits agrégats solides. Le diamètre de ces agrégats quasi sphériques est ajustable entre 1 et 100 nanomètres par le réglage de la vitesse d'évaporation des atomes métalliques, et de la nature et de la pression du gaz inerte.

Pour obtenir un métal nanophase, on fait évaporer ce métal, et l'on agglomère les agrégats formés avant qu'ils ne puissent réagir avec des molécules de leur environnement. Pour obtenir une céramique, au contraire, les agrégats métalliques doivent réagir avec un gaz (l'oxygène pour l'oxyde de titane) avant d'être agglomérés. La simplicité de cette méthode nous laissait penser que nous pourrions fabriquer la forme nanophase de la plupart des matériaux, métaux, céramiques, semi-conducteurs, polymères, et composites de ceux-ci. Nous nous sommes toutefois concentrés sur les céramiques et les métaux, afin de bien comprendre le comportement de ces matériaux.

