

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 126 (2000)
Heft: 21

Artikel: L'enjeu des nanotechnologies
Autor: Kaestli, Françoise
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-81528>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 23.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

L'enjeu des nanotechnologies

(NOUVELLES TECHNOLOGIES)

Les nanotechnologies ne sont-elles qu'une nouvelle étape dans la course aux records de miniaturisation -plus petit, plus rapide, moins cher -, ou laissent-elles augurer de changements fondamentaux dans nos méthodes de production?

La publicité soudaine accordée à des produits commerciaux minuscules, puces électroniques qui deviennent invisibles ou robots dignes d'œuvrer dans une fourmilière, rejaillit aussi sur les scientifiques qui depuis longtemps s'efforcent de comprendre les phénomènes étranges qui se produisent au cœur de la matière. Depuis une dizaine d'années déjà, grâce au microscope à effet tunnel ou à force atomique, physiciens, chimistes et autres artistes de l'infiniment petit taquinent l'atome, voire le déplacent pour le besoin de nouvelles structures qu'ils tentent de créer. Il y a pourtant loin de leur travail expérimental à des réalisations industrielles de taille nanométrique, même si quelques percées ont été réalisées. En microélectronique et micro-informatique, on élabore déjà des structures de quelques centaines de nanomètres de résolution, une précision atteinte avec des techniques de fabrication classiques poussées à leurs limites. La photolithographie à haute résolution, par exemple, permet de graver des structures de quelques dixièmes de microns, mais elle n'atteindra jamais une précision de l'ordre de l'atome ou de la molécule. Pour ce faire, de nouveaux procédés doivent être inventés et c'est à quoi tendent les nanotechnologies, définies par certains comme l'ensemble des théories, des

techniques et des mécanismes qui visent à manipuler ou à fabriquer des objets de taille comparable à celle des composants élémentaires de la matière. Quant aux réalisations qui existent déjà, il serait plus exact de parler de microsystèmes ou de micro-mécanique, car elles atteignent des dimensions de plusieurs micromètres pour les plus fines et des produits commerciaux de dimension inférieure ne sont pas attendus avant plusieurs décennies.

Un monde encore insaisissable

Le monde nanométrique se caractérise par le fait qu'il ne peut être directement appréhendé par les sens humains. Et en dessous du millimètre, il devient difficile pour tout un chacun de se forger une référence dimensionnelle: pour tâter du micron, il faudrait couper un cheveu en ... trente. Encore plus bas dans l'échelle des grandeurs, d'autres lois que celles du monde macroscopique s'imposent: ce sont celles de la mécanique quantique. A la gravité, omniprésente à notre échelle, se substituent des forces de frottement ou des forces inter-atomiques; des nanostructures magnétiques peuvent ainsi être construites à partir de matériaux non magnétiques lorsqu'ils sont massifs, de même qu'une activité catalytique peut émerger d'éléments aussi inertes que l'or. Ces propriétés originales de la matière, qui dépendent de la taille de la structure créée et de sa forme, ouvrent de vastes champs d'investigation aux chercheurs dont l'objectif est de construire des matériaux dotés de fonctions précises.

N'est-il pas fascinant de penser que, selon l'arrangement qu'on leur confère, des atomes de carbone auront une destinée très différente: disposés de façon ordonnée, ils devien-

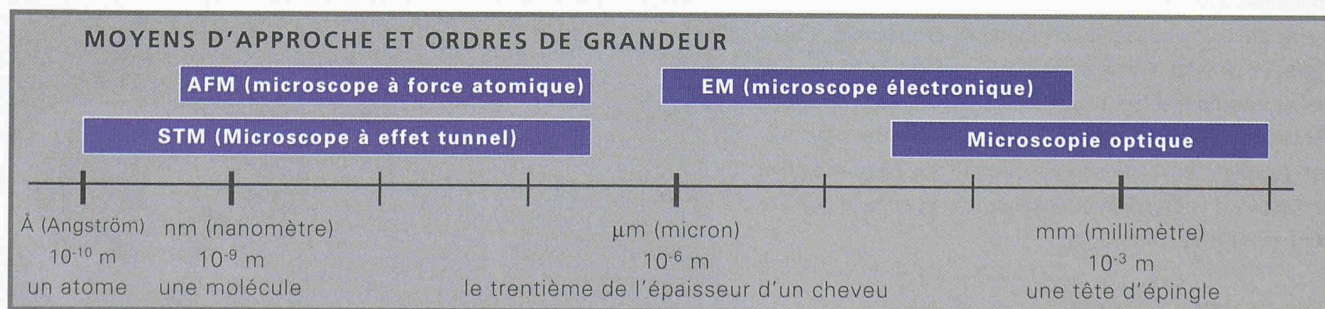


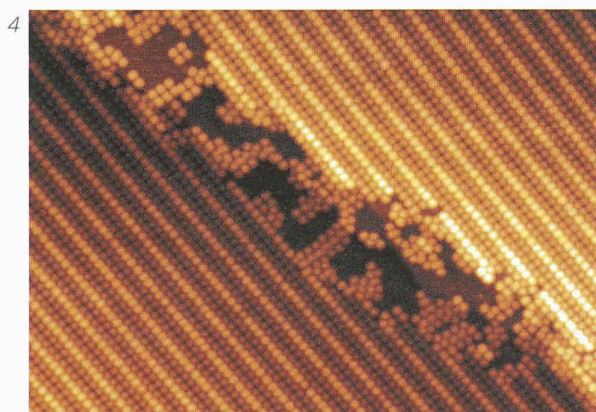
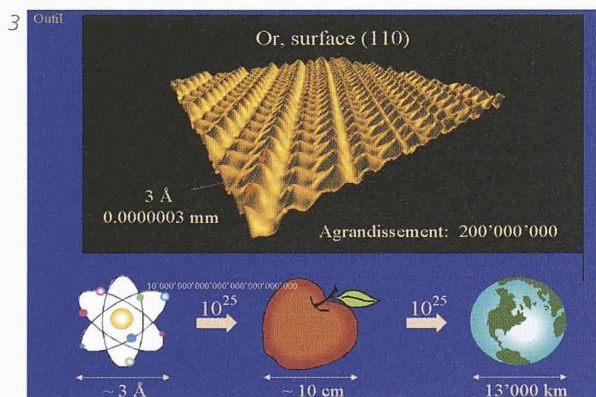
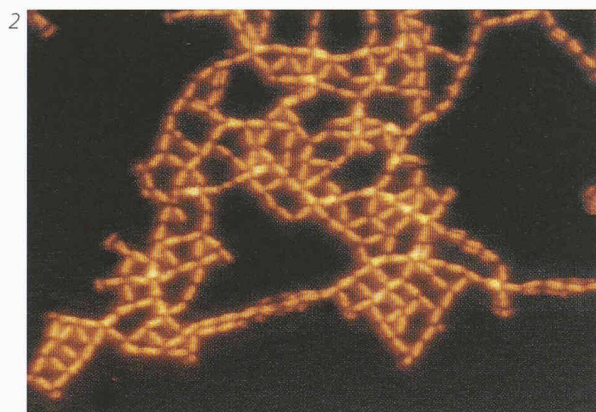
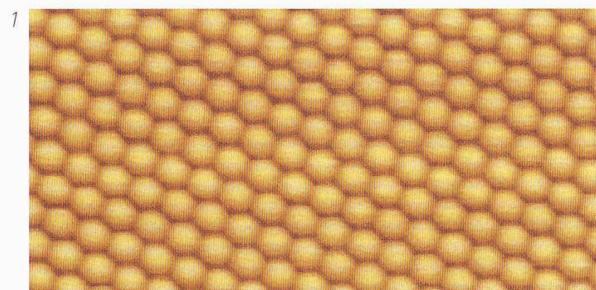
Fig. 1 : Visualisation directe des atomes à la surface d'un cristal d'argent; la distance entre deux atomes correspond à 0,3 nanomètre.

Fig. 2 : Des molécules organiques d'une longueur de 1,2 nanomètre s'organisent en réseau à la surface de l'argent.

Fig. 3 : L'image montre les canaux atomiques, d'une périodicité de 0,8 nanomètre que l'on trouve sur la surface d'or.

Fig. 4 : Les « buckyballs » (C60) forment une grille à la surface du palladium (Périodicité de la grille : 3 nanomètres, distance entre les molécules : 1 nanomètre).

(Photos obtenues avec un microscope à effet tunnel, à l'Institut de physique expérimentale, par le groupe « Physique de surface et nanostructures », EPFL)



dront diamant, sous forme amorphe et mélangés à d'autres éléments, ils calculeront sur une puce d'ordinateur. Cette comparaison n'est qu'une grossière analogie des multiples possibilités offertes par les assemblages nanométriques. Les enjeux autour de ces nouvelles structures sont immenses et de nombreux groupes de recherche s'attellent à en développer, faisant du même coup évoluer les outils encore rudimentaires disponibles pour manipuler atomes et molécules (tableau 1). Dans le futur, de tels outils devraient permettre d'arranger les atomes dans la configuration souhaitée, de façon simple et bon marché.

Perspectives pour les techniques de fabrication

Les nanotechnologies suscitent une ambition autre que celle de la miniaturisation: elles visent à développer des systèmes productifs exploitant au mieux les propriétés originales du monde atomique. De nombreuses recherches s'y attellent (voir l'encadré à la page suivante). Dans le secteur de la microélectronique, les structures élaborées (circuits, capteurs, etc.) le sont généralement à partir de masques reproduits par procédés optiques sur une surface appropriée. A l'échelle nanoscopique, ce transfert devient problématique, limité à la fois par la trop grande longueur d'onde de la lumière et par la densité des informations à inscrire qui rendent la fabrication compliquée voire impossible. D'autres voies sont explorées. Il existe des méthodes de fabrication dites « locales », où des faisceaux d'électrons ou d'ions tracent un à un des circuits de quelques nanomètres. Pour obtenir des vitesses d'écriture intéressantes, il faudrait multiplier ces faisceaux, les miniaturiser et les faire travailler collectivement (on parle de recherche sur les microcolonnes chez IBM). Une autre piste pour la réplication de structure en cours d'exploration est celle du tampon encreur (*micro-contactprinting*) qui consiste à mouler un polymère d'une dizaine de nanomètres et à l'enduire d'une encre photorésistante qui serait ainsi déposée en monocouche moléculaire. Plus spéculatives encore, certaines techniques misent sur l'autofabrication. Par analogie avec la chimie, il s'agirait de faire croître des réseaux de molécules bidimensionnels sur un substrat approprié. C'est là le défi ultime de la nanotechnologie : que les choses se fabriquent d'elles-mêmes.

Comment les nanotechnologies vont changer notre vie

Au niveau du nanomètre, les différences entre sciences s'estompent, obligeant les chercheurs de plusieurs disciplines à une étroite collaboration. Aussi, les systèmes qui résulte-

PROGRAMMES DE RECHERCHE EN NANOTECHNOLOGIES

Les nanotechnologies à l'EPFL

L'EPFL possède une tradition remarquable en nanosciences et nanotechnologies. Dans les années septante déjà, le département de physique a lancé un programme de recherche sur les particules fines et les agrégats. De nos jours, cinq départements - chimie, électricité, matériaux, microtechnique et physique - alliés au centre interdisciplinaire de microscopie électronique sont largement impliqués dans l'exploration du nanomonde. Ces recherches sont complétées par de nombreux programmes de collaboration avec d'autres institutions et des partenaires industriels. Une grande variété de thèmes est abordée, souvent par plusieurs laboratoires conjointement: approfondissement des connaissances optiques, magnétiques, électriques des nanostructures, fabrication de nanodispositifs et techniques de déposition notamment.

Les nanotechnologies en Suisse

Le projet MINAST (1996-1999), dédié aux micro et nanosystèmes, a donné une impulsion importante à la recherche, tant dans les écoles qu'au sein des entreprises. Avec 51 brevets ou demandes de brevets déposés, 41 produits commerciaux conçus, 84 entreprises impliquées et 64 projets lancés, cette initiative a atteint son objectif de renforcer la recherche appliquée dans le domaine des microsystèmes, de former de jeunes chercheurs à ces disciplines de pointe, d'encourager la collaboration entre partenaires académiques et industriels et de maintenir une présence suisse dans un contexte international très compétitif, dont les retombées économiques sont prometteuses.

Succédant au projet MINAST, le projet TOP NANO 21 prend une autre orientation. En effet, le Conseil des EPF, conjointement avec la Commission pour la Technologie et l'Innovation, soutiendront prioritairement la création de nouvelles synergies entre technologies porteuses dans le domaine du nanomètre: il s'agira d'allier biotechnologie et micro-électronique ou micromécanique et chimie, par exemple, et de remplacer des techniques aujourd'hui solidement établies, mais butant sur leurs limites scientifiques, économiques et écologiques. Quelques exemples de coopération transdisciplinaire peuvent être cités, dont certains ont démarré sous l'égide du programme précédent. Ainsi, la recherche sur le nez artificiel (voir p. 418) combine micromécanique, chimie, micro-électronique et réseaux neuronaux. Quant aux systèmes de diffusion médicamenteuse, ils mettent en œuvre la micromécanique, la micro-électronique, les sciences des matériaux, la pharmacologie et la médecine, ainsi qu'une solide connaissance fondamentale des nanoparticules. Enfin, les moteurs à combustion miniaturisés et les cellules à combustible qui sont destinés à remplacer les batteries dans les téléphones et les ordinateurs portables se conçoivent grâce à l'alliance de la technique des fluides, de la mécanique et de la micromécanique.

En Europe

Un projet européen COST, intitulé «Matériaux structurés», vise à développer des assemblages de matériaux originaux à l'échelle nanométrique, dans l'espoir de générer des propriétés fonctionnelles et structurales nouvelles et uniques. Cette action sera menée au sein d'industries européennes avec le soutien de la recherche fondamentale. Dans l'effervescence des laboratoires, les chercheurs tenteront de répondre aux questions fondamentales que posent ce type de matériaux et leurs comportements à cette échelle: possibilité de maîtriser la composition des échantillons, jusqu'à leurs défauts, moyens de commander leurs gradients de concentration, capacité à contrôler l'architecture de blocs et les interactions entre ceux-ci, etc.

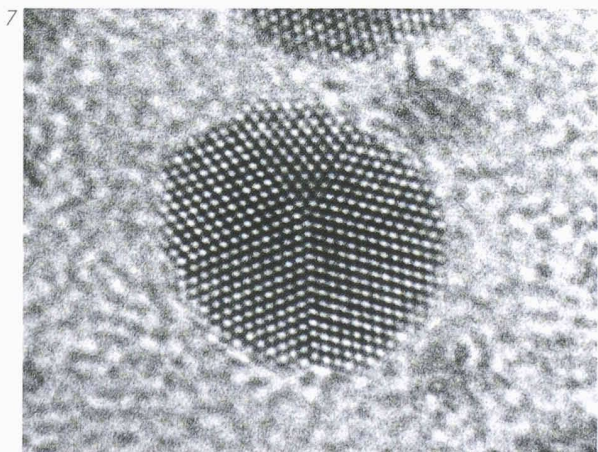
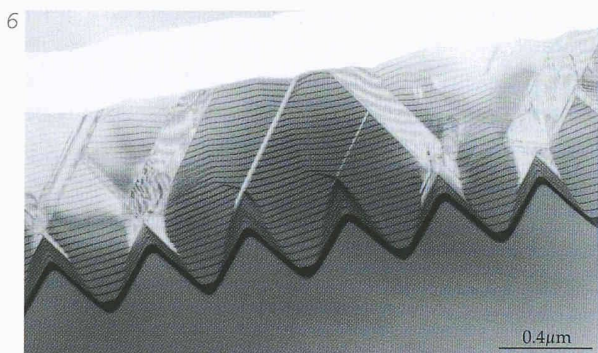
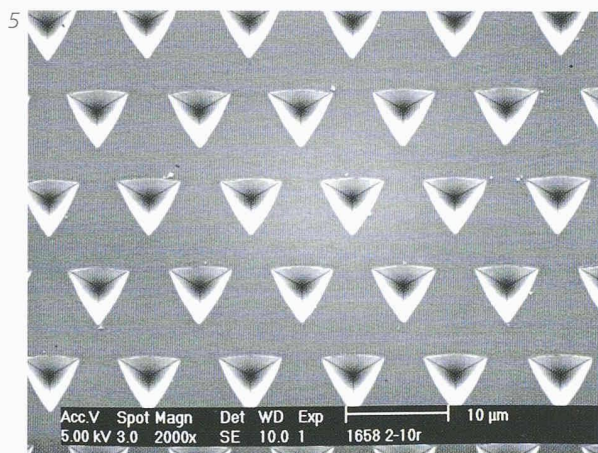
Aujourd'hui, vingt pays européens ont entériné leur participation à l'action COST 523 et plus de cent groupes de recherche participent activement à ce réseau sur les nanomatériaux.

Source : *Polyrama* - Décembre 1999, N°112, «A la conquête du nanomonde», Ed. Service de presse de l'EPFL

Fig. 5 : Cliché de microscopie électronique à balayage représentant une structure périodique de «boîtes quantiques»; une petite région au fond de chaque élément tétraédrique est susceptible de constituer un laser semi-conducteur (Cliché Loubies, IMO, Prof. E. Kapon et CIME)

Fig. 6 : Cliché de microscopie électronique à transmission montrant une coupe au travers d'une structure périodique de fils quantiques réalisée par gravure d'un substrat d'arséniure de gallium (GaAs) et recroissance de couches alternées de AlGaAs et GaAs. Des résidus subsistant après la gravure perturbent la recroissance et induisent la formation de fautes d'empilements obliques dans la partie supérieure de la structure (Cliché P.H. Jouneau et F. Bobard, CIME)

Fig. 7 : Ce cliché de microscopie électronique à transmission à haute résolution représente un nanocrystal d'or déposé sur un film de carbone amorphe d'une épaisseur de 20 nm (chaque point représente une colonne d'atomes). Un «effet de taille» est observé sur ce nanocrystal qui fond, par exemple, à quelque 600°C au lieu des 1064°C de l'or massif.



ront de leurs travaux intégreront-ils de façon spontanée plusieurs domaines techniques: électronique, mécanique, chimie et biologie, physique, matériaux, etc. Si les développements nanotechnologiques se sont jusqu'ici principalement concentrés sur de petits systèmes touchant à la sécurité, au contrôle (capteurs), à la santé (mico-instrumentation), l'enjeu du prochain millénaire portera davantage sur des outils de télécommunication, des techniques de stockage et d'affichage plus performantes, mieux intégrées. Avec les baisses de coût de production que fait miroiter la nanotechnologie, des systèmes de contrôle et de sécurité deviendront partie intégrante de notre environnement; ils seront par exemple insérés de façon invisible dans les bâtiments.

En passant d'un mode de production basé sur l'enlèvement de matière (techniques actuelles d'usinage) à une construction, brique par brique, atome par atome du mécanisme à réaliser, l'on rejoint les impératifs liés au développement durable, à la réduction des déchets et à l'utilisation optimale de la matière. Sans compter que la miniaturisation des outils de production devrait également contribuer à minimiser l'impact sur l'environnement.

L'enjeu de tels systèmes à haute valeur ajoutée est capital pour l'industrie suisse. Il nécessite la collaboration entre partenaires industriels et académiques en vue d'applications rapides, de même qu'une concentration des forces de recherche afin d'atteindre la masse critique nécessaire pour mieux comprendre et exploiter les possibilités de ce monde infinitésimal.

Remerciements

Que les personnes qui m'ont aidée à illustrer cet article, en particulier le professeur Philippe Buffat et M. Johannes Barth, soient vivement remerciées.

Références

DREXLER ERIC K.: «Nanosystems: molecular machinery, manufacturing and computation», John Wiley, New York, 1992
<www.zyvex.com/nano> : une brève introduction aux nanotechnologies et de nombreuses références accessibles par internet