

## Définir le risque entre raison et ressenti !

Présentes dans notre environnement depuis toujours, les nanoparticules s'affirment comme une révolution technique depuis quelques années. Comme toute nouvelle technologie, elle alimente les sentiments les plus divers quant aux nouveaux risques qu'elle pourrait engendrer.

**L**e CNRI, Giat Industries et le CRMD se préoccupent de l'analyse des risques particuliers des procédés industriels mettant des nanoparticules en œuvre. Un projet post-doctoral, dont les résultats seront publiés au premier trimestre 2005, est en cours. Le CRMD est membre du réseau d'excellence Inside Pores et une participation conjointe avec Giat Industries à ce réseau sur le thème des dangers liés à l'utilisation des nanomatériaux est en cours d'élaboration.

Présentes dans notre environnement quotidien depuis la nuit des temps, les particules ultrafines, ou nanoparticules (du grec nanos qui signifie nain), n'ont pu être visualisées que depuis peu. Souvent associées à des visions de matériaux et de machineries construites atomes après atomes et dotées de propriétés exceptionnelles allant jusqu'à l'auto-reproduction de leurs analogues naturels, les virus, les nanomachines vivantes sont encore loin d'égaliser la nature. Les nanomatériaux, quant à eux, sont déjà une réalité industrielle. S'ils ne posent pas, bien entendu, les mêmes problèmes éthiques, leurs effets sur l'environnement et la santé prêtent déjà à controverse. Les nanoparticules ne sont pas une nouveauté. Dans la nature, les fumées de tabac ou d'encens sont des nanoparticules organiques complexes. Près de l'océan, l'air est chargé de nanocristaux minéraux, de sel marin. Mais puisqu'il n'était pas possible de les voir, elles n'étaient pas bien connues. Il faut se rendre compte qu'un nanomètre est au mètre ce que le diamètre d'un pamplemousse est à celui de la Terre. Il a donc fallu attendre 1981 et l'arrivée du microscope à effet tunnel de Gerd Binnig et Heinrich Rohrer (prix Nobel de physique en 1986) pour observer l'organisation de la matière au niveau atomique.

### Micro/Nano : qu'est-ce qui change ?

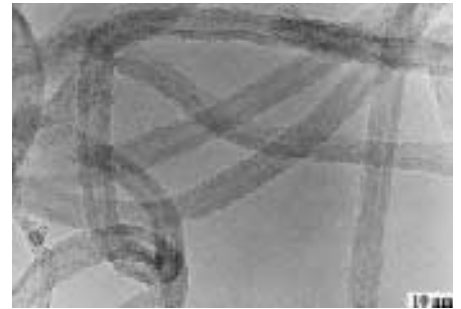
L'échelle nanométrique modifie l'influence de différents phénomènes sur le comportement des particules. Il en résulte des propriétés physiques, chimiques et mécaniques différentes de celles des matériaux classiques. Les nanomatériaux, tels les nanotubes de carbone ou d'oxyde de titane (voir photos), montrent des propriétés thermodynamiques, optiques, magné-

tiques et électriques qui leur sont propres. Des phénomènes négligés pour les besoins en approximation nécessaire à l'étude théorique doivent être considérés pour l'étude des nanomatériaux. Ainsi, pour l'étude des poudres nanométriques, la physique des milieux granulaires devra être adaptée à la taille des particules considérées.

### Entre angoisse et précaution, un remède : la connaissance

Les nanosciences résultent de la compréhension des propriétés de la matière à l'échelle atomique et de l'unification des sciences de l'état condensé (physique, chimie, biologie). Plus que l'émergence d'une véritable discipline, les nanosciences sont le résultat de la convergence de différentes disciplines au niveau moléculaire voire supramoléculaire. Ouvrant peut-être la porte à une nouvelle révolution industrielle, les nanotechnologies permettent de créer de nouvelles fonctions, d'observer de nouvelles propriétés, d'innover vers un vaste domaine d'application. Cependant, alors que les promesses des nanotechnologies sont à peine formulées, de terrifiants périls sont déjà prédits par certains dans un avenir aussi proche qu'apocalyptique. Bien plus, des acteurs pionniers du développement des nanotechnologies, tels Eric Drexler et Bill Joy, ont eux-même réveillé ces peurs alors que personne, et surtout pas le public qui ignorait tout des nanotechnologies, ne s'en était encore préoccupé.

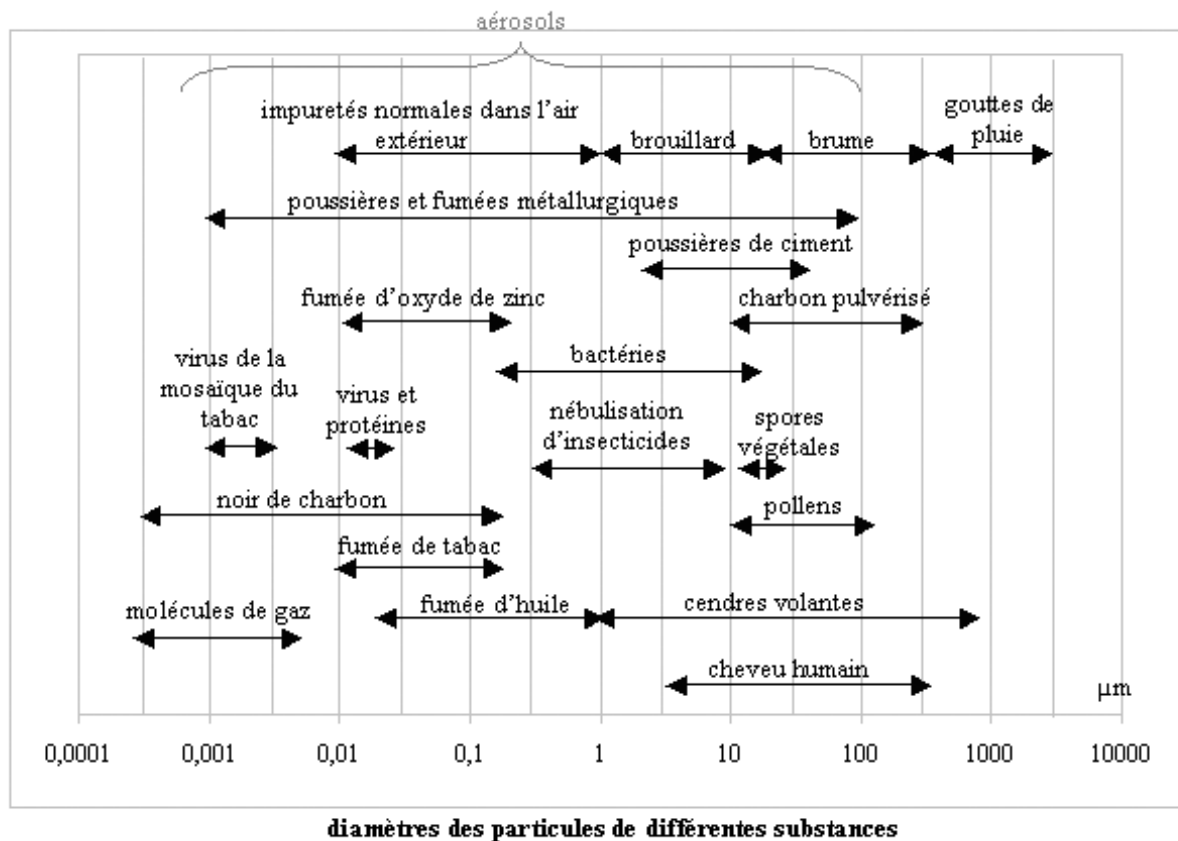
Ainsi, les nanosciences et les nanotechnologies sont en débat alors qu'elles commencent seulement à avoir une existence réelle. Par analogie aux OGM, le principe de précaution est brandi face aux innovations issues des nanotechnologies. Les messages les plus alarmistes fleurissent et chacun y va de son pamphlet avant même de connaître les véritables enjeux et risques associés aux nanosciences et aux nanotechnologies : ainsi, même le prince Charles, après la lecture du roman de Michael Crichton, "la proie", envenime le débat par des considérations sans aucun fondement scientifique, issues de la fiction. La "Green Goo" fait rage sur le web, affolant le public et attisant le débat.



Nanotubes de carbone (cliché CRMD)

Loin de la gelée verte, le risque n'est pas encore de développer des nanomachines ou des nanorobots susceptibles de nous envahir. Nous en sommes encore loin. La vraie question, à court et moyen terme, est l'effet de la dispersion de nanomatériaux de synthèse dans notre environnement au cours de leur utilisation ou de leur destruction. Ils pourraient en effet s'accumuler dans l'environnement sans se dégrader et ainsi perturber les écosystèmes voire avoir des effets toxiques sur l'Homme. L'indestructibilité de certaines espèces ou au contraire leur extrême réactivité, leur capacité à adsorber et à transporter des molécules dangereuses et, bien sûr, leur extrême mobilité sont mise en avant. Sur ce point, des études scientifiques ont été réalisées ou sont en cours, études dont les résultats permettent d'adopter une attitude prévoyante mais raisonnée.

Günter Oberdörster (université de Rochester) signalait en 2002 que les nanoparticules sont générées par la nature en centaines de millions de tonnes par an (embruns, volcanisme, poussières désertiques) et par l'industrie. La combustion, et en particulier celle qui a lieu dans les moteurs (diesel ou essence) produit des dizaines de millions de tonnes de particules nanométriques par an. Ainsi, en atmosphère urbaine, il y a typiquement entre 10 et 20 millions de particules de taille inférieure à 100 nm par litre d'air, ce qui représente entre 1 et 2 nanogrammes de matière. Tout processus de combustion est en quelque sorte de la nanotechnologie (avis aux fumeurs) ! Il ne faut donc pas diaboliser des matériaux sous prétexte qu'ils sont associés au préfixe "nano".



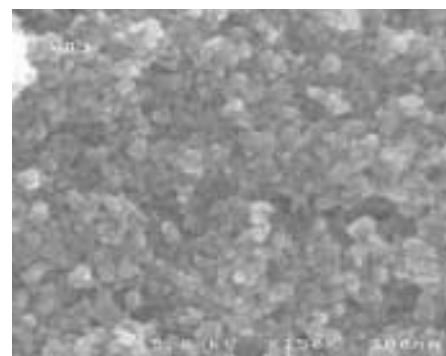
D'un autre côté, se contenter d'un optimisme aveugle est impensable. L'histoire nous a montré que des produits commercialisés en masse et présentant un fort intérêt pouvaient se révéler nocifs (amiante et DDT par exemple). Les particules ultrafines ont, de part leur taille, non seulement la faculté d'atteindre les ramifications les plus profondes des voies respiratoires (comme c'est aussi le cas des particules fines de diamètre inférieur à 2,5 µm) et ont de grandes facilités pour franchir les barrières épithéliales (alvéolaires ou intestinales) et passer dans la circulation sanguine. Toutefois, rien ne prouve que cela soit dangereux. On sait aussi que sous certaines conditions, les nanoparticules peuvent pénétrer l'intérieur des cellules : les nanoparticules de moins de 50 nm ont tendance à infiltrer les cellules. La question est alors de savoir où se dirigent ces nanoparticules et comment elles sont distribuées dans le corps. Apparemment, les particules de taille plus réduite circulent dans le corps de façon plus prolongée, peuvent dans certains cas franchir la barrière hémato-méningée et peuvent certainement sortir des vaisseaux sanguins et se retrouver dans les fluides intercellulaires. Les

nanoparticules peuvent donc se rendre jusqu'aux parties du corps qu'aucune matière inorganique n'avait réussi à atteindre (travaux de Vicki Colvin, de Rice University). Une autre particularité des nanoparticules est que, pour un volume inhalé équivalent, une particule de 5 µm équivaut à 12 500 particules de 100 nm représentant une surface 50 fois plus grande. Le grand nombre de ces très fines particules et leur grande surface spécifique augmentent d'autant les contacts avec les membranes et les molécules biologiques. Ces contacts, sources de radicaux, sont responsables, au moins en partie, de la toxicité des poussières qui possèdent un potentiel inflammatoire important, et ce également pour des poussières dites "inertes" telles que le dioxyde de titane ou la silice amorphe. L'inflammation est à l'origine de nombreuses pathologies pulmonaires (emphysème, fibrose, silicose) consécutives à l'inhalation de poussières ou même digestive dans le cas de la maladie de Crohn. Nous pourrions citer encore de nombreux résultats partiels d'études mais le plus important est de mettre en avant le fait qu'il serait prématuré et irréaliste de condamner les nanoparticules sur la base des études de

toxicité disponibles actuellement. Il serait tout aussi naïf et dangereux de faire un simple transfert des connaissances des particules micrométriques aux particules nanométriques. L'attitude la plus adaptée semble de poursuivre les études de toxicologie, de développer des procédés intégrés et d'agir dans le sens d'un développement maîtrisé mais continu des nanotechnologies.

### Cycle de vie : un moyen d'évaluer les risques

L'analyse du cycle de vie (ACV ou en anglais LCA pour *Life Cycle Assessment*)



TiO<sub>2</sub> nanométrique (cliché Giat)

## MANIFESTATIONS

**Journée thématique "Ces outils informatiques au cœur des scénarios d'accident"**, journée organisée par le CEPR et la chambre de commerce des Deux-Sèvres à Niort le 20 janvier 2005.

Contact : Catherine Maltere (CEPR),  
Tél. 05 49 04 66 77 - cepr@cepr.fr.

**L'affaire Enron : scandale ou Tchernobyl financier ?** : journée IMdR-SdF en collaboration avec l'Institut Européen des Cindyniques, le 25 janvier à Paris, Ministère de la recherche, Carré des sciences.

IMdR-SdF : Tél. 01 45 36 42 11  
imdr-sdf@wanadoo.fr

**Tracabilité 2005** : 2<sup>e</sup> édition au CNIT Paris La Défense du 25 au 27 janvier. Réseau Exposium <http://www.tracabilite2005.com>

**13<sup>es</sup> rencontres de l'AMRAE (Association pour le management des risques et des assurances de l'entreprise)**, à Biarritz du 26 au 28 janvier. Tél. 01 42 89 33 16  
amrae@amrae.fr - <http://www.amrae.fr>

**Journée professionnelle "les dossiers de demande d'autorisation d'exploiter"**, organisée par l'Inreris à Verneuil-sur-Halatte le 27 janvier 2005. Contact :  
Virgine Bouin, tél. 03 44 55 65 72  
virginie.bouin@ineris.fr

**Intensification des procédés et sécurité**, journée organisée par le groupe thématique *Sécurité* de la SFGP, à Toulouse le 28 janvier 2005 à l'ENSIACET. Contact : Virgine Bouin (Ineris), tél. 03 44 55 65 72  
virginie.bouin@ineris.fr

**Préventica 2005** : 8<sup>e</sup> congrès pour la prévention des risques professionnels et l'optimisation des conditions de travail, à Bordeaux les 2 et 3 février.  
<http://www.preventica.com>

**Convergence et divergence entre sécurité informatique et sûreté de fonctionnement** : journée IMdR-SdF le 17 février à Paris, Ministère de la recherche, Carré des sciences.  
IMdR-SdF : Tél. 01 45 36 42 11  
imdr-sdf@wanadoo.fr

**Contaminexpo** : 9<sup>e</sup> forum pour la prévention et à l'étude de la contamination, ainsi que le congrès ContaminExpert, à Paris Porte de Versailles (hall 5), du 15 au 18 mars.  
ASPEC Tél. 01 44 74 67 00  
<http://www.aspec.asso.fr>

## Analyse du cycle de vie de nanomatériaux sur la base de la méthodologie MECO

	Matériau : Materials	Energie : Energy	Chimie : Chemicals	Autres : Others
Synthèse	- Risques liés aux matières premières (allergènes...) - Risques liés au procédé (mécanosynthèse) - Risque électrostatique	- Risque électrostatique - Risque thermique (emballage) - Risque électrique	- Risque de réaction et d'emballage de réaction	Risque CMR*
Stockage et propriétés intrinsèques	- Risque liés aux aérosols - Risques liés à la perméabilité des membranes biologiques	- Combustion - Déflagration - Détonation - Propagation de feu	Risque de pénétration dans les membranes cellulaires - Haute réactivité pouvant produire des toxiques	Risque CMR
Utilisation	- Risque liés aux aérosols - Risque lié à la friction (grippage, échauffements) - Risque liés à la pollution des installations (dispersion) - Pénétration des filtres classiques	- Combustion - Déflagration - Détonation - Propagation de feu	- Risque de pénétration dans les membranes cellulaires - Haute réactivité pouvant produire des toxiques - Rémanence	Risque CMR
Destruction	- Compatibilité avec les autres matériaux - Produits de réaction et traitement des effluents - Filtres classiques inadaptés	- Combustion - Déflagration - Détonation - Propagation de feu	- Réactivité accrue	Risque de ne pas trouver de méthode de destruction
Transport	- Conditionnement à adapter (sous atmosphère contrôlée, température, humidité)	Pas de contrainte particulière par rapport aux matériaux micrométriques	Sous vide, sous gaz inerte, en phase liquide, sous air	Nécessité éventuelle de fragmenter les masses, et d'isoler de l'humidité

\*CMR = cancérogène, mutagène et toxique pour la reproduction

est le terme technique utilisé depuis 1993 pour désigner une méthode d'analyse systématique des impacts environnementaux de la fabrication de produits ou de services. Si une analyse de LCA complète n'a pratiquement jamais été réalisée, il est toutefois intéressant d'utiliser la terminologie pour analyser les impacts, non seulement vis-à-vis de l'environnement mais aussi des risques industriels et biologiques, de l'usage des nanomatériaux au cours de leur existence, depuis leur fabrication jusqu'à leur destruction. Il existe trois niveaux d'analyse : une méthode qualitative (LCA-Matrix), une méthode semi-quantitative et une méthode complète qui prend en compte des données détaillées sur les impacts environnementaux. La complexité de ces méthodes a conduit certains auteurs à proposer des méthodes simplifiées de classification des impacts.

L'une d'elle consiste à séparer, pour chaque étape de la vie du matériau, son comportement en terme de matériau M, de vecteur énergétique E (énergie ayant servi à le produire, énergie nécessaire et produite à sa destruction), de

produit et procédé chimique actif C et de contribution à l'impact environnemental non listé par les trois précédents points O.

Le tableau d'analyse MECO présente une collection, bien sûr non exhaustive, des risques et impacts environnementaux à cinq différents stades de la vie des nanomatériaux.

Quoi qu'il en soit, aucune des études menées ne permet réellement de conclure à un risque accru, mais il convient bien sûr de continuer à mener les investigations en parallèle des développements technologiques.

Peggy Lamy (CNRS - CRMD),  
Luc Brunet (CNRI),  
et Jean Caillard (Giat Industries),  
Réseau CNRI

### Pour en savoir plus :

- Article plus complet et références sur le site [www.cnri-bourges.org](http://www.cnri-bourges.org) : les résultats du postdoc seront publiés au premier trimestre 2005.

- NanoTech 2005, du 23 au 25 février 2005, à Tokyo. [www.ics-inc.co.jp/nanotech/](http://www.ics-inc.co.jp/nanotech/)