



Brochure d'information

Nano ! Nenni ?

publifocus «Les nanotechnologies et leur importance pour la santé et l'environnement»

Table des matières

Avant-propos

- P. 1 *Le nanomètre, une dimension qui a la cote*
- P. 4 *Un nouvel univers technique*
- P. 6 *Du verre à vitre aux anticancéreux*
- P. 8 *Des nanoparticules préoccupantes*
- P. 10 *Perspectives pour l'environnement et la société*
- P. 11 *Discussion des risques et recherche nanotechno - logiques en Suisse*
- P. 12 *Au sujet du publifocus et pour en savoir plus*

Impressum

Cette brochure peut être commandée auprès de TA-SWISS ou sur www.ta-swiss.ch.

Page de couverture : photo BASF. «Nanocubes», dont les pores internes, de l'ordre du nanomètre, sont susceptibles de servir au stockage de l'hydrogène.

Avant-propos

Les nanotechnologies seront, dit-on, les disciplines clés du XXI^e siècle. Les résultats des recherches en nanosciences et les produits qui en découlent renferment un énorme potentiel économique. Ils modifieront notre quotidien et auront aussi des retombées sur l'environnement. Le travail à l'échelle nanométrique entraînera en outre une «fusion» des domaines techniques et de recherche en physique, chimie, médecine, biotechnologie, informatique, génie électrique et sciences des matériaux. Il n'empêche que l'importance des nanotechnologies est encore largement ignorée du grand public.

Les recherches et les expérimentations s'effectuent dans ce domaine au niveau de l'atome ou de la molécule. À cette échelle comprise entre un et cent milliardièmes de mètre, les propriétés de certaines substances se modifient, parfois radicalement. Et ce sont précisément ces phénomènes qui ouvrent de nouvelles perspectives techniques. Mais le risque n'est pas nul. Des particules inoffensives lorsqu'elles sont de l'ordre du

micromètre (millionième de mètre) peuvent, en effet, devenir préoccupantes pour les humains et l'environnement lorsqu'elles sont réduites au nanomètre (milliardième de mètre). En mai 2006, huit associations écologiques et de consommateurs des États-Unis ont demandé à l'Administration fédérale de faire retirer du marché tous les produits cosmétiques renfermant des nanoparticules synthétiques (de dioxyde de titane ou d'oxyde de zinc) parce que susceptibles de représenter un risque de santé. Les autorités sanitaires américaines et l'industrie cosmétique nient toutefois l'existence d'un danger pour l'être humain. Une controverse similaire existe en Suisse au sujet des crèmes solaires contenant des nanoparticules. Or, bien que nos autorités se veuillent rassurantes, la nécessité ou non d'une réglementation ou d'une obligation de mention pour les produits issus de la nanotechnologie n'a pas encore été examinée. Beaucoup de points restent donc à éclaircir et de décisions à prendre.

Le monde politique suit les évolutions techniques avec attention. Comme pour toutes les autres technologies nouvelles, il s'agit de découvrir quelles sont les potentialités et les limites des nanotechnologies – et aussi de déterminer quels sont leurs avantages pour lesquels il semble valoir la peine de couvrir certains risques. Des études aident à mettre le pour et le contre en balance et à soupeser leurs conséquences. Si, au vu de ces évaluations, l'élaboration de nouvelles lois se révélait nécessaire, elle devrait prendre l'opinion publique en compte. C'est la raison pour laquelle le Centre d'évaluation des choix techno-

logiques TA-SWISS veut montrer quelle est, en ce moment, la position de la population face aux nanotechnologies et sur quels arguments repose son appréciation. Et c'est à cette fin qu'il organise pour septembre 2006 un publifocus dont les soirées de discussion auront respectivement lieu dans les trois principales régions linguistiques du pays. Chacune d'elles réunira, comme le veut cette méthode participative, une quinzaine de personnes choisies au hasard pour débattre de questions en rapport avec les nanotechnologies. La présente brochure est une base d'information établie à cet effet. Elle explique ce que sont ces technologies, leurs applications, leurs perspectives de développement, leurs avantages et leurs dangers et qui, en Suisse, joue un rôle dans ce domaine. Après le publifocus, les opinions des participants seront rassemblées dans un rapport devant paraître à la fin de l'année et servir à l'information des parlementaires et du public intéressé.

Le publifocus «Les nanotechnologies et leur importance pour la santé et l'environnement» est organisé en coopération avec l'Office fédéral de la santé publique (OFSP), l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) et la HES zurichoise de Winterthur (ZH). Il bénéficie aussi de l'appui critique d'un vaste groupe de spécialistes issus du monde politique et social, de la recherche, des sciences, de l'économie, des médias et de la protection des consommateurs.

*Michael Emmenegger,
chef de projet du publifocus
«Les nanotechnologies et leur importance pour la santé et l'environnement»*

Le nanomètre, une dimension qui a la cote

La nanotechnologie a ouvert de nouveaux champs d'exploration dont les potentiels d'exploitation suscitent un grand intérêt dans le monde économique. La recherche helvétique est l'un des pionniers de ces techniques révolutionnaires.

Le shampoing Nanoguard réduit visiblement la chute des cheveux en trente jours seulement d'utilisation. Un pare-brise traité à l'Absolut Nano se débarasse de la pluie et de la neige en les faisant perler. La raquette de tennis NanoSpeed de la compagnie Yonex fait rebondir la balle avec plus d'élan.

De telles allégations vont depuis peu en se multipliant dans les médias. Elles usent du mot «nano» comme s'il était magique – comme s'il désignait une technologie clé du XXI^e siècle qui allait exercer une influence dans tous les domaines de la vie quotidienne.

Que signifie «nano» ?

Mais au fait, que veut dire «nano» ? Au sens premier, ce préfixe désigne simplement l'ordre de grandeur du milliardième (10^{-9}). En nanotechnologie, il est synonyme de nanomètre (nm), soit un milliardième de mètre (ou millionième de millimètre). Pour s'en faire une idée: c'est environ la taille d'une molécule de saccharose, qui est à une pomme ce que celle-ci est à la Terre. Autrement dit, l'univers de la nano est celui des atomes et des molécules: un atome d'hydrogène a un diamètre de 0,1 nm, une molécule d'ADN de 2,5 nm et un cheveu... de 50 000 nm ! Les nanotechnologies recouvrent aujourd'hui l'ensemble des matériaux et des structures d'une dimen-

sion de 0,1 à 100 nm obtenus par procédé technique dans un but déterminé.

Dans la pratique, le terme n'a toutefois pas encore de définition précise, ce qui pose plus d'une question. Par exemple, suffit-il qu'une particule soit de taille nanométrique comme dans la suie de la fumée d'un feu de bois pour constituer une nanoparticule, ou ce vocable doit-il être réservé aux éléments de synthèse, c'est-à-dire produits artificiellement ? D'aucuns voudraient aussi que le terme de nanomatériau ne soit utilisé que pour ceux présentant des propriétés physiques ou chimiques différentes selon la taille de leurs composants. Par exemple le dioxyde de titane qui, blanc lorsqu'il est utilisé en poudre dans les peintures, devient incolore et transparent sous forme de nanoparticules anti-UV entrant dans la composition de crèmes solaires. Il est, par conséquent, nécessaire de trouver des définitions internationales



contraignantes afin d'asseoir les futures réglementations et prescriptions sur une base sans équivoque. Et cela est particulièrement indispensable pour les produits et les applications recourant à des nanoparticules de synthèse.

Nano ou pas nano ?

Nano est aussi un terme à la mode qui peut parfois prêter à de sérieuses confusions. À fin mars 2006, le produit ménager en aérosol «Magic Nano» fit en Allemagne, où il venait d'être commercialisé, les gros titres – négatifs – des journaux. Vanté comme vitrifiant des surfaces de verre et de céramique, il avait provoqué des difficultés respiratoires chez plus de 110 personnes, dont six durent être hospitalisées pour un œdème pulmonaire. On craignait tout d'abord que des nanoparticules présentes dans le spray aient déclen-



ché ce problème de santé. La révélation des analyses qui s'ensuivirent fut... qu'il n'en contenait pas ! Les troubles pathologiques constatés avaient leur origine dans l'extrême finesse des gouttelettes générées par le propulseur et les produits chimiques qu'elles contenaient.

Cet aérosol n'en est pas moins un produit nano, car le film vitrifiant qu'il dépose sur les surfaces n'a que quelques nanomètres d'épaisseur.

Partie intégrante de la nature

L'univers de la nano n'est pas une invention humaine. Une nanostructure à la surface des feuilles de lotus fait perler très rapidement l'eau qu'elles reçoivent et en glissant, les gouttelettes ainsi formées entraînent avec elles les saletés



(ill. p. 2). Dans le cas des glaces de voiture autonettoyantes, cet «effet lotus» est imité par des couches nanostructurées produites industriellement. Les doigts de la plupart des geckos sont pourvus à leur extrémité de très nombreux poils extrêmement fins qui les maintiennent à quelques nanomètres de leur support. Or les microforces qui se créent à une distance aussi infime entre les molécules des poils et celles du support provoquent une adhérence si forte que l'animal peut sans problème se promener à l'envers au plafond d'une pièce (ill. p. 2). Les nanodimensions peuvent aussi accroître la résistance

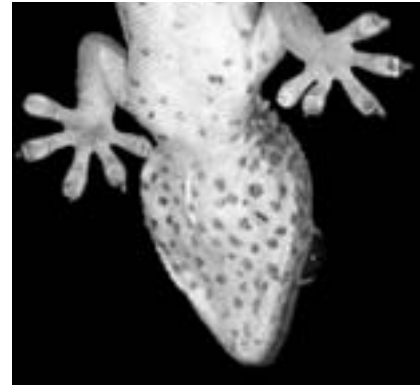
mécanique: alors que le carbonate de calcium est plutôt tendre sous forme de craie pour écrire au tableau noir, il acquiert une extrême dureté lorsqu'il constitue la structure en couches nanométriques de la coquille d'un gastéropode marin comme l'«oreille de mer».

L'on trouve de même des éléments de taille nanométrique sous forme de colloïdes naturels (petits agrégats de molécules) dans quantité de denrées alimentaires, telles la caséine (100 nm) et les protéines du petit-lait (3 nm). Et c'est aussi en raison de leur dimension dans la plupart des cas inférieure à 100 nm que les virus peuvent s'insinuer au cœur de cellules du corps et y commettre leur méfait. Les nanostructures et nanoparticules ont donc toujours fait partie de notre vie – même si ce n'est que depuis tout récemment qu'il est question de «nano». Le fait que celle-

ci soit devenue un thème d'actualité a largement ses origines en Suisse. Il y a peu de temps encore, le monde des atomes et des molécules était trop petit pour être vu. Or c'est en Suisse qu'a été inventée la technique de microscopie qui a fini par permettre de visualiser les nanostructures et même de déplacer des atomes un à un.

Comment le nano devint visible

Utilisé depuis le XVII^e siècle, le microscope optique a fortement contribué aux découvertes faites en biologie et en médecine. Les longueurs d'onde naturelles des rayons lumineux limitent toutefois leur résolution à quelques centaines de nanomètres, ce qui correspond à un grossissement d'environ 1 500x. Cela suffit certes pour voir les cellules tissulaires et les bactéries, mais non pas les virus et les molécules in-



Kellar Autumn, Lewis & Clark College

dividuelles. L'apparition du microscope électronique dans les années 1930 a constitué un énorme progrès. Il a accru la résolution d'un facteur 100 à 1 000 et permis ainsi de visualiser le domaine du nanomètre. Et il est devenu alors possible, par exemple, d'observer dans le noyau des cellules les deux chaînes moléculaires de l'ADN (acide désoxyribonucléique, dépositaire de l'information génétique).

Le microscope à effet tunnel (STM, Scanning Tunneling Microscope) a offert en 1981 à la recherche de nouvelles possibilités d'investigation. Il a été conçu au laboratoire de recherche fondamentale IBM de Rüslikon, près de Zurich, par Heinrich Rohrer et Gerd Binnig, qui eurent l'idée de scanner des échantillons métalliques à l'aide d'une aiguille mobile de tungstène dont la finissime pointe n'est constituée que d'un seul atome. Lorsque l'on approche cette sonde de taille nanométrique d'une surface conductrice d'électricité au point que l'espace restant entre elles est également d'environ un nanomètre, les atomes de part et d'autre sont si proches que leurs électrons commencent, mal-

gré le fait qu'elles ne se touchent pas, à passer de l'une à l'autre. Le courant électrique créé par cet «effet tunnel» (dont l'explication est à chercher dans la théorie de la mécanique quantique) est d'autant plus fort que la surface de l'échantillon et la sonde métalliques sont plus près l'une de l'autre. Il suffit dès lors de faire en sorte que la pointe quadrille la surface à explorer (donc la survole ligne par ligne) et de tracer le diagramme du courant résultant pour obtenir une image tridimensionnelle de l'échantillon. Le STM permet ainsi de visualiser des dimensions de l'ordre du centième de nanomètre – faisant apparaître les atomes comme des boules de billard.

Ce microscope sert non seulement à «voir» les atomes de surface, mais aussi à les «saisir». En effet, si l'on place la pointe de sa sonde directement sur l'échantillon, des atomes y restent suspendus, si bien qu'il devient possible de les déplacer. Le microscope à force atomique (AFM), développement du STM, permet d'étudier également des matériaux non conducteurs et a apporté ainsi la vision atomique dans le monde de la biologie (ill. p. 3).

Un énorme potentiel économique

C'est grâce à ces nouveaux microscopes que l'univers de la nano s'est ouvert dans toute sa diversité à la recherche appliquée. L'accroissement des capitaux mis à disposition ces dernières années pour la soutenir est impressionnant. En 1998, les gouvernements lui allouèrent des crédits estimés pour l'ensemble de la planète à 600 millions de \$. Déjà grimés à 2,1 milliards en 2002, ils devraient



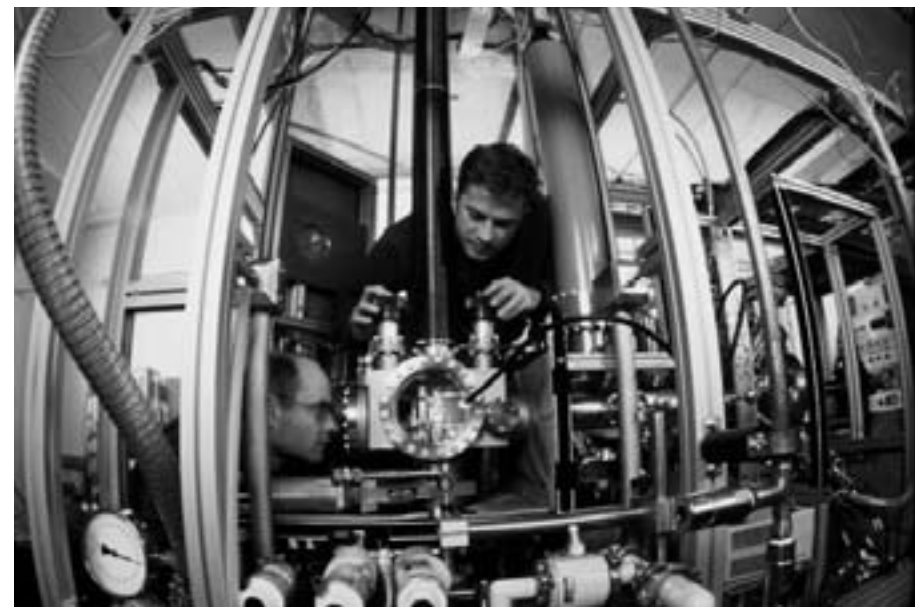
New World Landscapes
www.lotusan.de

www.lotuseffect.de
BASf

atteindre les 6 milliards cette année. Les sommes consacrées par l'Europe, les États-Unis et le Japon sont sensiblement égales. De son côté, l'industrie mondiale investit un montant pour le moins aussi élevé que cette manne étatique dans la réalisation de projets nanotechnologiques. Aux États-Unis, les deux tiers des trente plus grandes compagnies sont déjà à l'œuvre dans ce domaine. Sur le plan mondial, environ 2 000 jeunes entreprises conçoivent et mettent au point des produits nano. L'Allemagne compterait déjà à elle seule quelque 100 000 emplois directement ou indirectement dépendants de la nanotechnologie. Le programme prioritaire «Nanosciences» du FNS part du principe que 500 personnes environ travaillent en Suisse dans la recherche, et autant dans l'industrie nanotechnologique. L'on estime par ailleurs que la somme annuelle des crédits publics alloués à la recherche dans les nanotechnologies et domaines connexes est de l'ordre de 50 millions de CHF par an, ce qui, proportionnellement à sa population, place la Suisse, selon le seco, en tête de tous

les pays du monde. Le chiffre d'affaires réalisé par la vente de produits nano est très difficile à évaluer, car il n'existe pas de définition précise permettant de déterminer ceux qui entrent dans cette catégorie. Il doit tourner en Suisse autour des 150 millions de CHF par an avec une tendance à la hausse. Que le monde de la finance ait déjà investi des milliards de dollars de capital-risque dans cette nouvelle technologie est une autre preuve des énormes attentes qu'elle suscite. L'avenir dira si elles sont justifiées. Pour l'instant, l'on assiste à la montée en puissance d'une déferlante de produits nano sur le marché mondial. Estimé actuellement à 80 milliards de \$, leur volume de vente devrait, selon les pronostics, frôler le billion en 2015.

Que de vieux trucs soient relookés en produits nano est le mauvais côté de cette ambiance de ruée vers l'or. Par ex-



Laboratoire Hans-Josef Hug, NCCR Nanoscale Science



Nanosurf, Liestal

emple, tout producteur de pneus ou fournisseur d'encre d'imprimerie noire peut prétendre à la nano dans sa publicité du fait que, depuis des décennies, ces produits contiennent des particules de suie de taille nanométrique. Et si l'iPod nano enregistre 1 000 chansons dans un boîtier électronique de la taille d'un briquet, ce n'est pas pour autant que cette merveille « prodigieusement petite » (à en croire la publicité) ait grand-chose à voir avec la nanotechnologie. Il n'y a pas jusqu'aux scientifiques qui n'aient appris à évoquer la nano pour obtenir des crédits de recherche. Un chercheur suédois a avoué s'être fait octroyer récemment 1,7 million d'€ dans le cadre d'un programme de nanobiotechnologie de l'UE alors que son projet de production de structures de soutien miniaturisées pour les tissus artificiels aurait aussi passé la rampe sans ce label !

Un nouvel univers technique

Leur extrême petitesse confère aux nanoéléments des propriétés inconnues aux échelles supérieures. Les nanotubes et les nanoperoles de carbone sont particulièrement intéressants.

Chaque élément chimique a des propriétés propres que nous percevons par sa couleur, élasticité, température de fusion, etc. Or, lorsque l'on miniaturise toujours davantage un objet fabriqué dans le même matériau, ses propriétés peuvent changer radicalement lors du passage à l'univers de la nano. Ainsi, dans notre macromonde, l'or est de couleur jaune alors que ses nanoparticules sont rouges. Le carbone sous forme de graphite dont est faite la pointe d'un crayon est assez

tendre alors que sous forme de tubes de taille nanométrique, il supporte une charge cent fois plus lourde que ne le peut l'acier. L'aluminium d'une cannette est inoffensif alors qu'à l'échelle nanométrique ses particules deviennent explosives et peuvent servir de catalyseur dans le carburant des fusées.

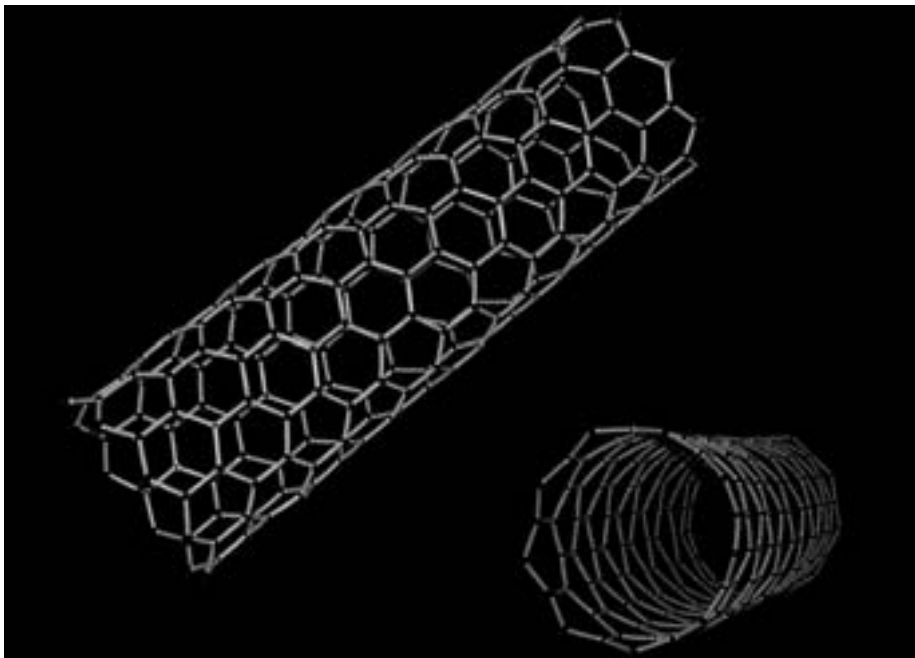
Pourquoi la nano est différente

Ces modifications de propriétés sont souvent dues au passage à d'autres lois de la physique. Le macromonde dans

lequel nous vivons est régi par les lois de la mécanique classique alors que l'univers de la nano est soumis principalement à celles de la mécanique quantique, lesquelles n'ont d'effets manifestes qu'à de très petites dimensions.

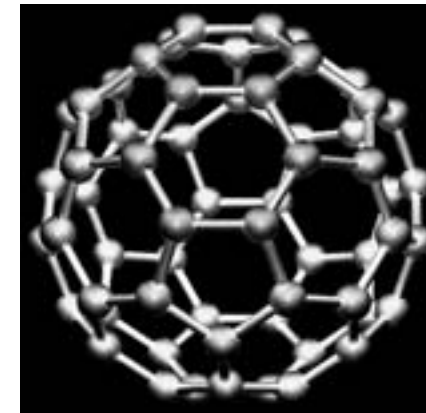
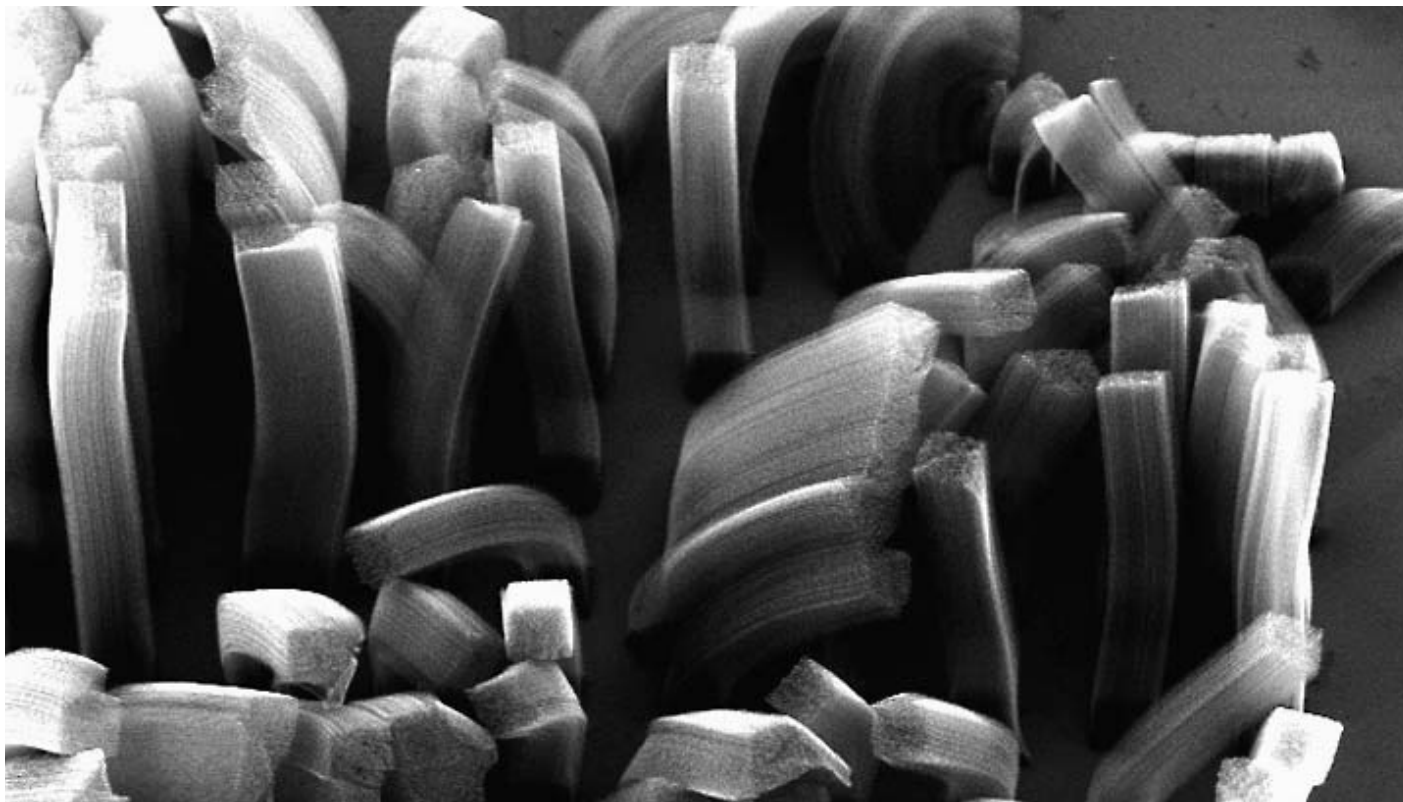
Une autre cause de ces différences de caractéristiques réside dans les longueurs d'onde de la lumière visible, comprises entre 400 et 800 nm. Seuls les objets qui réfléchissent ces ondes ont pour nous une couleur. Comme nombre de nanomatériaux – tel le dioxyde de titane dans l'exemple des crèmes solaires déjà donné – sont composés de particules se situant hors de cette fourchette dimensionnelle, ils nous paraissent transparents. Dans de nombreux cas, l'effet nano repose aussi sur la modification du rapport entre la surface et le volume (voir ill. à droite). Ainsi, un cube d'une longueur d'arête de 1 000 nm est formé d'environ 1 milliard de molécules dont 0,6 % se trouvent en surface. Un cube de 10 nm de côté n'en compte plus que 1 000, mais 50 % d'entre elles sont sur ses faces. C'est cet énorme accroissement de surface qui peut transformer des substances normalement peu actives en nanoparticules hautement réactives. Et c'est cette réactivité qui fait que le matériau fond beaucoup plus rapidement, a une capacité d'absorption bien supérieure (par exemple de rayons UV dans une crème solaire) ou devient même dangereusement explosif. L'or par exemple, métal noble chimiquement des plus inertes dans le macromonde, se prête à l'échelle nanométrique au déclenchement de la réaction catalytique dans les piles à combustible.

Selon un aperçu général publié au



www.nccr-nano.org/nccr

mois de mars 2006 par le Woodrow Wilson International Center for Scholars à Washington, 212 produits nano sont actuellement offerts sur le marché sous forme de biens de consommation (128 aux États-Unis, 42 en Asie orien-



www.ncct-nano.org/ncct

www.ncct-nano.org/ncct

tale, 35 en Europe et 7 dans le reste du monde). S'y ajoutent quelque 600 nanomatériaux bruts et nanocomposants. L'on ignore, en revanche, combien de produits contenant des nanoparticules ou des nanostructures sont commercialisés sans qu'il soit fait état de leur présence. Les descriptifs des 212 produits déclarés nano annoncent, par exemple, 29 fois le carbone comme étant le principal nanomatériau utilisé, 25x l'argent, 14x le quartz, 8x le dioxyde de titane, 8x l'oxyde de zinc et 1x l'oxyde de cérium.

Nanotubes et buckyballs

Nanomatériau le plus utilisé, le carbone présente à cette échelle des structures totalement insolites, ce qui en fait le cheval de bataille (mais aussi, comme nous le verrons plus loin, l'«enfant à problème») de la nanotechnologie. C'est en 1991 que NEC, géant japonais de l'électronique, réussit à produire les premiers nanotubes de carbone (ill. p. 4). Pour les obtenir, on remplit une chambre à haute pression d'un gaz riche en molécules de carbone, puis l'on envoie un courant de choc ou un éclair laser qui, en les atteignant, provo-

que la transformation de leurs atomes en longs cylindres creux (ill. ci-dessus)

D'un diamètre de un nanomètre et d'une longueur pouvant atteindre plusieurs milliers de nanomètres, ces «spaghetti» de carbone offrent, bien que six fois plus légers que l'acier, une capacité de charge cent fois supérieure à la sienne tout en étant flexibles. Ils sont extrêmement thermorésistants et thermoconducteurs (plus que le diamant, qui est lui aussi à base de carbone et un excellent conducteur de chaleur). Des processus de production différents permettent d'en faire des conducteurs

électriques, des semi-conducteurs ou des isolateurs.

Les nanotubes sont devenus l'incarnation des possibilités nanotechniques. Ils rendent les instruments de sport plus légers et plus rigides. Ils peuvent aussi servir à la fabrication de fibres textiles extrêmement solides ou à l'étirage de feuilles transparentes capables de dégager de la chaleur ou de la lumière. Étant creux, ils se prêtent aussi au transport moléculaire d'agents actifs, en médecine notamment. Enfin, ils pourraient un jour remplacer les transistors dans des puces d'ordinateur ultrarapides ou conférer une résolution d'image sans pareille aux écrans de télévision.

Le buckminsterfullerène (C60), en jargon nano «buckyball», est une autre superstructure nanométrique, composée de 60 atomes de carbone qui s'assemblent pour former une sphère creuse de 0,7 nm de diamètre (ill. ci-dessus). Elle pourrait servir pour l'acheminement dans le corps de médicaments, ou encore à la fabrication de cellules solaires à haut rendement.

Du verre à vitre aux anticancéreux

Un tour d'horizon des produits existants et des idées et visions d'avenir à la concrétisation desquelles l'on travaille révèle la diversité et les multiples possibilités de la nanotechnologie.

L'aperçu publié par le Woodrow Wilson Center mentionne aussi les domaines d'utilisation des 212 produits de consommation nanotechniques recensés. Plus de la moitié d'entre eux (125) relèvent de la catégorie «Santé et Bien-être», suivie de celles de l'«Électronique et Informatique» (30), «Maison et Jardin» (21) et «Produits alimentaires et Boissons» (19). Le secteur de l'automobile en compte 10 et 3 autres ont été conçus spécifiquement pour les enfants. En examinant ces groupes de produits, l'on s'aperçoit que les domaines qui relèvent du premier et plus important cité sont les textiles (34 produits), suivis des articles de sport (33), des cosmétiques (31), des soins corporels (23) et de la protection solaire (8). Au nombre des produits déjà largement répandus figurent ceux de vitrification par dépo-

sition d'une couche nanométrique à la surface d'objets d'usage courant. En remplissant les creux microscopiques à la surface du verre, de la céramique ou du métal d'une solide couche de nanoparticules (de dioxyde de titane par exemple), on la rend extrêmement lisse, ce qui fait perler l'eau et supprime tout point d'accrochage pour les poussières. C'est ce qui fait qu'il existe aujourd'hui du verre à vitre et des revêtements de façade autonettoyants, des cabines de douche sans taches de calcaire, des cuisines tout acier sans marques de doigts. Un tel nanofilm peut aussi protéger des raies les carrosseries et de la rouille les surfaces métalliques des voitures. L'on a aussi déjà élaboré en Allemagne une pâte dentifrice pour dents sensibles à la chaleur ou au froid. À base de nanophosphate de calcium et de prot-

éines, cette substance imite la matière naturelle des dents et supprime la douleur en vitrifiant les minuscules fissures de l'émail qui en sont à l'origine.

Une nanocouche d'argent déposée à l'intérieur d'un réfrigérateur peut avoir un effet antibactérien et antifongique. Il en va de même des nanoparticules de ce métal introduites dans les fibres textiles artificielles utilisées, par exemple, dans la production de maillots de cyclistes ou de chaussettes de sport. Elles sont censées enrayer la multiplication des bactéries lors du port de ces vêtements et lutter ainsi contre le dégagement d'odeurs de sueur. On trouve dans le commerce des savonnettes contenant des nanoparticules d'argent et des lave-linge libérant des ions de ce métal durant les cycles de lavage pour «désinfecter» le linge.

Le dioxyde de titane et l'oxyde de zinc sont déjà largement utilisés dans les crèmes solaires pour bloquer les UV. Ces minuscules miroirs minéraux protègent la peau en réfléchissant ou en absorbant ces rayons. Le recours à des pigments nanométriques se fonde



www.lancome-usa.com

dans ce cas sur des raisons d'ordre essentiellement esthétique, car les nanoparticules sont transparentes à l'œil alors que les microparticules utilisées précédemment laissaient un film blanchâtre sur la peau. Des fullerènes C60 assurent une meilleure conservation d'une crème pour le visage en piégeant sur leurs surfaces les molécules responsables du rancissement des graisses. Il est techniquement possible, depuis peu, de revêtir les façades, vitres, meubles, tapis ou parois intérieures d'une couche de dioxyde de titane. La saleté et les taches de graisse, de café ou d'encre seraient ainsi désintégrées par la lumière du jour. La même technique devrait permettre, du moins selon les dispositifs d'essai, de réduire les polluants organiques en suspension dans l'air ambiant.

La nano dans l'alimentaire

Les nanoparticules de dioxyde de silicium ou de titane, d'alumine ou d'oxyde de zinc qui sont intégrées dans les feuilles ou les bacs en plastique rendent ces emballages plus résistants aux dé-



www.edlebauer.com



Spirig Pharma AG

chirures ou aux chocs ou réduisent leur perméabilité à la vapeur d'eau, à l'oxygène et aux rayons UV. Leur dopage aux particules d'argent et l'échange d'ions qui en résulte diminuent le développement de germes à la surface des aliments qu'ils renferment, ce qui peut allonger la durée de conservation. Leur application sur la face intérieure des bouteilles et des cannettes de bière peut, au contraire, diminuer la perte de gaz carbonique et à nouveau améliorer la préservation. Et les visionnaires rêvent déjà d'emballages qui changent de couleur lorsque leur contenu est avarié.

La nano peut aussi intervenir dans les produits alimentaires eux-mêmes. Des colorants, arômes et vitamines sont déjà conditionnés sous forme de nanocapsules destinées à être mélangées à des boissons. Les ingrédients ainsi ajoutés se dissolvent mieux dans le liquide et l'organisme peut les assimiler et les transformer plus rapidement. En revanche, ce n'est pas demain la veille qu'apparaîtra sur le marché la fameuse pizza congelée saupoudrée de diverses sortes de nanocapsules qui s'activeront sous le gril à micro-ondes en fonction de la puissance choisie pour lui donner le goût désiré : 400 watts pour la Margherita, 800 pour la Prosciutto e funghi, 1 200 pour la Quattro stagioni...

Bien que les grands groupes alimentaires soient très actifs en nanotechnologie, la branche – contrairement à l'industrie du sport – reste très discrète à ce sujet. Cela est dû sans doute en bonne part à son expérience avec les produits génétiquement modifiés, dont le lancement a avorté un peu partout en raison des critiques de divers mili-



TA-SWISS

eux à leur égard et des inquiétudes des consommateurs quant à leur innocuité.

Les espoirs de la médecine

Le génie médical poursuit également d'intensives recherches pour tirer parti des possibilités nanotechniques. Il travaille notamment à la réalisation du «Lab-on-a-Chip», appareil d'analyse qui rassemble sur quelques centimètres carrés des centaines de réactifs sous forme de molécules et peut ainsi détecter au plus vite la présence dans une goutte de sang d'un très grand nombre de substances. Il élabore aussi des «nanocristaux» fluorescents aux ultraviolets qui, en s'attachant sur les quelques anticorps déjà présents dans un échantillon de sang ou d'urine, permettront de déceler les infections au tout premier stade de leur développement.

La médecine aspire également à disposer de nanomédicaments. Des nanostructures creuses pourraient être produites pour servir au transport des agents thérapeutiques et, grâce à des molécules chercheuses spécifiques, être envoyées au foyer même des maladies. Un tel moyen d'administration

réduirait considérablement les quantités de substances actives nécessaires. Il pourrait aussi rendre plus agréable la vie des patients soumis à une longue médication: une nanocapsule de ce type en développement aux États-Unis pour les cellules productrices d'insuline a passé les premiers tests avec succès. Sous forme de médicament, ces nanocapsules circuleraient en permanence dans le sang des diabétiques pour leur fournir l'hormone qui leur fait défaut.

Les nanotechnologies suscitent aussi des espoirs dans la lutte contre le cancer. Une thérapie à base de molécules d'oxyde de fer a déjà été testée sur l'homme en Allemagne. Elle consiste à injecter ces nanoparticules, qui sont magnétisables, directement dans le tissu tumoral, puis à appliquer à l'endroit correspondant un fort champ magnétique extérieur. Les nanoéléments d'oxyde de fer commencent alors à vibrer et à dégager de la chaleur, ce qui endommage les cellules malignes. Les premiers essais cliniques ont porté sur des tumeurs cérébrales et prostatiques, des cancers ovariens et des carcinomes du col de l'utérus. Il est encore



Nanosphere, Inc. Northbrook USA

trop tôt pour dire si cette «MagForce Nanocancer Therapy» répond aux grandes attentes placées en elle.

Nombre d'autres expérimentations concernent des médicaments anticancéreux d'injection directe qui se fixeraient sur les cellules malignes. Des cancers de la prostate chez la souris mâle ont été traités ainsi avec succès. Une fois dans la tumeur, les nanopercles de polymère renfermant l'agent actif se sont directement fixées sur des cellules malignes, qui les engloutirent avec leur chargement mortifère. Un autre espoir est qu'en les injectant dans le système circulatoire, ces petits chevaux de Troie pharmaceutiques permettent aussi de lutter contre les cancers dont les cellules ont métastasé dans tout le corps.

Des nanoparticules préoccupantes

Aussi prometteuses les nanotechnologies puissent-elles être, il n'en reste pas moins que l'on sait aujourd'hui peu de chose sur leurs éventuels effets secondaires. Le danger pourrait venir des structures et des surfaces particulières des nanomatériaux et plus encore des nanoparticules produites artificiellement.

Le plus grand souci des spécialistes est que des nanoparticules s'insinuent dans le corps humain et y causent des dégâts. Les produits, comme les laques des voitures et les raquettes de tennis, dont les nanoparticules ou les nanotubes sont intégrés dans le matériau, paraissent moins sujets à caution que ceux dans lesquels ces nanoéléments sont en suspension. Dans ce dernier cas, ils peuvent en effet se disperser dans l'environnement et être inhalés ou absorbés par la peau ou par le système digestif. Cela est particulièrement vrai des produits entrant en contact direct avec l'épiderme, comme les cosmétiques, les textiles et les emballages des produits alimentaires. L'ingestion de nanoparticules est même la règle chaque fois qu'elles se trouvent directement dans les aliments ou les boissons. Il y a cependant peu de souci à se faire lorsqu'elles sont digestibles et assimilables par le corps à l'instar d'autres molécules biologiques – comme c'est le cas des vitamines et des colorants enrobés dans des nanosubstances appropriées et introduits dans des produits alimentaires à titre d'additifs. En revanche, s'il s'agit de nanostructures étrangères au corps et qui ne s'y dissolvent pas, elles ne peuvent être dégradées par l'organisme et il faut s'attendre à ce qu'elles y séjournent longtemps. Ces nanoparticules insolubles, et plus en-

core les nanotubes de carbone et les fullerènes, pourraient donc bien devenir pour l'être humain des «enfants à problème».

Les premiers indices de l'expérimentation animale

Des expérimentations faites aux États-Unis sur des souris et des rats ont montré une possible nocivité des nanotubes pour les poumons. L'application de grandes quantités de nanotubes de carbone dans la trachée de ces animaux a provoqué chez eux des inflammations et des modifications pathologiques du tissu pulmonaire. L'on ne sait pas encore dans quelle mesure ces résultats sont transposables dans une réalité où les quantités inhalées seraient bien moindres. Par ailleurs, des expérimentations sur de jeunes perches d'Amérique indiquent que les fullerènes pourraient également causer des dommages : des buckyballs (C60) diluées dans l'eau de leur aquarium ont entraîné chez ces poissons une détérioration de la fonction cérébrale.

Écologiquement nuisibles ?

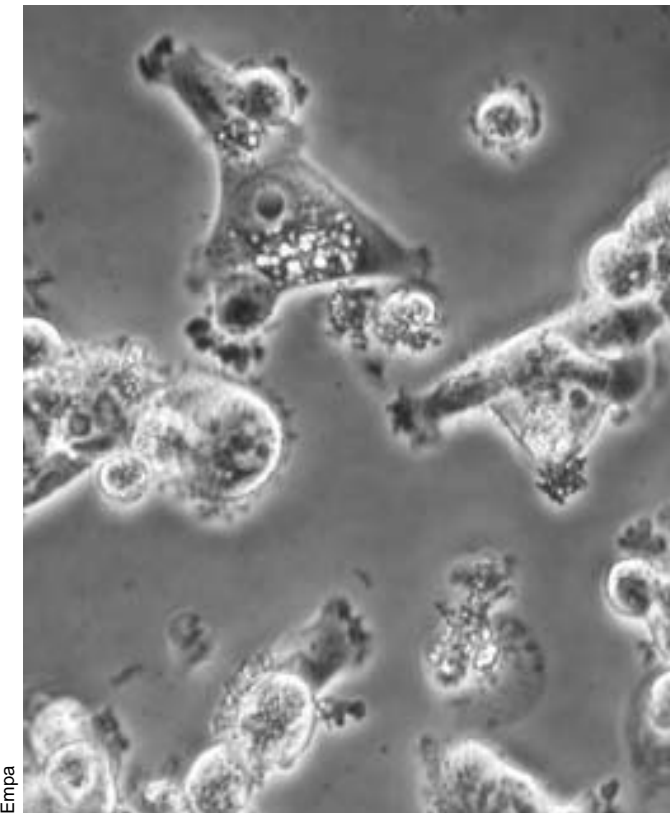
De nombreuses questions restent également ouvertes en ce qui concerne la menace que les nanoparticules et les produits nanotechnologiques font éventuellement peser sur l'environnement. Des nanoéléments

peuvent en effet aboutir, selon le procédé de fabrication et le type de produits, dans les eaux usées, l'air, le sol ou les nappes phréatiques – par exemple sous forme de nanoparticules d'argent tombées de vêtements au lavage. Or si ces nanoéléments ne sont pas dangereux pour les humains, ils sont en revanche – comme l'Organisation environnementale américaine pour de l'eau propre l'exposait dans le Washington Post en juin 2006 – hautement toxiques pour la vie aquatique. De tels éléments sont par ailleurs de plus en plus souvent utilisés dans des articles jetables qui tôt ou tard seront détruits ou recyclés. Et même les nanoparticules apparemment solidement amalgamées à un produit peuvent s'en détacher par abrasion, corrosion ou même simple vieillissement. En outre, nombre de nanoparticules seront produites artificiellement et se présenteront dans des structures et quantités inconnues dans la nature. Elles pourraient dès lors constituer une nouvelle classe de polluants non biodégradables. Leurs conséquences environnementales à long terme n'ont jusqu'à présent que peu été étudiées et sont de ce fait difficiles à évaluer. Personne ne peut dire non plus si les éventuels dégâts seraient irréversibles ou s'il y aurait des possibilités d'inverser la vapeur. Ce qui pourrait particulièrement poser problème pour l'être humain et l'animal est que les nanoparticules qui aboutissent dans l'environnement finissent par se concentrer dans les plantes, les animaux et les hommes au travers de la chaîne alimentaire. Les particules ultrafines émises dans l'atmosphère par les moteurs Diesel nous ont appris depuis

longtemps de quelle fâcheuse façon de tels corps étrangers peuvent se manifester dans l'environnement. Les particules de carbone de cette poussière ultrafine sont inférieures à 100 nm. Or plus la quantité de ces particules dans un mètre cube d'air ambiant est élevée, plus haut est le taux de morbidité et de mortalité dans la population locale.

Et quid de l'être humain ?

L'on dispose à ce jour de très peu d'informations précises sur le danger que les nanoparticules et les nanostructures représentent pour les humains.



Des expérimentations ont cependant montré qu'une grande partie des nanotubes introduits dans des cultures de cellules humaines sont absorbés par celles-ci et sont d'autant plus susceptibles de les endommager que c'est une voie de non-retour. Une équipe de chercheurs de l'Empa de Saint-Gall, en collaboration avec le laboratoire des matériaux fonctionnels de l'EPF de Zurich, a étudié la toxicité pour les cellules pulmonaires humaines de divers nanotubes et nanoparticules de grande valeur industrielle. Elle a aussi testé à titre de comparaison un matériau de référence dont la nocivité pour ce type de cellules est connue depuis longtemps. Ces expérimentations ont montré que les nanoparticules d'oxyde de silicium, de titane et de cérium altèrent temporairement le métabolisme cellulaire. Les particules d'oxyde de fer et de zinc, en revanche, se sont révélées très agressives (ill. p. 8). Et qu'en est-il des nanotubes ? Ils sont certes mille fois plus petits que les microfibrilles d'amiante, mais lorsqu'ils s'agglomèrent en aiguilles comme dans les expérimentations de l'Empa, ils leur sont comparables tant par leur aspect que par leur toxicité et se révèlent particulièrement nocifs pour les cellules.

La principale crainte est la pénétration, suite à une inhalation involontaire, de nanoparticules dans le système circulatoire du fait que, dans les alvéoles pulmonaires, où s'effectue l'échange de gaz entre celui-ci et le système respiratoire, la couche tissulaire de séparation entre l'air et le sang est, aux endroits les plus minces, de seulement 100 nm. Via le système circulatoire, les nanoparticules peuvent, en effet, arriver au cerveau, où il est probable qu'elles franchissent

la barrière hémato-encéphalique (sang-cerveau) qui empêche normalement les toxiques d'y pénétrer. Or, à part des indices de modifications inflammatoires du tissu cérébral, l'on connaît peu de chose des effets des substances étrangères insolubles dans cet organe.

Le passage de nanoparticules dans le sang à travers la muqueuse stomacale ou intestinale est également possible, même si en l'occurrence l'épaisseur des couches tissulaires de séparation est d'au moins 10 000 nm. Il semblerait qu'il en va également ainsi de la voie épidermique et c'est bien ce qui fait souci avec les cosmétiques et les crèmes solaires à nanoparticules. La pénétration s'effectuerait dans ce cas par les follicules pileux et les pores des glandes sudoripares ainsi que par les blessures de la peau.

Une réglementation lacunaire

Selon les lois fédérales sur les denrées alimentaires, la santé et la protection de l'environnement, les entreprises de production doivent veiller en Suisse à ce que leurs produits ne mettent ni la vie, ni la santé, ni l'environnement en danger. Or la nature physique différente des nanostructures n'est pas couverte par les lois et prescriptions en vigueur, ce qui pour le moment rend l'accomplissement de leur obligation de vigilance plus difficile pour les sociétés intéressées. Exemple: il faudrait en ce qui concerne la toxicologie des nanoparticules que des caractéristiques associées à leur réactivité, comme le nombre de particules, la somme et la texture de leur surface prévalent sur les critères traditionnels de quantité et de masse totales. Sur le plan tant national qu'international,



Infineon Technologies AG, Neubiberg DE

l'industrie nanotechnologique et les entreprises qui commercialisent ses produits s'efforcent de plus en plus d'agir préventivement et de faire progresser l'étude des risques de manière coordonnée.

La clarification des risques nanotechnologiques est pour le moment rendue plus difficile non seulement en raison d'une législation non encore adaptée et du manque de connaissances en toxicologie, mais aussi parce que les laboratoires de recherche appliquée dans ce domaine ne disposent pas d'installations de test adéquates. Pis encore, l'on ne sait même pas quels tests il serait judicieux de réaliser ni comment procéder pour les faire. Il en résulte qu'en maints endroits, des produits contenant des nanoparticules synthétiques ont été mis sur le marché sans qu'on ait la moindre idée quelque peu vraisemblable de leurs risques éventuels. Une telle carence a rendu divers milieux conscients de l'urgence

croissante de prendre des mesures. L'organisation environnementale canadienne ETC Group a renouvelé le 6 avril 2006 son appel à un moratoire tant en ce qui concerne les recherches en laboratoire que les produits nano. D'autres représentations souhaitent un renforcement de l'étude des risques et de la recherche sécuritaire et réclament la détermination du comportement responsable face aux nanotechnologies à tous les niveaux de la société, de la politique et de l'économie. Enfin, il faut que des prescriptions et des techniques de production appropriées contiennent les risques dans des limites acceptables. L'économie de l'assurance est loin d'être la dernière intéressée à l'accroissement des connaissances dans ce domaine. Étant donné qu'il s'agit de techniques totalement nouvelles, il lui est, en effet, difficile dans l'état actuel d'évaluer quelle sera dans le futur l'ampleur de leur utilisation et de leur diffusion et quels sont leurs risques potentiels.

Perspectives: environnement, société

Le bilan écologique des produits nanotechnologiques pourrait se révéler positif. L'électronique et les télécommunications promettent d'y recourir abondamment, mais non sans susciter des réticences d'ordre sociétal.

Certes, l'on craint que les nanoparticules synthétiques qui aboutissent dans la nature n'y provoquent des dégâts écologiques. Mais la nanotechnologie recèle aussi un potentiel favorable à l'environnement. Le gouvernement australien a sorti récemment une brochure sur les produits de la nanoindustrie nationale présentant des avantages écologiques. Par exemple, un échange nanotechnologique d'ions dans les eaux usées permet de retirer 99 % du nitrate d'ammonium indésirable qui s'y trouve et de s'en servir comme engrais dans l'agriculture. Des biocapteurs

nanotechnologiques travaillant avec les ondes acoustiques de surface peuvent détecter la présence dans les réservoirs d'infimes concentrations de bactéries pathogènes. Utilisé pour la fabrication d'emballages, de gobelets et de sacs à commissions, un nanopolymère à base de féculé de maïs contribue par sa rapidité de biodégradation à lutter contre la pollution des eaux et du paysage par les déchets de plastique.

Des laques et moteurs parcimonieux

Des études de cas de l'Institut de recherche en économie écologique de Berlin portant sur les nanolaques utilisées dans l'industrie automobile, ferroviaire et aéronautique ont montré comment un accroissement d'efficacité d'un facteur cinq dans l'utilisation d'une ressource, dû en l'occurrence à des revêtements beaucoup plus minces, avait permis une amélioration sensible du rendement énergétique et une très forte réduction de la consommation de solvants. Les objectifs sont maintenant de réduire le poids des véhicules en utilisant des nanotubes dans les alliages métalliques et les polymères, d'obtenir de meilleurs pneus en recourant à la nano dans les mélanges de gommes et d'optimiser les processus de combustion dans les moteurs à l'aide de nanocatalyseurs. D'autres projets portent sur des piles à combustible avec stockage

de l'hydrogène dans des nanotubes, sur des cellules solaires à haut rendement et sur des sources lumineuses à OLEDs (diodes luminescentes organiques) sous forme de feuilles de grand format.

Les attentes en nanoélectronique

Les attentes sont tout aussi grandes en nanoélectronique. Les progrès de la miniaturisation des plaquettes de mémoire et des processeurs ont conduit à des structures d'à peine 100 nm. L'espoir est maintenant de parvenir, grâce à des nanotubes, à fabriquer pour le traitement des données des puces comportant des milliards d'éléments de commutation. La technologie de l'information en tirerait, outre d'importantes économies d'énergie, l'avantage de voir s'ouvrir à elle de nouveaux champs d'application. Il deviendrait, par exemple, possible de doter des objets d'usage courant d'un dispositif électronique qui vérifierait en permanence leur qualité et en rendraient compte par voie de télécommunication. Les applications militaires ne sont pas en reste. Aux États-Unis, l'industrie concernée mène quantité de recherches en nanotechnologie portant sur les substances chimiques et biologiques de combat et l'amélioration des armements.

Des réticences sociétales

Une telle omniprésence de l'informatique et des télécommunications suscite toutefois des réticences tant éthiques que sociétales, car la protection de la personnalité et les droits individuels seraient alors plus menacés que jamais par «Big Brother». L'interconnexion de réseaux de nanocapteurs, d'ordinateurs

et de microscopiques nanocaméras et nanomicrophones accroîtrait immensément les possibilités de surveillance. La question est dès lors de savoir comment l'on pourra empêcher les abus et comment les nouveaux problèmes de protection des données qui vont se poser peuvent être résolus. Il en ira de même du recours à des nano-instruments de diagnostic médical. Sans compter les problèmes supplémentaires de cet ordre qu'engendrerait la possible apparition de meilleures méthodes de diagnostic bien avant la mise au point de nouvelles thérapies. Il est douteux que les patients puissent alors faire valoir leur droit à ne pas savoir. Les visionnaires rêvent aussi de nano-implants connectés directement aux neurones. Comme ils sont censés améliorer la qualité de la vie, l'on peut se demander quand sera franchie la frontière de l'hybridation homme-machine et si elle doit l'être.

Ces craintes existentielles, ont été déclenchées par le scientifique californien Eric Drexler dès 1992. Il développa l'idée futuriste de nanorobots qui, à l'instar des cellules du corps, fabriqueraient rapidement et dans la quantité voulue, à partir d'atomes et de molécules, des substances et des structures des plus diverses. Ses critiques exprimèrent la crainte qu'une telle nanotechnologie moléculaire puisse s'emballer et ces nanoservants se multiplier soudain de manière incontrôlée et finir par consommer le monde en laissant un résidu gris et visqueux (grey goo). Il s'agit d'un développement bien trop lointain pour qu'il soit urgent de s'en soucier. Ce scénario a toutefois le mérite de montrer l'énorme ampleur des risques nanotechnologiques envisageables.



Discussion des risques et recherche nanotechnologiques en Suisse

La Suisse figure parmi les nations de pointe en nanotechnologie. Outre ses nombreux programmes de recherche fondamentale et appliquée, elle entend maintenant mener à bien un plan d'action portant sur les aspects juridiques et sanitaires.

Responsables de la sûreté des produits chimiques et des denrées alimentaires, l'Office fédéral de la santé publique (OFSP) et l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) ont l'intention d'élaborer d'ici à la fin de l'année un plan d'action «Détermination et gestion des risques des nanomatériaux synthétiques». Ils seront appuyés par des spécialistes de différentes disciplines scientifiques ainsi que par un groupe d'accompagnement composé de représentants de la politique, de l'industrie, des organisations environnementales, des consommateurs et des syndicats. Ce plan fera lister les utilisations actuelles de nanoparticules en Suisse. Il comprendra des scénarios permettant d'évaluer comment et en quelles quantités ces nanoparticules pourraient s'accumuler dans l'environnement et dans quelle mesure les expositions subséquentes seraient comparables aux expositions à des particules ultrafines (de suie de diesel notamment). Il élaborera des définitions concordantes, afin que les nanomatériaux puissent devenir des objets de droit, et des procédures de test pour l'évaluation des dangers et des risques pour l'humain et l'environnement. Il s'agira aussi d'inciter la recherche et l'économie à l'autorégulation et d'adapter la législation fédérale si cela apparaît nécessaire

pour assurer la sécurité. Enfin, des mesures immédiates devront être prises pour protéger la main-d'œuvre concernée.

Une tâche internationale

Aucun pays ne dispose actuellement d'une réglementation spécifique à la nanotechnologie. Ne serait-ce que pour des raisons d'économie politique, il est indispensable que les futures avancées législatives et organisationnelles bénéficient d'une coordination internationale. C'est pourquoi le plan d'action de la Suisse est élaboré en coopération avec des organes concernés de l'UE, de l'OCDE et du PNUE. L'UE dispose elle aussi pour l'Europe d'un plan d'action «Nanosciences et nanotechnologies» 2005-2009. Par ailleurs, tant l'Association suisse (SNV) que l'Organisation internationale (ISO) de normalisation conduisent nombre de programmes visant à une meilleure maîtrise des normes, des méthodes de mesure et des questions relatives à la sécurité et à la santé.

La nanotechnologie en Suisse: extrêmement interdisciplinaire

La Suisse figure parmi les nations leaders de la recherche et de la production nanotechnologiques. Or cette technologie est des plus interdisciplinaires. Elle concerne la quasi-totalité des domaines scienti-

fiques et techniques: physique, chimie et biologie, sciences des matériaux, génie énergétique, transports, informatique, techniques environnementales, industries alimentaire et textile, cosmétiques et médecine. D'où une grande diversité

d'instituts et entreprises participant aux programmes de recherches en nanotechnologie. Le tour d'horizon ci-dessous (non exhaustif) donne une idée des points de mire communs et particuliers de la recherche nanotechnologique suisse.

Pôles d'intérêt et programmes

Pôle de recherche national Nanosciences (NCCR Nanoscale Science, depuis 2001)

Domaines: nanobiologie, informatique quantique, nanosystèmes atomiques et moléculaires, électronique moléculaire, matériaux fonctionnels et éthique en nanotechnologie.

Direction: Université de Bâle. Réseau de neuf universités, instituts de recherche et partenaires industriels suisses rassemblant environ 200 scientifiques. En coopération avec d'autres équipes de recherche d'Europe, du Japon et des États-Unis. Cours en nanosciences avec diplôme depuis 2002.

Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (Empa) Dübendorf, St-Gall, Thoune

Microscopes et outils nanotechnologiques, nano-électronique et nanophotonique, matériaux et revêtements nanostructurés, recherches sur les risques, la sécurité aux postes de travail et la nanotechnologie et la société.

Centre Suisse d'Électronique et de Microtechnique (CSEM), Neuchâtel, Zurich, Alpnach

Nanoélectronique et nanomécanique pour l'horlogerie, l'électro-industrie et l'informatique.

HES zurichoise de Winterthur (ZHAW)

Recherche appliquée et participation à la filière européenne d'études du master en micro et nanotechnologies de l'Institut de chimie et de biotechnologie (ICB), du Centre de physique computationnelle (CCP) et du Centre de compétences pour la sécurité et pour la prévention des risques (KSR).

Exemples d'intérêts particuliers

École polytechnique fédérale de Zurich (EPFZ)

Nanorobots de l'Institut de robotique et systèmes intelligents de l'EPFZ pour des interventions chirurgicales sur des cellules individuelles ou le transport ciblé d'agents thérapeutiques.

École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)

Élaboration de procédés nanotechniques haute performance pour cellules solaires et batteries lithium-ions.

Institut Paul Scherrer (PSI), Villigen

Son synchrotron SLS (Source Lumineuse Suisse) grave dans des polymères par lithographie aux rayons X des structures pouvant mesurer moins de 20 nm.

Institut d'anatomie de l'Université de Berne

Etude de l'interaction de nanoparticules avec le tissu pulmonaire et de l'absorption de particules par les globules rouges.

Micro & Nano System Technology (MINAST)

NOSE - Nanotechnology Olfactory Sensor, capteur olfactif nanomécanique détectant et différenciant toute sorte de substances à de très faibles concentrations (IBM, Novartis, EPFZ, Université de Bâle et PSI, 1996-2001).

Université de Lausanne (UNIL)

Nanopublic: plate-forme d'échanges interdisciplinaires en nanotechnologies pour les sciences, la recherche, l'industrie, les pouvoirs publics et la population suisses (depuis avril 2006).

De nombreuses entreprises industrielles suisses développent ou utilisent la nanotechnologie, des grandes compagnies comme Novartis à la start-up zurichoise HeiQ, qui met au point des additifs antibactériens à base de nanoparticules d'argent pour les vêtements

de sport et les polymères médicaux. Bühler SA à Uzwil (SG), pionnier de la nanotechnique industrielle, adapte à la production à grande échelle divers procédés d'obtention de nanoparticules utilisées comme matière première dans la fabrication d'autres produits.

Au sujet du publifocus

La présente brochure vise à aider les participants au publifocus à identifier les champs de tension que recèle la vaste thématique de la nanotechnologie, à se forger une opinion et à formuler leurs souhaits, leurs doutes et réticences, ainsi que les questions qu'ils se posent.

Comme il ressort des chapitres précédents, les produits nano vont avoir d'ici quelque temps un fort impact sur notre vie quotidienne et les innovations nanotechnologiques industrielles, des retombées sur l'environnement. Les exigences à l'égard de cette nouvelle technologie sont très élevées. D'un côté, elle est censée répondre à de grandes espérances, particulièrement en médecine et en informatique, mais également quant à la réduction de la consommation de matières premières et d'énergie. De l'autre côté, il reste de grands points d'interrogation concernant les effets des nanoparticules synthétiques sur notre santé et sur l'environnement. Il n'existe pour ainsi dire aucune donnée fiable à ce sujet, ni d'opinion unanime sur ce qu'il faudrait mesurer pour les obtenir et la manière de le faire. L'on ne sait pas non plus à quoi devrait ressembler une éventuelle réglementation, car l'on vient tout juste de décider de s'y intéresser. Pendant ce temps, le nombre des produits et des applications nanotechnologiques est en progression constante. C'est pourquoi la question de leurs avantages si ce n'est de leurs conséquences négatives va se poser de manière toujours plus concrète, même pour la population.

Selon les dires de spécialistes, les simples quidams manifestent tout au plus quelque intérêt pour cette nouvelle technologie, mais sont dans leur gran-

de majorité indifférents à son égard. TA-SWISS n'en désire pas moins savoir comment des personnes vivant en Suisse réagissent face à une nouvelle technologie qui promet d'avoir des avantages tout en comportant des risques. Nous aimerions qu'elles nous disent ce qu'elles pensent des nanotechnologies et de leurs actuels et futurs produits et applications. Quels en sont à leurs yeux les avantages et quel poids elles attachent à leurs dangers potentiels. Il nous intéresse aussi de connaître leur opinion au sujet d'une éventuelle réglementation des activités dans ce domaine, des mesures qui les rassureraient et de ce qui les empêcherait d'avoir confiance. Au niveau des atomes et des molécules, il n'existe plus de différence entre le biologique (ou naturel) et le synthétique (ou artificiel). Autrement dit, à l'échelle nanométrique, la barrière entre la matière vivante et la matière inerte disparaît. C'est là un facteur nouveau dans le débat de société et qui soulève notamment des problèmes d'ordre éthique, tel celui – si cette vision d'avenir devait se réaliser – de l'amélioration des capacités humaines par des nano-implants. Or qu'en pensent les participants aux groupes de discussion du publifocus qui se réuniront en terre alémanique, romande ou tessinoise ? Cette question promet des débats animés dont nous nous réjouissons déjà.

Pour en savoir plus

Tours d'horizon et produits

«Nanotechnologie – eine Zukunftstechnologie mit Visionen», bulletin d'information du ministère allemand de la Formation et de la Recherche, Berlin: www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php. Possibilité d'y commander la brochure «Nanotechnologie – Innovationen für die Welt von morgen».

«Nanotechnologie», rapport de travail du Bureau d'évaluation des choix technologiques du Bundestag: www.tab.fzk.de/de/projekt/zusammenfassung/ab92.htm.

L'UE fournit sous www.cordis.lu/nanotechnology des informations de qualité sur la nanotechnologie. www.nanoforum.org, l'«European Nanotechnology Gateway», fournit des études, p.ex. les Nanoforum Reports, dont: «Benefits, Risks, Ethical, Legal and Social Aspects of Nanotechnology». La «Part 3: Potential Risks of Nanotechnologies» porte sur les expérimentations sur des animaux et cellules humaines. Le «Project on Emerging Nanotechnologies», www.nanotechproject.org, est la plate-forme d'information du Woodrow Wilson International Center for Scholars à Washington. Il contient un inventaire des produits nano actuellement offerts sur le marché: www.nanotechproject.org/44/consumer-nanotechnology. Les francophones disposent du portail «NanoScience et NanoTechnologies»: www.nanomicro.recherche.gouv.fr

Nanomédecine

«Nanotechnologie in der Medizin», étude de TA-SWISS publiée en 2003: sous www.ta-swiss.ch, puis en cliquant sur Publication et en choisissant Biologie et médecine dans la rubrique Rapports.

Avantages écologiques de la nanotechnologie

«Nachhaltigkeitseffekte durch Herstellung und Anwendung nanotechnologischer Produkte», Institut de recherche en économie écologique (IÖW) de Berlin: www.ioew.de/index2.html.

Risques

«Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties», Royal Society et Royal Academy of Engineering, Royaume-Uni. Un vaste tour d'horizon des avantages et des risques des nanotechnologies: www.nanotec.org.uk/finalReport.htm.

«Nanotechnology – Small matter, many unknowns», Swiss Re: sous www.swissre.com, puis en cliquant successivement sur Research & Publications, Risk & Expertise, Risk perception et Nanotechnology.

«Espace Nano» de «VivantInfo» pour une réflexion éthique sur les risques des nanosciences: <http://www.vivantinfo.com>, rubrique Espace Nano.

Critique

www.etcgroup.org. Cliquer sur Publications et entrer Nanotechnology. Toute sorte de textes à ce sujet (f, angl. ou esp.) rassemblés par cette ONG canadienne.

Friends of the Earth: www.foe.org. Cette organisation environnementale internationale critique l'emploi de nanoparticules dans les cosmétiques.

La nanotechnologie en Suisse

Les travaux entrepris dans le cadre du Pôle de recherche national (PRN) Nanosciences, en anglais NCCR Nanoscale Science, sont exposés dans cette langue sous www.nccr-nano.org.

L'Empa présente ses recherches en nanotechnologie à l'adresse www.empa.ch/nano. L'on peut aussi sous cette rubrique (seulement dans sa version allemande, ndlt) commander ou télécharger sur ordinateur une brochure explicative divertissante: *Reise in die Welt des Nanometers*, conçue pour les écoliers. La description des activités du laboratoire de micro et nanotechnologies de l'Institut Paul Scherrer à Villigen se trouve à l'adresse Internet <http://lmn.web.psi.ch/>.

Les activités réalisées par l'Université de Lausanne depuis le printemps 2006 sur sa plate-forme interdisciplinaire Nanopublic pour la recherche, les sciences, l'industrie, les autorités et la population sont listées sous <http://www.unil.ch/nanopublic/>.

La CTI, agence de la Confédération pour la promotion de l'innovation, soutient le transfert de connaissances et de savoir-faire technologiques entre hautes écoles et entreprises ainsi que l'élaboration de solutions commercialisables – aussi en nanotechnologie: <http://www.bbt.admin.ch/kti/projektfoerderung/>.

TA-SWISS, Centre d'évaluation des choix technologiques

En activité depuis 1992, TA-SWISS n'a cessé depuis lors d'évaluer les conséquences de nouvelles technologies et de conseiller le Parlement et le Conseil fédéral par anticipation en matière de sciences et de technologies. Il réalise notamment des études scientifiques pour cerner les tendances évolutives de la biomédecine, des technologies de l'information et des nanotechnologies. Il recourt par ailleurs à des méthodes participatives – dont relève le publifocus «Les nanotechnologies et leur importance pour la santé et l'environnement» – pour inclure de simples citoyens et citoyennes dans les débats de société. TA-SWISS est financé par la Confédération et rattaché au Conseil suisse de la science et de la technologie.

La méthode du publifocus

Le publifocus est une méthode de dialogue mise au point par TA-SWISS dans le but de contribuer à un stade précoce à rendre factuel le débat sur les possibles conséquences du progrès technique. Il se compose de plusieurs soirées de discussion réunissant chacune une quinzaine de personnes choisies au hasard pour débattre d'une technologie ayant un potentiel de friction sociétale – dans ce cas les nanotechnologies. Les soirées durent chacune quatre heures et sont modérées et consignées dans un procès-verbal par des professionnels. Elles débutent par de courts exposés faits par des spécialistes du domaine dans le but de faciliter l'amorçage de la discussion. Les participants choisis reçoivent environ un mois auparavant une brochure sur le thème traité rédi-

gée, dans un langage compréhensible, spécifiquement pour l'occasion – dans le cas présent, un aperçu de l'état actuel des nanotechnologies, de leurs futurs avantages et de leurs risques potentiels – en veillant à un bon équilibre entre les opinions contradictoires. Celles exprimées par les participants sont par la suite rassemblées dans un rapport destiné à l'information du public intéressé et du Parlement. Aucune recommandation n'est élaborée lors des soirées de discussion et les résultats du publifocus n'ont aucune prétention à la représentativité nationale. Ils n'en sont pas moins un reflet de l'appréciation de la population et donnent aussi des indications effectives sur d'autres domaines qu'il serait judicieux de traiter.

publifocus «Nanotechnologies»

Comité de patronage

HES zurichoise de Winterthur (ZHW)
www.zhwin.ch

Office fédéral de l'environnement (OFEV)
www.umwelt-schweiz.ch

Office fédéral de la santé publique (OFSP)
www.bag.admin.ch

Centre d'évaluation des choix technologiques (TA-SWISS)
www.ta-swiss.ch

Groupe d'accompagnement

Pr Philipp U. Heitz, comité directeur de TA-SWISS, Au/ZH (président du groupe d'accompagnement)

Pr Ueli Aebi, comité directeur de TA-SWISS, Dr en biologie structurale, NCCR Nanoscale Science, Biocentre, Université de Bâle

Dr Sergio Bellucci, Centre d'évaluation

des choix technologiques (TA-SWISS), Berne

Dr Stefan Durrer, service Substances chimiques et travail, Secrétariat d'État à l'économie (seco), Berne et Zurich

Dr Thomas Epprecht, Risk Engineering Services, Swiss Re, Zurich

Pr Peter Gehr, Institut d'anatomie, Faculté de médecine, Université de Berne

Brigit Hofer, Politique économique et Durabilité, Coop Suisse, Bâle

Dr Holger Hoffmann-Riem, network for transdisciplinarity in sciences and humanities (td-net), académies scientifiques suisses (CASS/SCNAT), Berne (jusqu'à juin 2006)

Pr Georg Karlaganis, division Substances, sols, biotechnologie, Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne

Dr Hans G. Kastenholz, Analyse des innovations et des techniques, division Technologie et Société, Empa, Saint-Gall

Alain Kaufmann, comité directeur de TA-SWISS, directeur interface Sciences-Société, Université de Lausanne

Pr Heinrich Kuhn, Centre de compétences pour la sécurité et la prévention des risques (KSR), HES zurichoise de Winterthur (ZHW)

Dr Monika Kurath, recherches scientifiques à l'Université de Bâle et de Zurich et au Collegium Helveticum de l'EPFZ

Christa Markwalder Bär, conseillère nationale PRD, Berthoud

Dr Christian Pohl, network for transdisciplinarity in sciences and humanities (td-net), académies scientifiques suisses (CASS/SCNAT), Berne (dès juin 2006)

Dr Klaus Peter Rippe, Ethik im Diskurs GmbH, Zurich

Urs Spahr, section Sécurité biologique, division Biomédecine, Office fédéral de la santé publique (OFSP), Berne

Dr Christof Studer, section Produits chimiques industriels, division Substances, sols, biotechnologie, Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne

Barbara Vonarburg, rédaction Wissen, Tages-Anzeiger, Zurich

Josianne Walpen, dossiers Produits alimentaires et Cosmétiques, Fondation pour la protection des consommateurs, Berne

Dr Steffen Wengert, section Substances commercialisées, division Produits chimiques, unité de direction Protection des consommateurs, Office fédéral de la santé publique (OFSP), Berne

Direction du projet

Michael Emmenegger, TA-SWISS, Berne

Impressum

Nano ! Nenni ? Brochure d'information du publifocus «Les nanotechnologies et leur importance pour la santé et l'environnement». TA-SWISS, Berne, 2006.

Auteur: Dr Herbert Cerutti, journaliste scientifique, Wolfhausen

Rédaction: Michael Emmenegger, Anne Boesch, TA-SWISS, Berne

Traduction: Viviane Mauley, MVM Communication, Chesalles-sur-Moudon (f), Giovanna Planzi, Minusio (i), Swiss Re Language Service, Zurich (e)

Layout: Fernand Hofer, Rheinfelden

Impression: Office fédéral des constructions et de la logistique (OFCL)

Éditeur et diffuseur

Centre d'évaluation des choix technologiques

auprès du Conseil suisse de la science et de la technologie (TA-SWISS)

Birkenweg 61, CH - 3003 Berne

Tél.: ++41 (0) 31 322 99 63

Fax: ++41 (0) 31 323 36 59

Courriel : ta@swtr.admin.ch

www.ta-swiss.ch



Z:W

Zürcher
Hochschule
Winterthur



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement (OFEV)

Office fédéral de la santé publique (OFSP)