

Les trois techniques de fabrication des nanotubes

Le Japonais Sumio Iijima est le premier à avoir observé un nanotube, mais il n'est sans doute pas le premier à en avoir fabriqué un. Les hommes de Néandertal ont probablement fabriqué, sans le savoir, de minuscules quantités de nanotubes, dans les feux qui chauffaient leurs cavernes. Séparés par la chaleur, les atomes de carbone se recombinaient de différentes façons dans la suie, certains sous forme de pâte amorphe

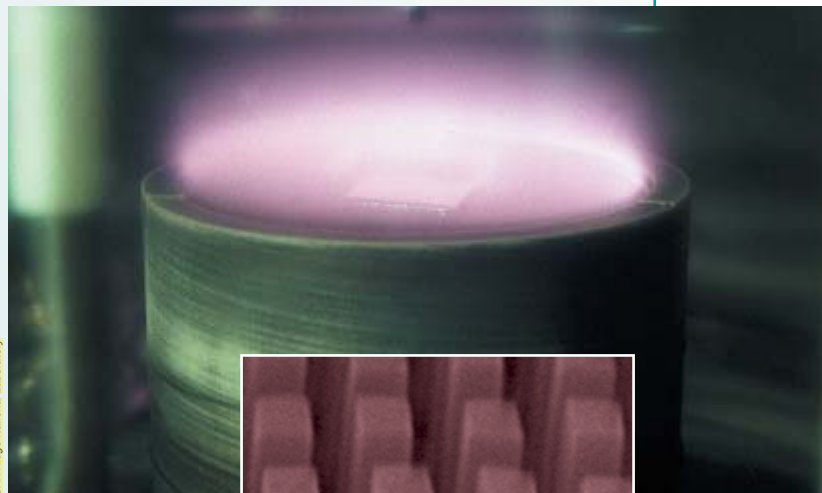
et d'autres sous forme de sphères – de ballons de football – ou de longs cylindres nommés nanotubes. Les physiciens ont découvert trois techniques pour fabriquer de la suie contenant une proportion notable de nanotubes. Jusqu'à présent, cependant, ces trois méthodes produisent des mélanges de nanotubes de longueur et de torsion variées, et qui ont de nombreux défauts.

1. Une grosse étincelle

En 1992, Thomas Ebbesen et Pulickel Ajayan, du Laboratoire de recherche fondamentale de la Société NEC à Tsukuba, au Japon, ont publié la première méthode pour fabriquer des quantités macroscopiques de nanotubes. Son principe rappelle un peu la méthode du docteur Frankenstein pour donner vie : il consiste à placer deux barres de graphite à quelques millimètres l'une de l'autre et à leur appliquer une forte tension. Lorsqu'une étincelle de 100 ampères jaillit entre les deux barres, le carbone se vaporise en un plasma chaud (à droite) ; certaines molécules se recombinaient sous forme de nanotubes.

- **Rendement** : 40 pour cent en masse.
- **Avantages** : en augmentant la température et en ajoutant des catalyseurs métalliques au graphite, on obtient des nanotubes dont certains sont dépourvus de défauts structuraux.
- **Inconvénients** : les tubes ont tendance à être courts ; leur taille ainsi que leur orientation sont aléatoires.

Oak Ridge National Laboratory

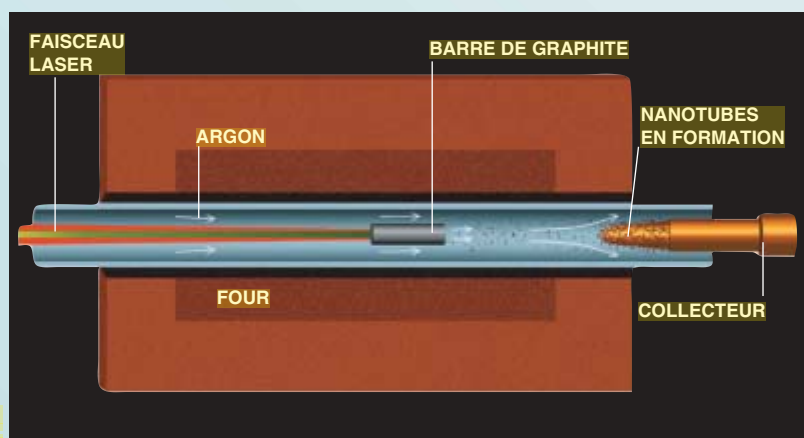
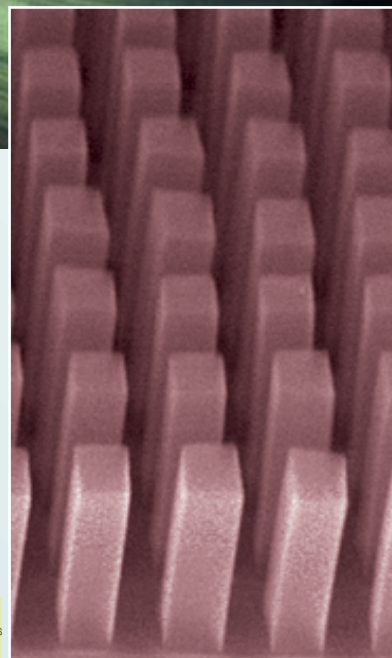


2. Un gaz chaud

Morinubo Endo, de l'Université Shinshu à Nagano, au Japon, fut le premier à fabriquer des nanotubes avec la méthode dite de dépôt par vapeur chimique. Cette recette est également assez simple. Il suffit de placer un substrat dans un four, de le chauffer à 600 °C et d'ajouter lentement un gaz carboné, tel le méthane. Lorsque le gaz se décompose, il libère des atomes de carbone, qui se recombinaient sur le substrat sous la forme de nanotubes. Jie Liu et ses collègues de l'Université Duke ont récemment inventé un catalyseur poreux qui convertirait presque tout le carbone du gaz en nanotubes. En imprimant sur le substrat des motifs de particules de catalyseur, Hongjie Dai et ses collègues de l'Université de Stanford ont pu contrôler les sites où se forment les tubes (à droite) ; ils essaient de combiner cette croissance contrôlée avec la technique classique de croissance du silicium.

- **Rendement** : de 20 à presque 100 pour cent.
- **Avantages** : le dépôt par vapeur chimique est la plus simple des trois méthodes pour une éventuelle production industrielle. Les nanotubes obtenus sont assez longs pour être utilisés dans des composites.
- **Inconvénients** : les nanotubes ont le plus souvent des parois multiples et sont criblés de défauts. Leur résistance est dix fois plus faible que celle des tubes fabriqués par arc électrique.

Hongjie Dai



3. Un bombardement laser

Richard Smalley et ses collègues de l'Université Rice vaporisent des barres de graphite avec des lasers intenses, et les molécules de carbone se recombinaient sous forme de nanotubes (à gauche). Ils cherchent aujourd'hui un catalyseur qui favoriserait la production de grandes quantités de nanotubes à paroi unique.

- **Rendement** : jusqu'à 70 pour cent.
- **Avantages** : cette méthode produit en majorité des nanotubes à paroi unique, et leur diamètre est contrôlé par la température de réaction.
- **Inconvénients** : la plus coûteuse, à cause des lasers.

consomment peu d'énergie. Toutefois, les dispositifs à émission de champ qui existent restent fragiles : les nanotubes pourraient bientôt les remplacer.

Pour fabriquer un émetteur de champ avec des nanotubes, il suffit de les mélanger en une pâte composite avec des plastiques, de les étaler sur une électrode, et d'appliquer une ten-

sion. Certains des nanotubes de la couche s'orientent vers l'électrode opposée et émettent des électrons. Divers groupes de recherches ont déjà découvert plusieurs façons de faire croître des grappes de nanotubes verticaux en petites grilles régulières. Lorsque la densité est optimale, ces nanotubes émettent plus d'un ampère

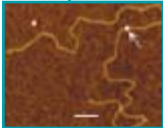
par centimètre carré, ce qui est suffisant pour faire scintiller le phosphore d'un écran et même pour actionner des relais à micro-ondes, et des commutateurs à haute fréquence dans des antennes de base utilisées pour la téléphonie cellulaire.

Deux sociétés ont déjà mis au point des produits utilisant des nanotubes

Indices de faisabilité

0 = science-fiction
2 = démontré
4 = prêt pour la commercialisation

D'autres utilisations pour les nanotubes

	LE PRINCIPE	LES OBSTACLES	LA FAISABILITÉ
 1. SONDES GÉNÉTIQUES ET CHIMIQUES Brin d'ADN marqué	Un microscope à force atomique dont la pointe se réduit à un nanotube détecte un brin d'ADN et identifie les marqueurs qui repèrent les différents variants d'un même gène.	C'est la seule méthode qui permet de repérer les constituants de la surface, mais, pour l'instant, elle n'a été utilisée que pour des fragments d'ADN relativement petits.	3
 2. MÉMOIRE MÉCANIQUE Mémoire non volatile	Des nanotubes alignés sur un support ont été testés comme dispositif de mémoire binaire : en appliquant une tension, certains tubes entrent en contact et conservent cette position «marche» ; d'autres se séparent, ce qui correspond à la position «arrêt».	La vitesse de commutation de ce dispositif n'a pas été mesurée, mais elle se limite probablement à un mégahertz, ce qui est beaucoup plus lent que les puces à mémoire classiques.	2
 3. NANOPINCES Pincettes de cinq micromètres de long	Deux nanotubes, attachés à des électrodes sur une tige de verre, forment une pince, qui s'ouvre ou se ferme en fonction de la tension appliquée. Ces pincettes sont utilisées pour saisir et déplacer des objets de quelque 500 nanomètres.	Les nanotubes sont si «collants» que la plupart des objets pincés ne peuvent plus être relâchés. Il existe des techniques plus simples pour déplacer ces nanoobjets.	2
 4. CAPTEURS SUPERSENSIBLES L'oxygène se fixe sur les tubes	La résistance électrique des nanotubes semi-conducteurs varie quand ils sont exposés à des alcalins, des halogènes et divers éléments des gaz à température ambiante. On pourrait exploiter cette propriété des nanotubes pour réaliser de nouveaux capteurs chimiques sensibles.	La sensibilité des nanotubes n'est pas spécifique à un élément. Ils pourraient être incapables de distinguer un élément chimique d'un autre.	3
 5. STOCKAGE D'HYDROGÈNE ET D'IONS Des atomes dans un cœur creux	Les nanotubes stockent de l'hydrogène ou des ions lithium dans leur cœur creux et pourraient être utilisés dans des batteries ayant une durée de vie supérieure à celles existantes.	Le stockage maximal de l'hydrogène obtenu jusqu'à présent n'excède pas 6,5 pour cent de l'espace disponible, ce qui est insuffisant pour que ces cellules soient rentables. Des tests préliminaires avec les ions lithium sont en cours.	1
 6. MICROSCOPES PLUS PUISSANTS Anticorps anti-immunoglobulines	Fixés à la pointe d'une sonde de microscope, des nanotubes améliorent la résolution latérale de l'instrument d'un facteur 10, ce qui facilite l'observation des protéines et d'autres molécules.	Bien que disponible dans le commerce, ce dispositif est fabriqué à l'unité. Les nanotubes n'améliorent pas la résolution verticale, mais ils détectent des reliefs auparavant invisibles dans des nanostructures.	4
 7. MATÉRIAUX SUPER-RÉSISTANTS Test de pression	Les nanotubes ont une élasticité et une résistance élevées. Un matériau composite contenant des nanotubes pourrait être utilisé dans les carrosseries de voitures qui «rebondiraient» sous un choc, ou des bâtiments qui oscilleraient sans s'écrouler lors d'un tremblement de terre.	Les nanotubes coûtent encore 10 à 1 000 fois plus cher que les fibres de carbone utilisées dans les composites. En outre, ils sont si fins qu'ils risquent de ne pas rester en place dans la matrice.	0

De haut en bas : C. Lieber, T. Ruckes et al., © 2000 AAAS, C. Mirkin, © 1999 AAAS, J. Cunniff et A. Zettl, Rüdiger R. Meyer et al., C. Lieber, MinFeng Yu et al.