



www.industrie-technologies.com
EN COUVERTURE

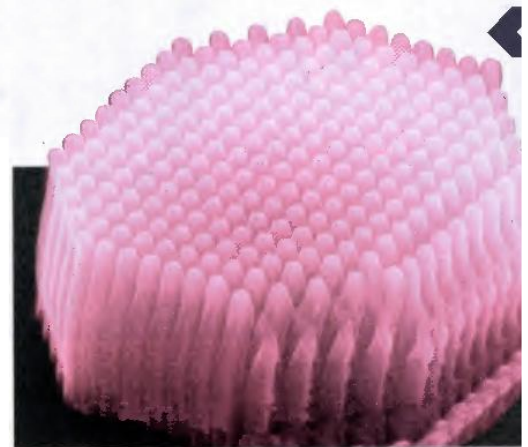
Plus d'infos sur le microscope à effet tunnel ? Retrouvez en ligne une vidéo explicative.



Bienvenue dans la nanoconstruction

1959
Le prix Nobel de Physique Richard Feynman suggère qu'il est possible d'utiliser les atomes comme des briques de construction.

Des matériaux toujours plus étonnants, des médicaments intelligents, des composants électroniques encore plus performants... c'est pour demain, ou presque. Dans les laboratoires, les chercheurs maîtrisent de mieux en mieux l'assemblage de nanosystèmes molécule par molécule, voire atome par atome. Le point sur ces techniques et leurs fabuleuses promesses.



La course à l'infiniment petit est lancée ! Et les technologies de demain promettent de passionnantes découvertes. Dans les laboratoires, on fabrique les technologies du futur en assemblant la matière. Chimistes, biologistes et physiciens se sont lancés dans une incroyable exploration de l'invisible. Ces architectes de la matière assemblent, comme des briques, atomes ou molécules pour créer des nanocomposants. Le but : faire toujours plus infime et encore plus élaboré. Du top-down, c'est-à-dire broyer ou graver des matériaux pour obtenir des nanostructures, on entre dans l'ère du bottom-up : assembler l'infiniment petit pour fabriquer du plus grand. La démarche top down, c'est toute l'industrie actuelle,

mais si on veut faire plus petit et plus complexe, il faut changer d'approche », explique Laurent Levy, responsable du pôle C'Nano Rhône Alpes. Il faudra partir de l'infiniment petit, et bâtir à la manière d'un jeu de construction les nanostructures désirées. En route pour l'industrialisation ?

Les prémices du bottom-up, on les doit à un industriel : IBM. Au début des années 1980, le laboratoire zurichois de la firme isole des atomes grâce à un microscope à effet tunnel. Une très fine pointe métallique permet « d'écrire à la main » et avec seulement 35 atomes, le nom de l'entreprise. En effet, les débuts de l'assemblage de la matière, c'est surtout l'apparition de microscopes capables de visualiser le minuscule. Les microscopes à effet tun-

nel ou à force atomique par exemple rendent possible l'observation des atomes, mais aussi leurs déplacements en les poussant ou les décollant de la surface.

» LE BOTTOM-UP : OÙ EN EST-ON ?

Même si la fabrication par assemblage est née, il y a maintenant quelques dizaines d'années, les premiers résultats industrialisables pointent juste le bout de leur nez. « Ça se développe doucement, constate Laurent Levy, qui après un appel à projet « bottom-up » en juin dernier a reçu « six dossiers ». Même constat, pour Thierry Gacoïn, chercheur à l'École polytechnique : « La recherche sur les techniques d'assemblage s'amplifie. Le gros avantage de cette démarche est la capacité à fabriquer des objets de quelques nanomètres seulement. De telles tailles ne sont pas accessibles par la démarche top-down traditionnelle », explique-t-il. En contrepartie d'une taille plus petite, « les organisations de molécules étant spontanées, le contrôle de l'ordre d'assemblage n'est pas forcément aisé », note Thierry Gacoïn. « Il reste encore beaucoup de recherche pour apprendre à jouer sur tous les paramètres permettant de maîtriser l'organisation des molécules sur un support », explique le chercheur.

Et dans les laboratoires justement, on cherche, et dans toutes les disciplines.

» Top-down et bottom-up : de quoi parle-t-on ?

Pour manipuler l'infiniment petit et créer ce qu'on appelle des nanosystèmes, deux approches existent.

► **La première**, bien maîtrisée depuis quelques années, est le « top-down », c'est-à-dire la voie descendante : on part d'une plaque que l'on grave pour obtenir par exemple des circuits électroniques avec des transistors à l'échelle nano.

► **Autre approche, autre technique**, qui prend son essor : le « bottom-up » (voie ascendante). Ici, fi des sculpteurs de la matière, on construit le nanosystème en assemblant des particules qui peuvent être des molécules, voire... des atomes.

D.R.



LES DEUX ARCHITECTES DES NANOSYSTÈMES

Maîtriser les techniques d'auto-assemblage permet de construire des nanostructures étonnantes comme cette «forêt» de nanopiliers de silice.

Chimistes, biologistes ou physiciens, les nanosciences sont transversales. «Il existe même deux types de communautés distinctes dans la recherche en nanosciences, constate Thierry Gacoin. D'un côté, les physiciens qui s'intéressent aux applications en électronique et en matériaux. De l'autre, les biologistes qui sont à la recherche de nouveaux traitements médicaux». Si l'approche est la même – lier des molécules pour fabriquer des nanostructures – les méthodes ne sont pas identiques. Tour d'horizon de cette manipulation de l'infiniment petit.

LES PHYSICIENS FONT CROÎTRE LA MATIÈRE

Tricoter la matière pour créer de nouveaux matériaux aux propriétés étonnantes: c'est le travail des physiciens. En plaçant des atomes et des molécules dans des conditions particulières, ils les obligent à s'auto-assembler suivant des schémas définis. «On utilise des molécules qui se reconnaissent», explique Louis Porte, chercheur en nanoconstruction à l'Institut matériaux, microélectronique, nanosciences de Provence (IM2NP). «L'important c'est de travailler dans un milieu le plus propre possible afin de contrôler au maximum l'auto-assemblage», décrit le chercheur. L'une des solutions adaptées est l'épitaxie par jet moléculaire: dans une enceinte chauffée à quelques centaines de degrés, l'ultra-vide est maintenu – pour éviter toute pollution de surface – en augmentant la pression, jusqu'à $5 \cdot 10^{11}$ mbar. Les chercheurs envoient ensuite sur la plaque de base des jets de molécules ou d'atomes capables de s'y fixer. Des nanocouches, de cuivre par exemple, sont ainsi obtenues. Le suivi de la croissance de ce film peut être contrôlé en temps réel grâce à des techniques de microscopie. «Tous

D.R.



Le physicien Louis Porte

« Nous fabriquons des réseaux d'atomes résistants à 400 °C »



Louis Porte, responsable de l'équipe nanostructuration de l'Institut matériaux, microélectronique, nanosciences de Provence.

L'équipe de Louis Porte utilise les capacités des molécules à s'organiser spontanément pour créer des structures de dimensions nanométriques. En travaillant sous ultravide et en vaporisant des molécules sur un support préparé, ces dernières viennent s'y greffer. «On arrive déjà à des structures en créant des liaisons hydrogènes par exemple. Malheureusement, ce genre de réseau est très fragile, et ne résiste pas à des températures de plus de 150 °C», explique le chercheur. Seule solution: travailler avec des liaisons entre molécules plus solides, dites covalentes. «Nous avons déposé deux brevets sur le sujet et mis au point une méthode contrôlée et reproductible qui permet de réaliser des structures résistantes à plus de 400 °C». Les applications possibles de ces structures visent l'électronique moléculaire, «par exemple, des plots magnétiques pour l'enregistrement des données.»

Le biologiste Jean-Pierre Cloarec

« Nous pourrions réaliser des traceurs pour détecter les cancers »



Jean-Pierre Cloarec, chercheur au sein de l'équipe chimie et nanobiotechnologie de l'Institut des nanotechnologies de Lyon.

Dans le laboratoire de Jean-Pierre Cloarec, même si les applications sont biologiques, le travail mobilise une équipe pluridisciplinaire, alliant chimistes et biologistes. Le but: coupler les approches micro et nanotechnologiques, la biologie moléculaire et la chimie de fonctionnalisation de surface afin de mettre au point des nouveaux types de diagnostics médicaux. Ainsi, comme le montre l'infographie de ce dossier, il est possible de réaliser des tests sanguins plus rapides et plus sensibles; mais également construire des biomarqueurs de cancers. «Le seul problème avec ces types de marqueurs – que l'on injecte dans le corps du patient – c'est de gérer leur avenir. Que deviennent-ils? C'est une question à laquelle nous devons répondre.», explique Jean-Pierre Cloarec, chercheur de l'Institut.



» À l'assaut de la contrefaçon

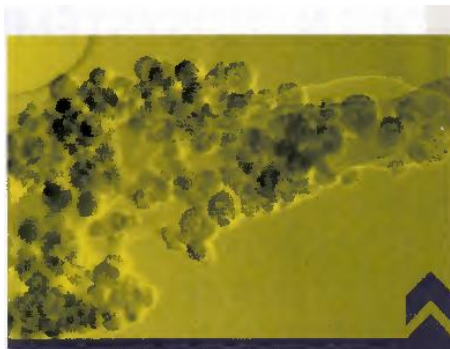
► Reconnaître un tissu « authentique » de son imitation ?

Ce n'est pas forcément toujours évident. Sauf si bien sûr on donne aux matériaux une « nano-empreinte » en y insérant des nanoparticules. La lutte contre la contrefaçon est l'une des applications des nanobilles métalliques de la société lyonnaise Nano-H.

« La composition chimique d'un produit est sa carte d'identité.

En disséminant nos nanoparticules dans un tissu, par exemple, nous modifions cette composition et nous sommes ensuite capables

de l'authentifier », explique Cédric Louis, président de la start-up. Issus de la recherche universitaire, les quatre fondateurs décrochent en 2004 le concours national d'aide à la création d'entreprises de technologies innovantes du ministère de la Recherche. Ils ont développé une véritable maîtrise de la nanoconstruction avec trois brevets sur leur procédé. « Nous avons progressé sur beaucoup de petites choses – au final très importantes – comme la stabilité des suspensions à haute concentration de nanoparticules, se félicite Cédric Louis. »



Des nanoparticules insérées dans un tissu servent à authentifier une marque de vêtement.



Les types de liaisons entre les composants sont possibles, explique Louis Porte. Des liaisons faibles – facilement réversibles – déjà connues aux liaisons covalentes capables de résister par la suite à des températures d'environ 400 °C. C'est sur ces dernières que nous portons nos efforts. »

Grâce à ces techniques, des chercheurs s'affairent à construire des matériaux aux propriétés étonnantes : hydrophobes, anti-reflets... mais également des objets physiques comme des capteurs ou des oscillateurs mécaniques. Par exemple, pour fabriquer une boîte quantique (un nanocrystal semi-conducteur, utilisable dans les transistors ou les diodes lasers), les scientifiques jouent sur les capacités d'assemblages des atomes. « Simplement en faisant croître sur un matériau un autre matériau de maille atomique différente », explique Laurent Levy. En clair, la taille des « briques » élémentaires de chaque matériau



n'est pas identique. Les éléments vont au départ croître l'un sur l'autre «et, à un moment donné, les forces de liaisons vont être trop disparates. Au lieu d'avoir une croissance uniforme, il va se former ce qu'on appelle une boîte quantique», décrit le chercheur.

Reste à apprendre à contrôler dans le détail toutes ces techniques. «Pour l'instant, leur maîtrise reste inférieure à celle que l'on a pour la lithographie par exemple. Du coup, les résultats peuvent être un peu moins propres», éclaire Thierry Gacoin. Mais on fabrique des structures vraiment plus petites, de l'ordre du nanomètre contre quelques dizaines de nanomètres avec un procédé top-down.»

DES MÉDICAMENTS INTELLIGENTS

Et du côté des laboratoires de biologie? Même principe, on assemble la matière élément par élément. Mais ici place à l'ADN, aux molécules fluorescences ou aux nanocapsules. «Il nous est maintenant possible de fabriquer des nanoparticules fluorescences qui savent reconnaître les cellules tumorales, s'y fixer, et permettre de les détecter, explique Marie Trévisan, chercheuse à l'Institut des nanotechnologies de Lyon. «En combinant, par exemple, des matériaux biocompatibles comme l'or à des molécules fluorescentes». Pour fabriquer ces nanoparticules, c'est tout le savoir-faire des chimistes qui est mis à contribution: «c'est de la chimie en solution: des nanoparticules d'or sont greffées sur une coquille de silice grâce à des liaisons covalentes. Par-dessus, on vient ajouter de la fluorescence», poursuit la scientifique. «Dans ces démarches, c'est toute la science de l'architecture moléculaire qui s'exprime, ajoute Laurent Levy. En théorie, il n'existe aucune limite, on peut greffer autant de molécules que l'on souhaite. C'est de la chimie intelligente. Cela va permettre de fabriquer des médicaments – transportés dans l'organisme par des nanocapsules – qui ne seront délivrés qu'aux alentours des tumeurs pour un traitement très ciblé de la maladie», s'enthousiasme Laurent Levy. ✕

» ANNE-KATELL MOUSSET
akmousset@industrie-technologies.com

» DEUX START-UP EN VEDETTE

FLUOPTICS •

La jeune société grenobloise créée en 2009 propose un système de traceurs fluorescents ciblant spécifiquement les tumeurs et un système d'imagerie optique. Cet appareillage peut être utilisé en bloc opératoire et permet donc au chirurgien de retirer avec précisions toutes les cellules cancéreuses. En 2010 la start-up entame la phase finale de validation des tests précliniques.

www.fluoptics.com

IMMUNID TECHNOLOGIES •

Depuis 2005 la société développe des outils de diagnostic permettant de mesurer l'efficacité des molécules thérapeutiques ou encore le dysfonctionnement du système immunitaire. La société est membre du pôle de compétitivité LyonBiopôle.

www.immunid.com