



TA 47A/2003

## **Die Bausteine der Natur in Griffweite gerückt**

**Kurzfassung der TA-SWISS Studie  
«Nanotechnologie in der Medizin»** ▶

## **Les constituants de la nature désormais à portée de main**

**Résumé de l'étude TA-SWISS sur la  
«Nanotechnologie dans la médecine»** ▶

## **Cutting nature's building blocks down to size**

**Abridged version of the TA-SWISS Study  
«Nanotechnology in Medicine»** ▶

Herausgeber – Editeur – Editor:

TA-SWISS

Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung

Centre d'évaluation des choix technologiques

Centre for Technology Assessment

Bern, 2003

Redaktion Kurzfassung – Rédaction du résumé – Résumé written by:

Dr. Lucienne Rey, Bern und Erfurt

Traduction: Viviane Mauley, MVM Communication, Chesalles-sur-Moudon

Translation: Gary Williamson, Pirbright, England

Diese Kurzfassung beruht auf der TA-SWISS Studie – Le résumé se base sur l'étude TA-SWISS – The résumé is based on the TA-SWISS study:

«Nanotechnologie in der Medizin»

Der TA-SWISS Bericht wurde von folgenden **Autorinnen und Autoren** verfasst –

**Auteurs** du rapport TA-SWISS – **Authors** of the TA-SWISS report:

Walter Baumgartner, Projektleiter, Basics AG Zürich

Barbara Jäckli

Bernhard Schmithüsen

Felix Weber

Cosima Borrer

Claudia Bucher

Marietta Hausmann

Betreuung des TA-SWISS Berichtes – Supervision du rapport TA-SWISS –

**Supervisor of the TA-SWISS report:**

Marcel Indermühle, Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung, Bern

Der vollständige Bericht kann kostenlos bezogen werden beim:

Le rapport complet peut être obtenu gratuitement à l'adresse suivante:

Copies of the report can be obtained free of charge from:



Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung

Birkenweg 61, CH-3003 Bern

Tel. +41 (0) 31 322 99 63

Fax +41 (0) 31 323 36 59

E-Mail ta@swtr.admin.ch

Internet www.ta-swiss.ch

www.publiforum.ch

## TA-SWISS Das Zentrum für Technologiefolgen- Abschätzung

Neue Technologien bieten oftmals entscheidende Verbesserungen für die Lebensqualität. Zugleich bergen sie mitunter aber auch neuartige Risiken, deren Folgen sich nicht immer von vornherein absehen lassen. Das Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung untersucht die **Chancen und Risiken** neuer technologischer Entwicklungen in den Bereichen «Biotechnologie und Medizin», «Informationsgesellschaft» und «Mobile Gesellschaft». Seine **Studien** richten sich sowohl an die Entscheidungstragenden in Politik und Wirtschaft als auch an die breite Öffentlichkeit. Ausserdem fördert TA-SWISS den Informations- und Meinungsaustausch zwischen Fachleuten aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und der breiten Bevölkerung durch **Mitwirkungsverfahren** (zum Beispiel PubliForen und publifocus).

Das Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung ist dem Schweizerischen Wissenschafts- und Technologierat angegliedert. Der SWTR berät den Bundesrat in wissenschafts- und technologiepolitischen Belangen.

## TA-SWISS Le Centre d'évaluation des choix technologiques

Souvent susceptibles d'avoir une influence décisive sur la qualité de vie des gens, les nouvelles technologies peuvent en même temps comporter des risques latents qu'il est parfois difficile de percevoir d'emblée. Le Centre d'évaluation des choix technologiques s'intéresse aux **avantages et aux inconvénients** potentiels des nouvelles technologies qui se développent dans le domaine des sciences du vivant et santé, de la société de l'information et de la mobilité. Ses **études** s'adressent tant aux décideurs du monde politique et économique qu'à l'opinion publique. Il s'attache, en outre, à favoriser par des **méthodes dites participatives**, telles que les PubliForums et publifocus, l'échange d'informations et d'opinions entre les spécialistes du monde scientifique, économique et politique et la population.

Le Centre d'évaluation des choix technologiques est rattaché au Conseil suisse de la science et de la technologie, qui a pour mission de faire des recommandations au Conseil fédéral en matière de politique scientifique et technologique.

## TA-SWISS The Centre for Technology Assessment

New technology often leads to decisive improvements in the quality of our lives. At the same time, however, it involves new types of risks whose consequences are not always predictable. The Centre for Technology Assessment examines the potential **advantages and risks** of new technological developments in the fields of life sciences and health, information society and mobility. The **studies** carried out by the Centre are aimed at the decisionmaking bodies in politics and the economy, as well as at the general public. In addition, TA-SWISS promotes the exchange of information and opinions between specialists in science, economics and politics and the public at large through **participatory processes**, e.g. PubliForums and publifocus.

The Centre for Technology Assessment is attached to the Swiss Science and Technology Council, which advises the Federal Council on scientific and technological issues.

## Les constituants de la nature désormais à portée de main

### Résumé de l'étude TA-SWISS sur la «Nanotechnologie dans la médecine»



Photo: Bambouseraie du Prafrance, Generarues

**La nanotechnologie autorise des interventions sur le vivant antérieurement hors de la portée humaine.**

À l'exemple de la nature : surfaces autonettoyantes de la fleur de lotus.

#### La conquête de l'incommensurable

**L'homme explore déjà l'immensité sans fin de l'univers. Depuis peu, il se propose aussi de maîtriser d'infimes structures d'ordre atomique.**

La Suisse est très présente dans l'infinité. Exemple notoire : le microscope à effet tunnel (voir encadré p. 14) a été conçu, par Gert Binnig et Heinrich Rohrer, au laboratoire de recherche IBM de Rüschlikon (ZH) en 1981. Recourant à une technique totalement nouvelle, cet instrument fut le premier à fournir un accès «utilisable» aux structures moléculaires et atomiques et valut à ses deux inventeurs le prix Nobel de physique 1986.

Les microscopes employés actuellement dans les laboratoires médicaux sont dotés de lentilles procurant un bon grossissement de l'ordre de 1000 X. Ce qui est suffisant pour l'analyse des prélèvements sanguins ne l'est toutefois de loin pas pour descendre jusqu'au niveau des structures moléculaires, voire atomiques de la matière. Or c'est précisément ce à quoi prétendent les «nanosciences» : travailler avec des structures de l'ordre du milliardième de millimètre (appelé nanomètre, d'où leur nom). A titre comparatif, l'épaisseur d'un cheveu est d'environ 50 000 nanomètres, celle d'une feuille de papier d'aluminium ménager de 10 000 et celle de

l'enveloppe d'une bulle de savon de 750, alors que le noyau d'un atome de fer n'en mesure plus que 0,25.

Les scientifiques du domaine ne se satisfont pas pour autant de la simple observation du monde des molécules et des atomes. Leur ambition est de mettre au point des nanotechniques leur permettant d'atteindre directement et de modifier des éléments de l'arrangement atomique local. En d'autres termes, ils aspirent – à la différence de la chimie qui, dans sa pratique actuelle de la synthèse de nouvelles substances, provoque des «effets globaux» – à avoir un accès ciblé à des molécules spécifiques ou à des atomes.

#### Une continuation logique

Des peintures antisalissures ou des cellules solaires flexibles sous forme de feuilles qui placées sur les voitures en assureraient une utilisation ménageant l'environnement sont le genre de réalisations potentielles qui stimulent les scientifiques s'intéressant aux nanosciences. Ils tirent souvent leurs idées de la nature elle-même. La première citée leur est venue du lotus sacré, dont les feuilles disposent d'un exceptionnel mécanisme d'autonettoyage : les cristalloïdes cireux qui les recouvrent transforment la pluie en perles d'eau qui glissent et tombent en emportant les saletés avec elles.

Mais les nanosciences ne font pas que faire miroiter des révolutions techniques dépassant l'imagination ; elles permettent aussi de faire progresser encore des développements scientifiques se poursuivant depuis des siècles. Spécialistes des nanosciences d'aujourd'hui et savants d'autrefois ont en commun le désir de repousser toujours plus loin les limites du monde connu, de découvrir de nouvelles planètes et galaxies à travers leurs télescopes ou de nouvelles formes de vie sous leurs microscopes.

Ces exemples montrent à l'évidence qu'il faut plutôt parler de nanosciences, au pluriel, que de la nanoscience. Car il ne s'agit pas d'une branche particulière du savoir humain, mais bien de «nanoramifications» de disciplines très diverses et qui se proposent chacune d'atteindre des buts s'inscrivant dans les objectifs de ces dernières. Autrement dit, les spécialistes des techniques de revêtement attendent du nanogénie autant de percées révolutionnaires dans leur domaine que ceux de la médecine ou de l'électronique dans leur.

### La médecine en point de mire

Procéder à l'évaluation exhaustive des retombées d'une science pluridisciplinaire dans tous ses domaines d'incidence dépasserait largement l'envergure d'une analyse fixée sur la réalité du moment (et, qui plus est, effectuée avec des moyens modestes). De ce fait, l'étude sur la «Nanotechnologie dans la médecine» de TA-SWISS se contente de mettre en exergue les conséquences que la progression de la nanodimension pourrait avoir en thérapeutique.

Les applications médicales des nanosciences s'imposent en tant qu'objets d'observation pour plus d'une raison. Premièrement, tirillée entre, d'un côté, le souhait de traitements à la fois plus efficaces et moins agressifs et, de l'autre côté, la crainte des effets secondaires et des coûts en augmentation constante de la santé, l'opinion publique prête une attention toute particulière aux progrès de l'art médical. Secondement, en médecine, la nanotechnologie se met dans la peau de l'homme aux deux sens du terme. En effet, ses applications thérapeutiques – il n'est que de songer aux implants – le placeront un jour en contact singulièrement intime avec elle. De plus, ces nouvelles techniques autorisent des interventions sur le vivant jusqu'à présent hors de la portée humaine et donc réservées à la seule nature. Or le potentiel de révolution des microscopiques éléments et structures nanotechnologiques est d'autant plus énorme qu'ils sont susceptibles de s'organiser et de se reproduire eux-mêmes – et donc de mimer les facultés essentielles du vivant. Il s'agit dès lors d'évaluer avec le plus grand soin les avantages et les risques des nanosciences en tant que nouvelle branche de la biomédecine.

### En guignant le jeu des spécialistes

Lorsque leur destinée les rendait perplexes, les Grecs de l'Antiquité allaient consulter l'oracle d'Apollon à Delphes, où la pythie leur fournissait des réponses sous forme d'énigmes que seul l'avenir leur permettait d'élucider. La «méthode Delphi» [nom grec de ce lieu de divination d'antan, ndlt] est toujours usitée. On s'en sert notamment pour mieux cerner les innovations lorsque leurs potentialités ne font encore que se dessiner et que leurs retombées

### De la vision à la visualisation

Les microscopes optiques à lentilles multiples atteignent leurs limites avec des structures de l'ordre de 250 nanomètres. Le microscope à effet tunnel, en revanche, fournit des grossissements fiables jusqu'au niveau atomique, inférieur à 1 nanomètre. Il y parvient non pas en «voyant», mais en «visualisant» l'échantillon à l'aide d'une sonde qui le survole en rase-mottes. Pour cela, on applique une tension entre l'échantillon et la sonde et l'on fait en sorte que la surface du premier soit balayée par la pointe de la seconde à quelques diamètres atomiques de distance. Vu les forces, décrites par la mécanique quantique, qui s'exercent à l'échelle subatomique, un «courant tunnel» circule alors entre les deux. Ce courant est maintenu constant par asservissement, c'est-à-dire en ajustant continuellement la position verticale de la sonde qui, de cette façon, reste à distance constante elle aussi de la surface de l'échantillon. L'enregistrement des signaux d'asservissement fournit, par ordinateur interposé, une carte des courbes de niveau des atomes situés en surface et donc une image tridimensionnelle assez fidèle de la superficie de l'échantillon.

Des perfectionnements du microscope à effet tunnel permettent aujourd'hui non seulement de cartographier les fines structures de la matière, mais aussi de manipuler celles-ci de manière ciblée, si bien que cet instrument de visualisation est également devenu un outil d'intervention.

relèvent donc de la spéculation. La différence est que les «oracles» ne sont plus rendus aujourd'hui par des prêtresses en transe, mais par des experts reconnus.

Les auteurs de l'étude de TA-SWISS ont eu recours à un Delphi en trois «tours» qui leur a permis d'interroger en tout plus de 70 spécialistes. Deux questionnaires successifs furent tout d'abord adressés à des chercheurs du domaine des nanosciences dans le but d'appréhender l'évolution probable de la nanotechnologie : à quelles percées faut-il s'attendre en premier ? pour quand ? quelles sont les difficultés techniques qui restent à surmonter ? Consacré aux implications juridiques, sociétales et éthiques de ces nouvelles techniques, un troisième questionnaire servit à recueillir les opinions d'experts et d'exper-

tes du droit, de l'éthique et de l'économie familiarisés avec les principes de la nanotechnologie. Les interrogés étaient en majorité d'origine étrangère : la moitié des États-Unis en ce qui concerne les pronostics techniques lors des deux premiers tours du Delphi et environ les deux tiers d'Allemagne lors du troisième. Les avis ainsi obtenus furent ensuite complétés par des interviews particulières approfondies.

L'évaluation de la nanotechnologie présentée dans les chapitres qui suivent est par conséquent une synthèse des opinions de spécialistes de diverses disciplines scientifiques.

## La boîte à outils nanotechnologiques

**Il est déjà plus ou moins possible de manipuler des couches «nanomincées». La production d'éléments de l'ordre du nanomètre dans deux dimensions (telles les lignes de microcircuit les plus fines) se heurte en revanche à de beaucoup plus gros problèmes. Aussi la construction d'éléments spécifiques de si petite taille dans les trois dimensions s'annonce-t-elle des plus ardues. Or ce sont eux en particulier qui intéressent la médecine.**

Si un horloger prétendait utiliser un bulldozer pour réparer une montre, il se ferait avec raison regarder de travers. En médecine en revanche, il a bien fallu s'accommoder de voir les thérapeutes se servir d'instruments tout aussi inappropriés. La plupart des maladies prennent en effet naissance au niveau des cellules alors qu'une intervention ciblée dans leur structure ou leur fonction est pour ainsi dire impossible aujourd'hui. Les nanosciences pourraient changer les choses.

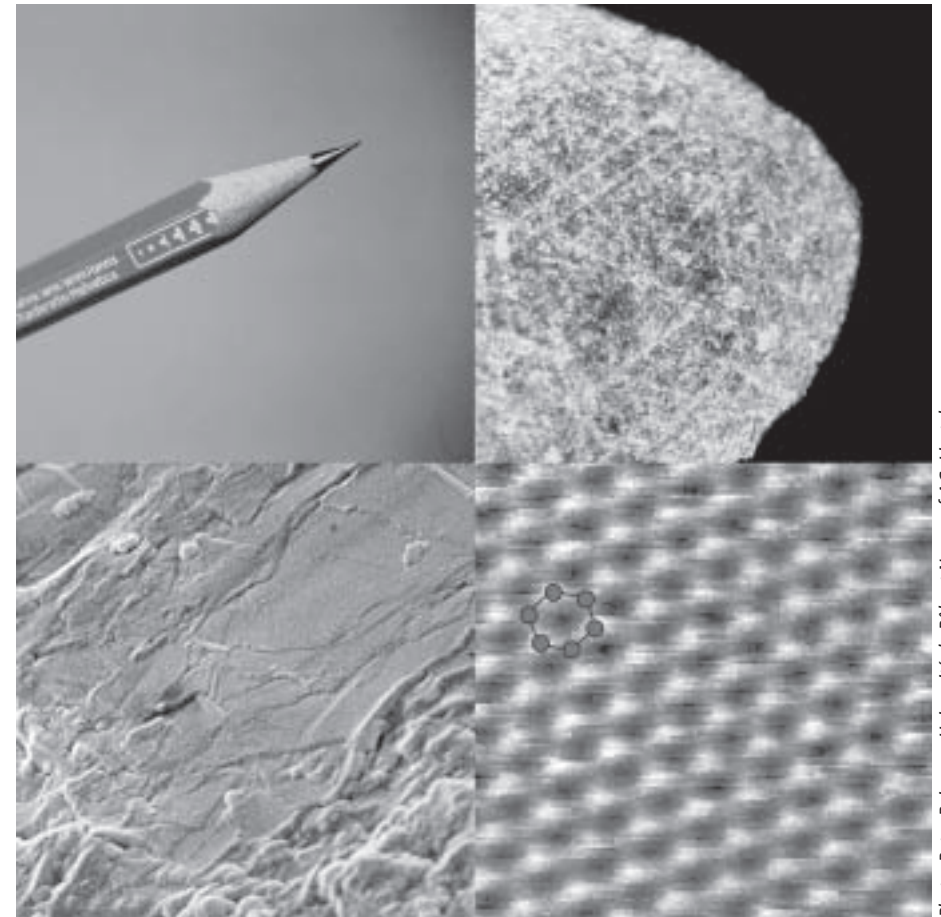
Il y a des chances que la nanotechnologie soit un jour mise à contribution dans la conception de petites particules, de multistruktures, de surfaces, voire de nano-appareils hautement complexes – dotés par exemple d'unités fonctionnelles chimiques, électriques ou mécaniques – destinés au diagnostic ou à la thérapie. Il en résulterait une radicale modification des modes d'examen et des procédés aujourd'hui usuels en médecine. Les auteurs de l'étude de TA-SWISS sur la «Nanotechnologie dans la médecine» ont forgé l'expression «boîte à outils nanotechno-

logiques» pour englober les cinq formes (voir encadré p. 16) que, selon toute probabilité, revêtiront les apports du nanogénie à l'art médical.

## Repérage précis par nanoparticules

Déceler les maladies par des signes avant-coureurs, et donc ne pas avoir à attendre, pour intervenir que leurs symptômes caractéristiques soient manifestes, est à la fois l'objectif et l'ambition de toute médecine moderne. Cela parce que plus une thérapie est entreprise tôt, plus il y a de chances de limiter les dommages. Il existe dès lors une demande pour des procédés permettant de détecter précocement des anticorps, même dans une quantité minime de sang ou d'urine – et la nanotechnologie peut contribuer à la satisfaire. Des marqueurs à base de points quantiques – qui sont des nanocristaux devenant fluorescents sous un rayonnement ultraviolet – peuvent, par exemple, être attachés à certains anticorps et aider à les dépister rapidement dès qu'ils sont présents, même en petit nombre, dans un prélèvement.

L'on attend aussi beaucoup de l'utilisation de nanoparticules dans le traitement du cancer. Si l'on parvient à fixer très précisément de petites particules magnétiques sur une tumeur, il sera possible ensuite de les faire vibrer par le biais d'un champ magnétique extérieur et d'échauffer ainsi le tissu cancéreux. Complétée par des traitements classiques comme l'irradiation et la chimiothérapie, cette élévation de la température locale est censée entraîner la mort des cellules tumorales – d'où l'idée de la provoquer.



Pointe de crayon vue : (1) l'œil nu, (2) par microscope optique, (3) par microscope électronique balayage, (4) par microscope force atomique.

Photo: Peter Reimann, Université de Bâle et Nanosurf AG, Liestal

**Déceler les maladies par des signes avant-coureurs, et donc ne pas avoir à attendre pour intervenir que leurs symptômes caractéristiques soient manifestes, est à la fois l'objectif et l'ambition de toute médecine moderne.**

Des nanoparticules devraient aussi pouvoir servir de minuscules capsules à médicament pour transporter des substances thérapeutiques aux endroits mêmes où elles doivent agir. On poursuit à cet effet des recherches sur les dendrimères, qui sont des molécules sphériques présentant des cavités internes. Pour que ces dendrimères mènent leur «cargaison» à bon port, il faudrait qu'ils soient structurés de manière à isoler leur contenu et à ne le libérer qu'en présence d'une molécule déterminée jouant le rôle de déclencheur. D'autres conceptions prévoient de commander ces nanoconteneurs par champ magnétique.

La mise sur le marché de nanoparticules ne concernera tout d'abord que des cas particuliers. Les spécialistes interrogés à ce sujet dans le cadre du Delphi estimaient qu'elles seront utilisables en oncologie

### Les outils de la nanotechnologie

La nanotechnologie sera mise en oeuvre en médecine sous cinq formes différentes, à savoir comme :

- Éléments à structure simple (particules)
- Ensembles de particules reliées (structures)
- Structures bidimensionnelles étendues (surfaces)
- Structures de haute complexité dotées d'unités mécaniques, chimiques ou électriques actives (nano-appareils ou nanodispositifs)
- Procédures et méthodes

clinique d'ici cinq à dix ans. On se trouve un peu plus près du but en ce qui concerne le

recours à des points quantiques dans le diagnostic. Cette méthode, déjà appliquée dans certains laboratoires, devrait être au point pour une large diffusion entre 2005 et 2008. Enfin, selon ces mêmes experts, l'administration ciblée de médicaments à l'aide de nanoparticules devrait devenir possible aux alentours de 2010 – pour autant toutefois que les espoirs placés dans les dendrimères se vérifient d'ici trois à cinq ans.

### Des nanostructures pour relever des paramètres médicaux

Les microscopes à effet tunnel et à force atomique sont des instruments maniables. Cette haute technologie de laboratoire revêt dans ce cas des dimensions ne dépassant guère celles d'une cartouche de cigarettes. La fine pointe qui capte par balayage la nano-

structure de l'échantillon pourrait, sous une forme appropriée, aussi être utilisée dans le corps comme sonde chimique.

Montés dans des capteurs ultrasensibles, des nanotubes semi-conducteurs sont quant à eux susceptibles de trouver des applications au chevet des malades – notamment parce qu'ils mesurent des variations de la résistance électrique et que celle-ci se modifie lorsque des gaz spécifiques sont émis.

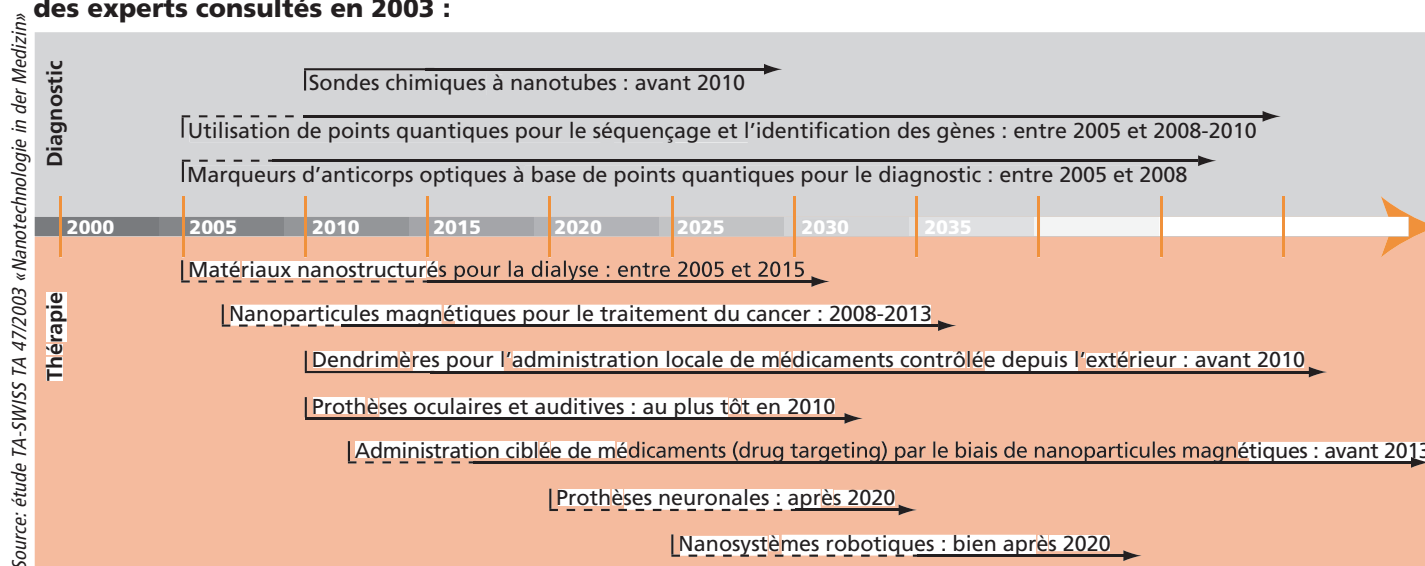
Mais il n'est pas que le diagnostic où l'on puisse envisager de recourir à des nanostructures. Elles pourraient aussi trouver un champ d'application en thérapie – par exemple en temps que matériau bien toléré pour soutenir la croissance des os et éventuellement aussi d'autres tissus. Enfin, des nanotubes pourraient être utilisés pour cultiver des muscles artificiels ou des pompes pour l'administration contrôlée de médicaments.

Les spécialistes interrogés estimaient entre six et quinze ans le temps encore nécessaire pour que de telles nanostructures fassent leur apparition sur le marché. Des sondes chimiques pourraient être disponibles assez rapidement, soit avant 2010. Les experts et expertes se montraient en revanche plus pessimistes dans leur évaluation des années requises pour la mise au point de capteurs ultrasensibles et d'os artificiels.

### Des tissus de remplacement bien tolérés grâce à une surface nanostructurée

Des membranes issues de la nanotechnologie pour la dialyse rénale, de la peau artificielle, des films bien tolérés pour recouvrir les

### Disponibilité de certains outils nanotechnologiques en médecine clinique d'après l'évaluation des experts consultés en 2003 :



## Truffer les tumeurs de fer

«Un premier patient guéri de son cancer à [l'hôpital universitaire berlinois de, ndlt] la «Charité» titrait le quotidien *Die Welt* dans son numéro du 1<sup>er</sup> septembre 2003. Il se référait à un jeune homme de 26 ans ayant souffert d'une tumeur molle considérée comme incurable en expansion sous la clavicule. Les deux chercheurs en oncologie Andreas Jordan et Peter Wust l'avaient traité en appliquant une nouvelle méthode (appelée hyperthermie liquide magnétique, ndlt) consistant à injecter des particules de fer de taille nanométrique dans la tumeur, puis à les faire monter en température par excitation magnétique. La tumeur s'«enflamma» et – combinée à une chimio et à une radiothérapie – cette surchauffe locale avait réussi à détruire les cellules cancéreuses. Selon le journal, huit semaines après la fin du traitement, le corps du patient en était totalement exempt.

implants – le potentiel d'utilisation des surfaces nanostructurées est en vérité impressionnant ! Quelques-uns des spécialistes interrogés n'en relevaient pas moins qu'il n'y avait encore à leur avis aucune indication convaincante de la possibilité réelle d'utiliser de telles surfaces en médecine clinique. Le désaccord des experts et expertes était tout aussi grand en ce qui concerne les temps de réalisation : alors que les uns prétendaient que certains types de surfaces nanostructurées étaient déjà disponibles, les autres repoussaient dans certains cas leur obtention jusqu'en 2020.

## Voir et entendre grâce à des nano-appareils

Les projets de loin les plus utopiques sont ceux des «bricoleurs nés» qui travaillent à la réalisation de nano-appareils ou dispositifs complexes. Si leurs espoirs se concrétisent, des nanoprothèses oculaires, auditives et même cérébrales viendront grandement améliorer la qualité de vie des malades concernés. Des succès dignes de mention ne sont toutefois pas attendus avant 2010, voire

au plus tôt en 2020 en ce qui concerne les prothèses neuronales et les organes ou parties d'organes artificiels.

Plus proche semble être la mise en œuvre réussie de nano-appareils en chirurgie laparoscopique, dite «par un trou de serrure», où les interventions non invasives se pratiquent à travers de toutes petites incisions. Ils devraient permettre d'affiner encore les procédés micromécaniques ayant déjà fait leurs preuves. Les spécialistes s'attendent à des avancées décisives dans ce domaine entre 2005 et 2010, suivies d'une période transitoire allant bien au-delà de cette dernière date jusqu'à l'abandon de la micro au profit de la nanotechnique.

## Des méthodes plus efficaces et plus rapides

Si l'on parvient à construire sur le principe du microscope électronique à balayage des sondes suffisamment petites pour aller visualiser des structures moléculaires au sein du corps en n'y causant que d'infimes perturbations, un grand pas aura été franchi en

direction des diagnostics et des thérapies rapides et non invasifs. Le nanogénie pourrait aussi mettre au point des instruments et procédés d'identification de certains gènes (voir encadré p. 20). Les experts et expertes interrogés estimaient avoir encore besoin de deux à sept ans pour pouvoir mettre ces diverses techniques à disposition.

## La thérapie viendra après la recherche et le diagnostic

Le nanogénie fait miroiter à la médecine une gamme très variée de nouveaux instruments et procédés ; savoir lesquels s'imposeront est une autre question... pour le moment sans réponse. Alors que la recherche et le diagnostic devraient profiter assez rapidement des possibilités qui s'ouvrent, les spécialistes étaient très sceptiques en ce qui concerne les traitements médicaux. Selon eux, il faudra faire preuve de dix à quinze ans de patience de plus jusqu'à ce que des nanotechniques prennent pied en thérapie. Les problèmes à l'origine de ce fossé nanotechnologique entre le diagnostic et les soins sont examinés à l'avant-dernier chapitre de cette brochure.

## Des nanotechniques pour combattre les plaies du temps présent

Le recours à la nanotechnologie dans le domaine médical peut être examiné dans une perspective plus large que celle de l'instrumentation et des procédés issus de ce tout nouveau génie. Rien n'empêche, en effet, de le considérer sous l'angle des pathologies contre lesquelles il s'agit de lutter. Les maladies cardiovasculaires et le cancer figurent dans les pays industrialisés en tête

des statistiques sur les causes de mortalité. Or il se pourrait qu'ils soient également combattus dans le futur à l'aide d'instruments et de procédés nanotechnologiques. Tel est aussi potentiellement le cas des infections virales et bactériennes, des maladies auto-immunes, des troubles du métabolisme et des affections du cerveau.

Savoir quelles maladies verront leurs perspectives de traitement améliorées d'ici à 2020 grâce à la nanotechnologie est une question à laquelle les spécialistes interrogés répondirent de manière nuancée. Selon eux, la plus grande probabilité de percées nanotechniques réside dans la lutte contre le cancer. Dans les maladies cardiovasculaires et les troubles du métabolisme, les instruments et procédés évoqués trouveraient certes un immense champ d'application, mais ils ne leur accordaient que de minces chances de concrétisation pour cette échéance. Entre deux se trouveraient – tant en ce qui concerne le potentiel curatif que la mise au point technique – les infections et les maladies auto-immunes. Pour ce qui est des affections neuronales chroniques (dont la maladie d'Alzheimer), les experts et expertes doutaient en revanche que des instruments et des méthodes thérapeutiques issus du nanogénie puissent en améliorer appréciablement l'évolution.

**De l'avis des experts et expertes, il ne faisait aucun doute que la nanotechnologie serait à l'origine de percées spectaculaires en recherche médicale et en diagnostic d'ici à 2020.**

## La révolution de l'infinitesimal

**Le nanogénie se développera plutôt pas à pas que par bonds. Et il se pourrait que son avènement ait lieu plus tard que bien des spécialistes ne le pensent. Quoi qu'il en soit, ses incidences sur la société ont toutes chances d'être beaucoup plus profondes que ne le laissent entrevoir les éléments d'appréciation dont on dispose aujourd'hui.**

Plus une nouvelle technique est encore éloignée de ses applications pratiques, plus grand est le désaccord quant à ses potentialités et à ses perspectives de concrétisation. Ce schéma type se retrouve dans les réponses des spécialistes qui se sont exprimés dans le cadre de l'enquête de TA-SWISS sur l'avenir médical de la nanotechnologie.

## Incertains quant aux incertitudes

Les divergences d'opinion des experts et expertes portaient notamment sur la question cruciale de savoir si les développements de la nanotechnologie attendus pour ces vingt prochaines années ne sont pas inévitablement entachés d'incertitude. À ce propos, l'on peut presque parler de deux « factions » antagonistes. En effet, les interrogés qui rejetaient totalement cette éventualité étaient en nombre à peu près égal à ceux qui la tenaient pour absolument certaine. Les deux positions extrêmes avaient donc relativement beaucoup de partisans. En d'autres termes, alors que les uns s'attendaient à ce que les nanosciences soient confron-

tées à des obstacles imprévus et à des solutions possibles surprenantes, les autres considéraient ce nouveau champ d'investigation comme un terrain plutôt à découvert et ne réservant pas de grandes surprises.

## Un large fossé entre la recherche en laboratoire et l'utilisation pratique

Les spécialistes interrogés s'accordaient en revanche à dire que le temps qu'il faudra pour passer des premiers succès à une vaste utilisation est sous-estimé. En effet, l'écrasante majorité d'entre eux était largement, voire entièrement de cette opinion et seule une infime partie d'avis contraire.

Ces spécialistes situaient les problèmes dans le manque de stabilité des nanostructures dans le temps et dans la possibilité de mettre sur le marché des produits nanotechniques en quantité suffisante pour les rendre commercialement intéressants. Ils prévoyaient aussi des difficultés dès qu'il s'agira de mettre en production des nanostructures tridimensionnelles. En revanche, celle de particules isolées et de nanosurfaces sous forme de couches bidimensionnelles devrait être plus facile à maîtriser.

## Pas de manquements à l'éthique

Que les chercheurs n'ont aucune notion d'éthique et qu'ils poursuivent imperturbablement leurs travaux sans se préoccuper de leurs possibles retombées négatives est une supposition récurrente du débat public. Du point de vue des scientifiques eux-mêmes, cette représentation n'est pas soutenable. La quasi-totalité des inter-

**À quel moment passe-t-on dans la catégorie des malades si le traitement commence avant même l'apparition des symptômes ?**



Tête de mesure d'un microscope à force atomique.

Photo: Martin Stolz, Biocentre de l'université de Bâle

rogés s'inscrivait notamment en faux contre l'idée que les problèmes éthiques et sociétaux ne sont pas suffisamment perçus et anticipés par les chercheurs.

Reste à savoir si cette réaction atteste que les gens visés par cette question manquent effectivement de sensibilité ou si les nanosciences, qui opèrent à la frontière entre la matière vivante et le monde inanimé, mettent précisément ceux qui s'en occupent devant des questions existentielles fondamentales. Les auteurs de l'étude de TA-SWISS ont en tout cas observé que les remarques faites spontanément à ce sujet lors des interviews particulières menées après les trois tours du Delphi laissaient supposer elles aussi qu'un grand nombre de chercheurs prêtent une oreille largement favorable aux demandes motivées par l'éthique (et notamment à celles relatives à l'imposition de garde-fous et à une réflexion d'anticipation).

## De trop gros espoirs concernant la médecine

Tout bien considéré, une certaine concordance se fit également jour parmi les interrogés quant aux espoirs suscités par la nanotechnologie. La majorité d'entre eux jugeait que ceux placés dans ses retombées médicales sont particulièrement irréalistes, car l'investissement que représente le passage des premières réussites en laboratoire aux applications cliniques est fréquemment sous-estimé. A leur avis, que les perspectives de succès du nouveau génie soient exaltées par les chercheurs eux-mêmes – et suscitent dès lors des espoirs en conséquence – résulte du mode de fonctionnement de l'« entreprise scientifique » : plus une discipline fait la une,



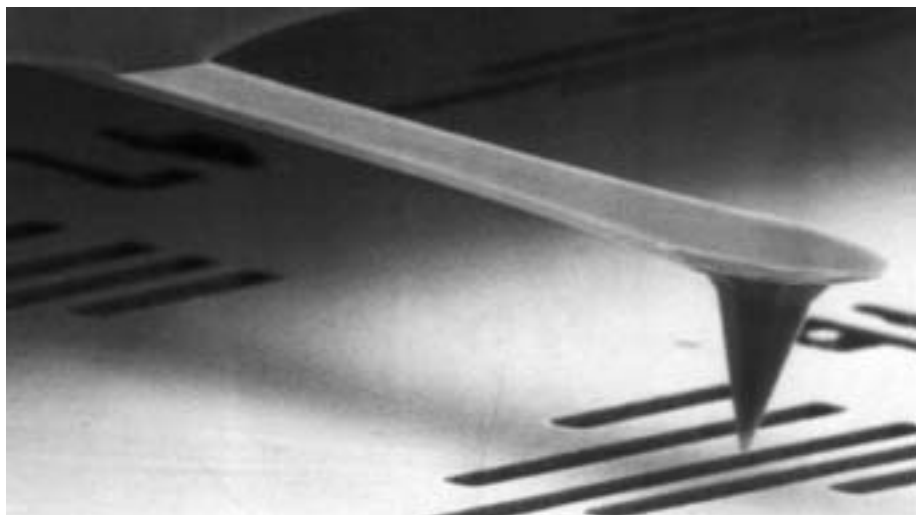


Photo: Martin Stolz, Biocentre de l'université de Bâle

Cantilever : sonde du microscope à force atomique et outil de l'univers nanométrique.

plus elle obtient d'argent pour la recherche. Malheureusement, la suscitation d'espoirs exagérés pourrait amener un retour de balancier nuisible au progrès du nanogénie, car la répétition des désillusions réduit souvent la disposition à investir de l'argent dans les recherches concernées.

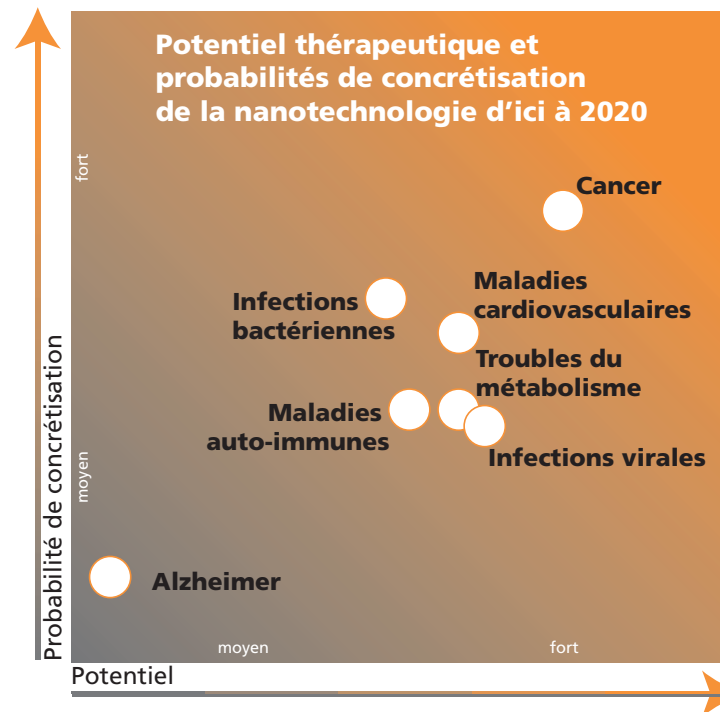
### Plus ciblés et plus rapides, mais guère moins chers

De l'avis des experts et expertes, il ne faisait aucun doute que la nanotechnologie serait à l'origine de percées spectaculaires en recherche médicale et en diagnostic d'ici à 2020 et qu'elle se révélerait être l'instrument par excellence dans la détermination des signes cliniques. Selon la plupart des interrogés, les examens médicaux nanotechniquement assistés seront plus ciblés et plus rapides et, par conséquent, les maladies décelées plus tôt que ce n'est le cas aujourd'hui.

d'hui. Ils se montraient en revanche plus dubitatifs quant à l'importante baisse de coût censée en résulter.

Ce qui est sûr est que le nanogénie progresse nettement plus lentement en thérapie que dans la recherche et le diagnostic. La majorité des scientifiques interrogés estimait que la nanotechnologie diminuera les effets secondaires des traitements et accroîtra leur efficacité, mais ne s'attendait à rien de spectaculaire de par son ampleur avant 2020. Un peu plus de la moitié des interrogés n'en pensaient pas moins que des thérapies tirant parti des nouvelles possibilités feront déjà nettement évoluer la médecine dans l'intervalle. En revanche, ils se montraient dans l'ensemble plus sceptiques quant à l'influence positive de ces progrès sur le coût des soins. Il leur paraissait en effet peu vraisemblable que le recours à une nanotechnique rende des actes thérapeutiques meilleur marché.

Que des nanoparticules puissent contourner la conquête fondamentale de l'évolution qu'est le système de défense propre au corps n'est toutefois pas forcément un mal et pourrait même être un avantage pour certaines thérapies.



Source: étude TA-SWISS TA 47/2003 «Nanotechnologie in der Medizin»

## Une redéfinition de l'existentiel

**Si les potentialités attribuées à la nanotechnologie se vérifient, nous sommes à la veille de devoir redéfinir des catégories sociales déterminantes. En effet, à quel moment passe-t-on dans celle des malades si le traitement commence avant même l'apparition des symptômes ? Où placer la démarcation entre la matière morte et la chair vivante si des nanoprotèses assument des fonctions vitales du corps ?**

La nanotechnologie opère dans la zone frontière entre la matière inanimée et la substance vivante : en parvenant à agir en dessous de la structure atomique ou moléculaire, le nouveau génie est susceptible d'influer sur des processus qui étaient jusqu'à présent soumis à la seule évolution naturelle et donc soustraits à l'emprise de l'homme. En d'autres termes, la nanotechnologie pourrait pourvoir l'être humain d'instruments lui permettant d'intervenir profondément dans les processus biologiques.

## Des analyses génétiques plus précises grâce à la nanotechnologie

La compagnie américaine Quantum Dot Corporation ([www.qdots.com](http://www.qdots.com)) commercialise des nanoparticules de sélénure de cadmium pouvant être utilisées comme marqueurs biologiques pour l'identification de protéines ou de molécules du patrimoine génétique. Étant fluorescents, ces cristaux permettent de localiser les éléments ainsi étiquetés de manière beaucoup plus précise que les colorants utilisés jusqu'à présent. Grâce à eux, un prélèvement de matériel héréditaire peut être comparé à des modèles de séquences d'ADN connues et permettre ainsi de déterminer quels sont les gènes actifs dans certaines cellules. La nanotechnologie peut en outre contribuer à améliorer les résultats des tests génétiques.

## Des traitements ciblés et moins d'effets secondaires

En médecine, les nouveaux instruments nanotechnologiques pourraient être tout bénéfique. Grâce à l'affinement des méthodes de détection avancée des maladies ou à la simple nature évolutive de celles-ci, il deviendrait possible d'agir en prévision : les traitements pourraient être entrepris avant même que les premiers symptômes n'affectent le bien-être physique des patients. Des mesures préventives ne permettent-elles pas déjà dans certains cas de limiter, voire d'empêcher l'éruption de maladies ?

Une nette majorité des spécialistes interrogés s'accordait en tout cas à dire que la nanotechnologie accroîtra sensiblement la qualité de vie des gens. Les existences pour ainsi dire exemptes de maladies cesseront vraisemblablement d'être exceptionnelles. Qui plus est, la perspective de guérison augmentera pour de nombreux maux – même parmi ceux dont l'issue est aujourd'hui fatale – et les effets secondaires des nouvelles thérapies seront moindres que ceux des méthodes conventionnelles utilisées jusqu'à

présent. Quant à savoir si la plus longue espérance de vie n'allongera pas du même coup la phase de démence sénile est une question qui pour l'heure relève encore de la spéculation.

## Le fardeau de la responsabilité personnelle

Une santé publique axée sur la prévention et le traitement précoce présente d'indubitables avantages. Mais y recourir exigerait un «screening» exhaustif, une procédure de préexamens systématiques de l'ensemble de la population – et donc auxquels autant que possible tout un chacun devrait se soumettre. Or faire de la prise en compte de troubles fonctionnels susceptibles d'être ressentis une «obligation» pour tout le monde déplace la frontière entre la santé et la maladie. Le bien-être physique cesse alors d'être une preuve d'intégrité corporelle. Il est difficile de dire quelle conscience de leur corps auraient des gens qui s'observent sans arrêt et se font de ce fait constamment du souci pour leur santé. Leur insouciance joie de vivre risquerait fort d'être compromise.

Par ailleurs, si des moyens de découvrir et de combattre précocement les atteintes à la santé sont mis à disposition, la pression de la société pour qu'il en soit fait usage augmentera. Or cela accroîtra le risque que les personnes malades soient victimes d'ostracisme. Il serait en effet alors tentant de conclure hâtivement qu'elles sont responsables de leurs maux parce qu'elles ont négligé de se soumettre aux analyses nécessaires et de prendre à temps les mesures appropriées pour préserver leur santé.

## Lorsque l'on en saura plus que ce que l'on peut guérir

A moyen terme, le mode de progression de la nanotechnologie fera que les maladies seront certes identifiées (plus) précocement, mais sans que des thérapies efficaces soient à disposition pour les guérir. Cela propagera le problème du fardeau psychologique déjà supporté aujourd'hui par les nombreuses personnes ayant appris à la suite d'un test génétique qu'il y avait de fortes probabilités qu'elles souffrent un jour d'une maladie héréditaire incurable – telle la grave et mortelle chorée de Huntington. Elles se voient alors confrontées à des peurs existentielles sans pouvoir les atténuer en mettant leur espoir dans l'art médical.

Les possibilités d'établir des pronostics de santé relativement précis à l'aide d'instruments et de procédés nanotechniques pourraient en outre éveiller la convoitise de tierces personnes. Il serait en effet alors tentant pour les caisses maladie d'avoir accès à des données leur permettant de déduire de quels troubles fonctionnels leurs assurés risquent de pâtir, ou aux employeurs quel est le

potentiel de prestation à long terme de leurs (candidats) salariés. Sous cet angle, la nanotechnologie pourrait donc renforcer la tendance à rendre le «citoyen transparent». Aussi la loi fédérale en cours d'élaboration sur l'analyse génétique humaine posera-t-elle de premiers garde-fous pour prévenir l'usage abusif des données obtenues par le biais des nanotechniques lors d'un tel examen.

### Petit n'est pas forcément synonyme de bon marché

Actuellement, quiconque se penche sur des questions d'ordre médical ne peut éluder le problème des coûts. Une grande partie des spécialistes interrogés dans le cadre du Delphi de TA-SWISS s'accordaient à dire que la nanotechnologie pourrait rendre les diagnostics et les thérapies plus rapides et plus efficaces, mais que les coûts ne s'en trouveraient guère diminués. De manière générale, c'est même le contraire qui est à craindre, car l'espérance de vie des gens continuera de s'allonger et les traitements de se multiplier en raison de leur plus grande facilité de mise en œuvre. Autrement dit, la nanotechnologie pourrait contribuer à faire grimper encore les coûts de la santé. On peut tout au plus en attendre des effets modérateurs à long terme – notamment au cas où l'on parviendrait à se passer d'une médecine coûteuse dans la vieillesse parce que le succès des traitements administrés dans la jeunesse l'aurait rendue superflue.

Cela dit, la médecine à deux vitesses risque fort de recevoir un coup de pouce. Il était évident pour la quasi-totalité des experts et expertes interrogés que le problème de la répartition des coûts entre les gens fortunés

**Les traitements pourraient être entrepris avant même que les premiers symptômes n'affectent le bien-être physique des patients**

et les gagne-petit se ferait particulièrement aigu si les progrès du nanogénie ne rendaient pas les prestations médicales bien meilleur marché. Or, comme on l'a dit, les pronostics à ce sujet sont mauvais. Par ailleurs, une société à classes médicales multiples favorise aussi les différences dans le degré d'information des citoyens et citoyennes. Il y a dès lors fort à parier que les personnes «adultes en matière de santé» useront de la nanotechnologie comme d'une opportunité d'orientation prophylactique dans l'organisation de leur vie alors que les gens moins bien informés se sentiront dépassés par la multiplicité des choix à faire et la nécessité grandissante de décider par eux-mêmes.

### D'imprévisibles petites particules

Comme le trou d'ozone nous l'a dernièrement rappelé, les dangers pour le corps et la vie ne sautent pas forcément aux yeux. De même, le

débat public sur l'énergie nucléaire et celui sur les risques du génie génétique sont fortement imprégnés de la conscience qu'il existe des périls invisibles. Une crainte similaire est émise dans le cas de la nanotechnologie : quels effets ces minuscules particules auront-elles si elles sont répandues en grand nombre dans l'environnement ? pourraient-elles se révéler nocives pour les êtres vivants et devrions-nous prendre garde à la nanotoxicité ?

Découvrir comment se comportent les nanoparticules dans un corps vivant n'est pas une mince affaire, car elles sont suffisamment petites pour tromper le système immunitaire. L'analyse des anticorps ne peut dès lors pas servir de base à leur pistage dans le système circulatoire et dans les tissus. À tout le moins, une équipe de recherche en immunologie de l'université de Montpellier a démontré que des particules de carbone de 1 nanomètre de long peuvent se glisser dans des cellules du

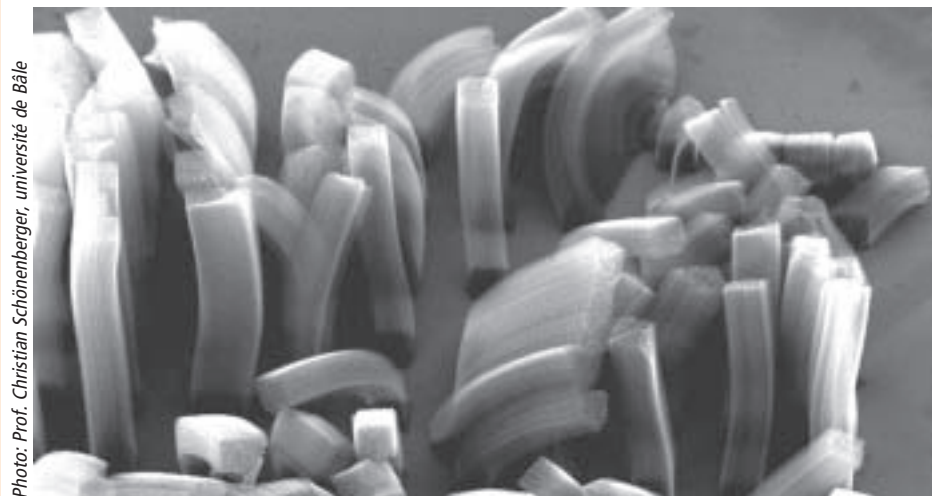


Photo: Prof. Christian Schönberger, université de Bâle

Nanotubes en phase de croissance

rat sans se faire repérer et y sont tolérées. Il faut qu'elles atteignent le micromètre pour susciter des réactions immunitaires. Que des nanoparticules puissent contourner la conquête fondamentale de l'évolution qu'est le système de défense propre au corps n'est toutefois pas forcément un mal et pourrait même être un avantage pour certaines thérapies.

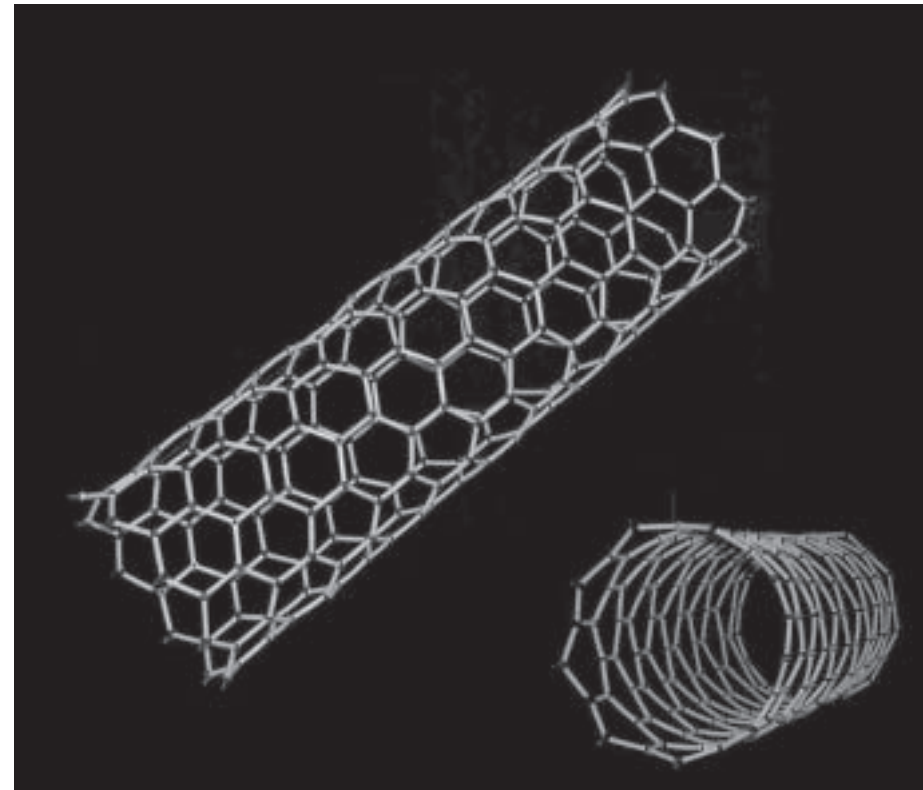
Un autre point non encore éclairci sont les incidences des nanoparticules dans le cerveau. Elles sont en effet si petites qu'elles peuvent franchir la barrière hémato-méningée (empêchant que des substances passent du sang dans le cerveau, ndlt), laquelle était considérée jusqu'à tout récemment comme insurmontable.

Les spécialistes consultés n'excluaient cependant aucunement la possibilité que les nanoparticules utilisées en médecine soient toxiques ou «dangereuses» de quelque autre façon. Une majorité d'entre eux tenait même pour assez vraisemblable que certaines d'entre elles se révèlent effectivement toxiques. De premières expérimentations en laboratoire ont d'ailleurs déjà fourni des indices confirmant cette crainte. En effet, quelques mois après avoir injecté des nanotubes de carbone dans les poumons de souris, une équipe de recherche texane découvrit qu'ils s'y étaient amalgamés en boules que cernaient des «cellules dévoreuses», ou macrophages, du système immunitaire. Cette réaction ne fut pas sans laisser des cicatrices. Lors d'autres expérimentations, les amas qui se formèrent furent même assez gros pour obstruer les bronches, si bien que les rats moururent d'étouffement.

### La nanotechnologie libère de la corve des injections

Deux piqûres d'insuline par jour – tel est l'impératif du sort pour de nombreux diabétiques. L'équipe de la bio-ingénieure Tejal Desai à l'université de l'Illinois de Chicago a mis au point une nanocapsule contenant des cellules distributrices d'insuline qui, après introduction dans le système circulatoire, est entraînée en permanence par le flux sanguin. Pour que les défenses immunitaires ne puissent éliminer sa cargaison de cellules thérapeutiques, elle a été conçue de manière à ce que les pores de sa membrane soient à la fois suffisamment gros pour laisser s'écouler l'insuline et néanmoins suffisamment petits pour que les anticorps ne puissent pas les traverser. Si cette capsule n'a pas encore pu être testée sur l'homme, la méthode a, en revanche, déjà permis de guérir des rats de laboratoire souffrant de diabète.

Il est également difficile d'évaluer les risques que ferait courir la libération incontrôlée de nanoparticules dans l'environnement. Il n'est pas absurde, par exemple, de supposer que des matériaux nanotechnologiques puissent être absorbés par des bactéries et pénétrer par ce biais dans la chaîne alimentaire. Des expérimentations sont actuellement en cours pour déterminer si des liaisons toxiques qui se fixent sur divers nanomatériaux peuvent s'introduire clandestinement dans des cellules via une quelconque «voie de ferroutage».



Modèle d'un nanotube.

Se concentrant sur les applications médicales, l'étude de TA-SWISS n'aborde que quelques facettes du débat sur les dangers de la nanotechnologie. Or la réflexion au sujet des risques est particulière lorsqu'elle porte sur la médecine car, lorsque le bien précieux qu'est la santé est mis en balance, les risques – ou effets secondaires, pour user de la terminologie médicale – sont comparativement de peu de poids. En revanche, lorsque l'utilité est assez peu apparente, les risques sont évalués de manière nettement plus critique et le plus souvent non acceptés.

### La nanotechnologie accentue les tendances

L'explosion des coûts de la santé engendre des soucis qui persisteront même sans recours à la nanotechnologie. La «carte génétique» de l'être humain que l'on vient d'achever de dresser doit déjà être en train de modifier sa perception de lui-même et de son corps. Vu sous cet angle, le nanogénie n'apportera rien, ou presque, d'essentiellement nouveau. Il devrait en revanche contribuer à renforcer des lignes de développement générales qui ne font encore que s'esquisser.

## Mettre notre bonne position de départ à profit

**La Suisse est bien placée pour tirer parti des avantages de la nanotechnologie. La recherche dans ce domaine a fait sur notre territoire des progrès fondamentaux et, en lançant le programme national «Nanosciences», la Confédération a créé des conditions-cadres favorables à sa poursuite. Cela dit, il s'agit de tirer la leçon des expériences passées et de ne pas répéter les erreurs commises lors de l'apparition d'autres branches de la technique.**

«Vite vu, vite oublié» n'est pas un dicton qui s'applique aux débats publics sur le risque. Au contraire, les discussions relatives à l'énergie nucléaire et au génie génétique ont focalisé durablement l'attention de l'opinion sur deux types de dangers invisibles. La nanotechnologie peut être comparée sur bien des points au génie génétique, car elle intervient comme celui-ci au cœur de processus vitaux. Que l'homme s'arroge des pouvoirs de création sans apprécier les conséquences de ses actes pourrait susciter et généraliser des craintes dans la population.

## Faire preuve de vigilance et d'esprit critique

Pour éviter la polarisation et en fin de compte la paralysie du débat, certaines mesures préventives sont indispensables. L'une d'elles devrait être de mettre sur pied une commission compétente chargée du monitoring des progrès des nanosciences et apte à en repérer les dangers. Cette commission devrait com-

prendre des spécialistes de différents secteurs de la recherche et de diverses nationalités – et aussi disposer des moyens nécessaires à l'accomplissement de ses tâches.

Ce nouvel organe devrait veiller à ce que les risques potentiels du nouveau génie soient découverts très tôt et limités. Une autre de ses fonctions pourrait être d'assurer le libre échange d'informations entre la science et l'opinion publique et de rendre compte des potentialités positives sans occulter les zones d'ombre. Il pourrait aussi lancer des campagnes destinées à accroître la conscience que les citoyens et les citoyennes ont des facteurs de santé et les mettre en condition de mieux évaluer et utiliser la nanotechnologie en tant que possibilité d'améliorer leurs programmes personnels en la matière. Cette commission spécialisée multidisciplinaire pourrait enfin étudier l'éventuel besoin de créer un nouveau type de «conseil de santé» au service de la population et élaborer des recommandations à ce sujet.

## Un besoin de définition des objets et des méthodes de recherche

Un autre point loin d'être éclairci est celui du comportement des nanoparticules dans les systèmes biologiques et sur le plan écologique. Il existe de forts indices selon lesquels leur utilisation pourrait confronter la médecine à des situations fondamentalement nouvelles, car il est sans précédent que des anticorps puissent «duper» le système immunitaire et soient capables de franchir la barrière hémato-méningée. Le besoin de recherches dans ce domaine est considérable. Nombre de questions concernant la toxicité

## Les soutiens à la recherche en nanosciences

La Suisse figure parmi les pays les plus avancés en nanosciences. L'EPFZ les a placées avec les sciences de la vie et celles de l'information en tête de ses domaines de recherche. Pour y contribuer, le Conseil des EPF et la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI) ont, dans un effort de cohésion commun, parrainé un programme de recherches, appelé *Top Nano 21*, en le dotant de 62 millions de francs pour les quatre années momentanément prévues pour sa réalisation. Accordant lui aussi de l'importance à ce champ d'investigation, le Conseil fédéral a pour sa part – après les 64 millions libérés pour le programme national de recherche 36 *Nanosciences* aujourd'hui achevé – approuvé un crédit-cadre de 15 millions pour le PNR 47 *Matériaux fonctionnels supramoléculaires* du Fonds national suisse. Depuis 2001, l'Université de Bâle héberge le National Center of Competence in Research of Nanoscience, doté d'un budget annuel de 16 millions de francs. Et d'autres organismes encore, tels l'Institut Paul-Scherrer et le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherches (LFEM dit EMPA), entendent aussi contribuer à défricher ce champ d'investigation d'une grande fertilité potentielle.

Dès qu'il s'agit de faire progresser les nanosciences, on ne regarde plus à la dépense. En comparaison, les moyens mis à disposition pour présenter la nouvelle technologie à l'opinion publique et ouvrir le dialogue que celle-ci aimerait à tout le moins avoir concernant ses espoirs et ses réserves paraissent extrêmement modestes. Alors que la polémique au sujet de la nanotechnologie bat son plein aux États-Unis, en Grande-Bretagne et – dans une moindre mesure – en Allemagne, le débat est à peine amorcé en Suisse.

des particules elles-mêmes et leur capacité à introduire des liaisons toxiques dans les cellules sont encore sans réponses.

Des procédés idoines efficaces ayant été mis au point à cette fin, l'éventuelle toxicité des nanoparticules peut désormais être testée en laboratoire. En revanche, on ignore comment évaluer les dangers potentiels de la libération de nanoparticules dans l'environnement. Les méthodes et instruments pour une analyse fiable sont encore à inventer.

**La nanotechnologie peut être comparée sur bien des points au génie génétique, car elle intervient comme celui-ci au cœur de processus vitaux.**



Die Studien des Zentrums für Technologiefolgen-Abschätzung TA-SWISS sollen möglichst sachliche, unabhängige und breit abgestützte Informationen zu den Chancen und Risiken neuer Technologien vermitteln. Deshalb werden sie in Absprache mit themenspezifisch zusammengesetzten Expertengruppen erarbeitet. Durch die Fachkompetenz ihrer Mitglieder decken diese so genannten **Begleitgruppen** eine breite Palette von Aspekten der untersuchten Thematik ab.

Le Centre d'évaluation des choix technologiques TA-SWISS se doit, dans toutes ses études sur les avantages et les risques potentiels des nouvelles technologies, de fournir des informations aussi factuelles, indépendantes et étayées que possible. Il y parvient en mettant chaque fois sur pied un **groupe d'accompagnement** composé d'experts choisis de manière à ce que leurs compétences respectives couvrent ensemble la plupart des aspects du sujet à traiter.

Studies carried out by the Centre for Technology Assessment TA-SWISS are aimed at providing information concerning the advantages and risks of new types of technology which is as factual, independent and broad as possible. For this reason they are conducted in collaboration with groups of experts in the corresponding field(s). Thanks to the expertise of their members, these so-called **supervisory groups** cover a broad range of aspects of the issue in question.

Folgende Personen wirkten bei der Studie «Nanotechnologie in der Medizin» in der **Begleitgruppe** mit:  
**Le groupe d'accompagnement** de l'étude «Nanotechnologie dans la médecine» se composait des personnes suivantes:  
The following people were members of the **supervisory group** for the «Nanotechnology in Medicine» study:

Dr. Andrea Arz de Falco, Bundesamt für Gesundheit (ab Mitte 2002)

Dr. Markus Ehrat, Zeptosens AG

Dr. Hans-Joachim Güntherodt, Universität Basel, Institut für Physik

Prof. Dr. Philipp U. Heitz, Universitätsspital Zürich (Präsident der Begleitgruppe, Mitglied des TA-SWISS Leitungsausschusses)

Karl Höhener, TEMAS AG

Dr. Patrik Hunziker, Kantonsspital Basel

Margrit Kessler, Schweizerische Patienten-Organisation

Bernhard Nievergelt, Forschungsstelle für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte

Dr. med Flavia Schlegel, Bundesamt für Gesundheit, Abt. Gesundheitspolitik, Forschung und Bildung (bis Mitte 2002)

Herr Prof. Hans-Peter Schreiber, TA-SWISS Leitungsausschuss (bis Mitte 2002)

Dr. Louis Tiefenauer, Paul Scherrer Institut, Laboratory for Micro- & Nanotechnology

Barbara Vonarburg, Tages-Anzeiger, Redaktion Wissen

Tatjana Weidmann-Hügler, Universität Zürich

Prof. Christiane Ziegler, Universität Kaiserslautern, Kompetenzzentrum Nanotechnologie CC NanoChem

