

# AUJOURD'HUI LE NANOMONDE

La lettre des Rencontres MINATOC 2003

22 septembre 2003

#1

"The future doesn't need us" (Bill Joy)

© [www.piecesetmaindoeuvre.com](http://www.piecesetmaindoeuvre.com)

## Etat des nanotechnologies

**On en parle en termes d'investissement (des milliards d'euros), de retour sur investissement (idem), de compétition internationale, de performance technique, etc. Mais au fait à quoi servent-elles ? "Aujourd'hui le nanomonde" vous propose une revue de presse sur l'état des nanotechnologies.**

I  
A Moirans, près de Grenoble, la société DGTEC fabrique des poudres céramiques nanostructurées à l'intention des secteurs "de la santé, de l'environnement, du revêtement protecteur et de l'électro-optique" (Le Daubé 7/02/03). Les applications s'inscrivent à tous les niveaux de l'industrie, depuis la fabrication des piles à combustible à la catalyse de traitement des eaux en passant par la décoration sur verre, par exemple. Créée en septembre 2000, DGTEC a réalisé un chiffre d'affaires de 350 000 € en 2002, levé 1,5 M€ en décembre de la même année, et envisage de passer de 14 salariés à une cinquantaine d'ici 2006. Selon les dernières études américaines, le marché mondial des nanomatériaux représentera quelques 900 M€ en 2005 (ibid).

Fâcheusement, l'on ne dispose d'aucune étude sur l'éventuelle toxicité des nano-particules, ni de leur impact potentiel sur l'environnement, ainsi que l'explique l'ambassade de France aux Etats-Unis dans sa "Lettre des Sciences Physiques" (n°6, 12/09/03) :

### **Impact des nanotechnologies sur la santé**

*Après leur campagne contre les organismes génétiquement modifiés, les organisations environnementales se préoccupent de plus en plus des nanotechnologies. Les plus virulentes demandent un moratoire, voire l'interdiction au niveau international de la recherche sur les nanotechnologies. Les craintes sont essentiellement fondées sur l'impact des nanoparticules sur l'environnement et sur la santé publique.*

*Un projet mené par Mason Tomson du Center for Biological and Environmental Nanotechnology de*

*la Rice University, Texas, étudie comment les "buckyballs 1 ou C60" (dont la découverte a valu le prix Nobel de chimie aux professeurs Robert F. Curl Jr, et Richard E. Smalley en 1996) voyagent dans le sol. Des propriétés inattendues sont apparues : sous certaines conditions, les buckyballs (NB : des molécules en forme de ballon de foot, composées de 60 atomes de carbones, dont on se sert pour fabriquer des nanotubes), dispersées dans l'eau s'entourent d'une couche protectrice d'eau et migrent dans le sol sans être absorbées. D'autres études non publiées montrent que les nanoparticules peuvent facilement être absorbées par des vers de terre, entrant ainsi dans la chaîne alimentaire et pouvant ultérieurement atteindre l'être humain. Il reste à déterminer la dangerosité de ces particules notamment sur la santé de l'homme.*

*Gunter Oberdorster, professeur de médecine environnementale à l'université de Rochester, New York, étudie depuis des années l'effet des particules ultra-fines sur le corps. D'après les résultats présentés à une conférence en mai à Arlington, Virginie, sur les nanotechnologies dans l'environnement, l'effet sur le corps dépend de la taille des particules : les amas de nanoparticules de l'ordre de grandeur du micromètre sont relativement non réactifs et sont trop gros pour être absorbés dans le sang après les avoir inhalés. Les nanoparticules individuelles sont, elles, plus réactives et peuvent se retrouver dans le sang. Chiu-Wing Lam, toxicologiste au Johnson Space Center de la Nasa à Houston, Texas, qui s'intéresse aux effets des nanotubes de carbone sur la santé, parvient à des résultats similaires sur l'effet de taille : des composants inoffensifs à l'échelle microscopique peuvent se révéler dangereux au niveau nanoscopique.*

*Il n'existe aucune législation sur le thème des nanotechnologies et la santé hormis quelques*

mesures d'autorégulation mises en place par les chercheurs eux-mêmes : par exemple, des zones cloisonnées à l'intérieur desquelles les nanotubes sont manipulés avant d'être agglomérés à l'état de poudre, beaucoup plus contrôlable. Les organisations environnementales profitent d'ailleurs de cette lacune pour valoriser leurs revendications. Les autorités gouvernementales commencent à aborder le problème. La chambre des représentants et le sénat aux Etats-Unis ont demandé plus d'argent pour étudier les implications éthiques et sociales des nanotechnologies. Les financements arrivent : l'Environmental Protection Agency (EPA) va, à elle seule, y consacrer 6 millions de dollars cette année. Des nanotechnologues et des experts en politique scientifique commencent à se pencher sur les problèmes de sécurité, des industriels et des représentants ont discuté des risques environnementaux potentiels au cours de meetings à Washington, organisés par D.Rejeski du Woodrow Wilson International Center for Scholars.

Nanobusiness Alliance, un groupe basé à New York qui représente plus de 250 compagnies américaines travaillant sur les nanotechnologies, est en train de former un groupe de travail sur les problèmes environnementaux et de santé concernant les produits nanoscopiques en réponse aux spéculations croissantes sur les dangers de ceux-ci.

Le débat sur l'impact des nanotechnologies a débuté et a pour but de déterminer si les nanoparticules sont dangereuses ou non : il nécessitera une forte implication des chercheurs qui devront être capables de fournir des études sur l'impact de ces nouvelles technologies, au moment où les gouvernements chercheront à instaurer des réglementations et à légiférer.

(Sources : Nature 17/07/03 ; New York Times, 07/07/03)

## II

A l'Université de Tokyo, une équipe de chercheurs a mis au point des nanofils pour transformer la lumière en électricité. Les nanofils lèvent le principal obstacle à la conception de peintures et de revêtements photovoltaïques. "Un rêve caressé depuis longtemps par les industriels en quête de nouveaux marchés... Rien que la filière du spatial pourrait y trouver un moyen d'alléger les sondes interplanétaires et les satellites en orbite : plus besoin de panneaux solaires gigantesques pour naviguer aux confins du système solaire. Un revêtement adéquat, badigeonné sur le satellite lui-même, pourrait faire l'affaire... Mais avant

d'espérer s'alimenter en courant par la peinture de sa toiture, il faudra patienter quelques années : le temps d'un développement industriel à grande échelle..." (Science & Vie, mars 2003)

Faut-il rappeler les merveilleuses promesses d'énergie sûre et gratuite que nous avaient faites les pionniers du nucléaire ? Et mentionner ce que les économistes nomment "l'effet rebond" ? Dans une société de consommation, tout gain de coût et de pollution est anéanti par la flambée de gaspillage qu'il provoque.

Dubitatif sur la réalité des nanotechnologies ("*Plus de battage que de profit*"), et leur définition ("*Tout ce qui implique des structures en dessous des 100 nanomètres, selon la National Nanotechnology Initiative du gouvernement américain*"<sup>1</sup>), le supplément technologie de *The Economist* (15/03/03), remarque que, pourtant on peut déjà acheter des écrans solaires, des fenêtres auto-nettoyantes, des pantalons de coton, des voitures, des balles de tennis, des "boîtes quantiques", utilisant des composants et des procédés nanotechnologiques. En 2002, les gouvernements du monde auront dépensé 2 billions (10<sup>12</sup>) de dollars en recherche sur le sujet, ce qui semble la moindre des choses quand on espère un marché potentiel de 1 trillion de dollars (10<sup>18</sup>). Et ce n'est qu'un début puisque aux Etats-Unis le financement fédéral serait passé de 200 millions de \$, il a trois ans pour atteindre 800 millions cette année (*Smalltimes*, 07/08/03, in la Lettre des Sciences physiques de l'ambassade de France aux Usa, n°6, 12/09/03). "*Le but est de promouvoir l'innovation par la compétition et l'implication de toute une nation vers un même objectif, de repousser les frontières*

---

<sup>1</sup> "Littéralement, les nanotechnologies constituent un champ de recherches et de développements technologiques impliquant la fabrication de structures, de dispositifs et de systèmes à partir de procédés permettant de structurer la matière au niveau atomique, moléculaire ou supra moléculaire, à des échelles caractéristiques comprises approximativement entre 1 et 100 nanomètres... Les nouveaux comportements qui interviennent à l'échelle nanométrique font intervenir des effets quantiques, des effets de confinement, l'importance des surfaces d'échanges, la prédominance de rapports surface/volume ou d'autres effets ou phénomènes mésoscopiques. Ils résultent aussi souvent d'une hiérarchie d'architectures, à l'image de beaucoup de processus rencontrés dans les êtres vivants.

En raison de l'apparition de ces comportements nouveaux, les nanotechnologies suscitent et utilisent le développement de champs scientifiques nouveaux qui explorent les phénomènes qui apparaissent à l'échelle nanométrique. Ce sont les nanosciences." (Rapport de l'Académie française des technologies, 24/11/02)

de la connaissance. Par exemple, un des challenges fixés aux nanotechnologies pourrait être de résoudre les problèmes énergétiques comme le préconise le professeur R. Smalley de la Rice University. Le President's Council of Advisors on Science and Technology, qui conseille la Maison Blanche sur les questions scientifiques, a consacré la plupart de son meeting de juin aux nanotechnologies. Il a débuté l'examen des "grands challenges" de la National Nanotechnology Initiative (NNI). Le sous-comité chargé des nanotechnologies doit rendre un rapport en septembre sur les buts actuels et fournir de nouvelles orientations et projets. Les deux chambres du congrès veulent inscrire la NNI dans la durée en lui fournissant son propre personnel permanent : le projet de loi est passé à la chambre des représentants et doit passer devant le sénat à la rentrée."

En attendant il reste selon *The Economist* de grands obstacles à franchir. Le premier est celui de l'interface entre des entités vivantes et des dispositifs électroniques, entre carbone et silicium. "Il ne sert à rien d'avoir une cellule de combustible faite de nanotubes de carbone si elle ne peut communiquer quand elle est sur le point de tomber à court de carburant." Cette question résolue en entraînera une autre : en fait, comment concevoir et produire des nanodispositifs, sachant l'imprévisibilité des objets à l'échelle nanométrique ?

Réponse : il n'y aura pas de conception. Rien que des tentatives jusqu'au succès aléatoire. Le troisième problème et le plus épineux, c'est les homm(e)s. Nous, lecteurs. "Spiderman", "Minority Report", les nanotechnologies ont déjà mauvaise presse dans la pop culture américaine. Et elles matérialisent le rôle du Mal dans "*La Proie*"<sup>2</sup>, le dernier livre de Michael Crichton (*Jurassic Park, la Variété Andromède*), dont la version filmée est déjà en tournage. Crichton y scénarise ce que les scientifiques nomment "le risque d'écophagie" : l'emballage auto-réplicateur des nanorobots à la suite d'un accident de programmation, et la destruction de toute ou partie de la biosphère par épuisement du carbone nécessaire à l'autoreproduction des nano-engins en question<sup>3</sup>. Ces évocations enragent le docteur Richard Smalley, pris Nobel de chimie (1996), pionnier de

la National Nanotechnology Initiative et fondateur du Rice University's Centre for Biological and Environmental Nanotechnology. "Le problème, fume-t-il, c'est que plus il y aura de gens pour commencer à s'inquiéter de nanorobots et d'essaims de poussière grise, plus cela rendra probable un stupide retour de boomerang contre toute recherche en nanotechnologie, comme ce fut le cas contre les OGM, il y a quelques années."

Philippe Busquin, commissaire européen chargé de la Recherche, déclarait exactement la même chose, au Commissariat à l'Energie Atomique de Grenoble, lors d'une visite consacrée à Minatec et aux nanotechnologies européennes (14 juin 2002), adjurant la centaine de journalistes présents à "communiquer aux citoyens" tout le bien qu'il fallait attendre des nanotechnologies, sinon leur ignorance et leur hostilité pourraient en bloquer le développement "comme pour les OGM, une excellente technologie, maintenant au point mort pour plusieurs années."

"Le Dr Smalley, précise *The Economist*, avait espéré que, lorsque le *Scientific American* consacrerait un numéro spécial à l'aspect sérieux des nanotechnologies, il enfoncerait un pieu au cœur de ces idées de poussière grise et de robots auto-réplicateurs. Il ne l'a pas fait. Et avec "*La Proie*" bientôt sur les écrans, les luddites de partout, pourraient s'en emparer pour une suite à l'hystérie OGM."

### III

La NanoSystems Biology Alliance, sur le côté ouest des Etats-Unis, regroupe sept scientifiques : physiciens, biologistes, chimistes, ce qui est bien normal puisque "à l'échelle moléculaire, constate l'un d'entre eux, tous ces domaines se résument aux mêmes principes scientifiques fondamentaux" (cf *Nature/Courrier International* n°658. 12/06/03). Ces chercheurs mettent au point des nanolaboratoires, destinés à étudier de l'intérieur des cellules vivantes sans les détruire. "James Baker, qui étudie les systèmes de ce genre à l'Université du Michigan, souligne que les nanoparticules peuvent même être équipées de systèmes moléculaires chargés de diriger les médicaments vers une cellule... Lors d'expériences en laboratoires réalisées sur des cellules tumorales, le méthotrexate a éliminé cent fois plus de cellules cancéreuses quand il était administré par le biais de nanoparticules que quand il était simplement ajouté à la culture des cellules."

Faut-il souligner que cette efficacité centuplée vaudra pour le poison (accident ou guerre biologique), comme pour le remède ? Après tout le mot "pharmakos" en grec signifie les deux. Et puis,

<sup>2</sup> A paraître le 13 octobre chez Robert Laffont

<sup>3</sup>Jean-Pierre Dupuy, Le risque inouï des nanotechnologies : l'écophagie. *L'Ecologiste* n°10. juin 2003

à quoi bon s'attaquer aux causes environnementales du cancer, si on peut le soigner par quelques volées de nanoparticules ?

#### IV

L'Atomic-Scale Design (ASD), une société de San Francisco, a mis au point un matériau nanostructuré, le quasam, à base de nanotubes de carbone, dont les propriétés lui permettent de réagir telle une "peau intelligente" sur la carcasse des ponts, des pipe-line, des avions, des navettes spatiales, etc. Ainsi devrait-il résister à l'abrasion, aux températures extrêmes, et détecter les fêlures des structures qu'il recouvre, bien avant qu'elles n'entraînent des catastrophes. *The Economist* (21 juin 2003) note qu'il a fallu à la fibre de carbone un quart de siècle pour passer de curiosité de laboratoire à matériau industriel. *"Mais avec tout le battage entourant aujourd'hui les nanomatériaux, le quasam devrait faire mieux que ça."* Certes, la technologie fera toujours mieux dans sa fuite en avant pour prévenir les catastrophes que cette fuite crée au fur et à mesure.

On aura noté que les *"nanotubes de carbone font aujourd'hui figures de molécules prodiges dans bien des domaines."* (*La Recherche*, Juillet/Août 2003) et que *"leurs propriétés mécaniques et électriques les rendent attrayantes pour de nombreuses applications : composants pour la microélectronique, renforts de matériaux composites, câbles à haute résistance, réservoirs d'hydrogène, muscles artificiels, etc. Mais toutes sont encore hypothétiques."*

*En effet, ces nanotubes coûtent encore quelques centaines d'euros par gramme et, surtout, ils sont très hétérogènes, difficiles à manipuler et à transformer."*

Les chimistes du CEA de Saclay s'efforcent donc de rendre ces fils solubles en les agglomérant avec des molécules "de type savon... pour former des suspensions, exactement comme elles le font, lorsque l'on nettoie des vêtements par exemple." De leur côté les membres de L'Institut américain des Ingénieurs Electriciens et Electroniciens tentent de définir et d'imposer leurs normes des fameux nanotubes, afin d'accélérer leur passage des laboratoires aux sites industriels (*The Economist* 21/06/03), dans le secteur des semi-conducteurs par exemple. Ou celui des implants corporels.

#### V

A Kyoto, l'équipe du Panasonic's Nanotechnology Research Laboratory élabore une micro-pile "au sucre" qui utilise comme carburant le glucose contenu dans le sang humain (*The Engineer*.

25/07/03. *Sciences et Avenir*. Septembre 2003). Celle-ci pourrait alimenter un pacemaker, un implant auditif ou toute autre prothèse nécessitant une alimentation électrique. *"Parmi ses autres applications, on peut imaginer des robots nourris au sucre... On pourrait implanter dans le corps humain des robots-soigneurs intelligents micro ou nanométriques... ils interviendraient chirurgicalement ou par diffusion d'un médicament. Une fois leur tâche accomplie, ils n'auraient plus qu'à ressortir par l'un des orifices naturels..."*

Sachant que le-risque-zéro-n'existe-pas, voilà qui promet de superbes aléas thérapeutiques, voire épidémiques. Sans compter, "dualité" aidant, la merveilleuse arme de destruction massive que pourraient constituer des robots vampires.

En admettant même la possibilité du risque zéro, le choix d'une médecine high-tech dans une société morbide plutôt qu'une prévention naturelle dans un milieu salubre, qui ne voit que ces nanomachines ne peuvent être que les produits et les agents dans le corps humain d'une machinerie totale, dont nous ne serions plus que des pièces intégrées. L'homme-machine matérialisant ainsi notre machinisme mental.

#### VI

Ce qu'indique cette revue de presse, c'est d'abord l'énorme battage, comme dit *The Economist*, qui promeut les nanotechnologies. En lui-même, ce battage relève à divers degrés de la mise devant le fait accompli, de la prophétie auto-réalisatrice et du bourrage de crâne. Ainsi impose-t-il les nanotechnologies à l'ordre du jour du front technoscientifique, qui commande, bien plus que la libéralisation du commerce, la guerre entre le monde et les maîtres du monde.

Au delà du battage, les fabuleux crédits investis par les états, leurs armées et les industriels à la recherche et au développement des nanotechnologies, ne partent pas qu'en fumée. Malgré ses retards et ses ratés, la machine avance. Son histoire ne s'arrête ni avec le nucléaire, ni avec l'informatique, la génétique, la robotique, dont l'érosion combinée travaille notre monde jusqu'à l'effondrement de pans entiers. Rien ne sert de gémir, il faut agir à temps. Si contester, c'est prévoir, force est de reconnaître que les nanotechnologies (ce que le battage nomme ainsi), exercent une poussée massive dans les laboratoires, qu'elles sont au bord, à quelques années, du saut industriel. Leur échec dépend aussi de nous. C'est maintenant qu'il faut s'y employer.