

Expo Nano

Une exposition produite par le C.C.S.T.I. Grenoble,
la Cité des Sciences et de l'Industrie, et Cap Sciences, le C.C.S.T.I. de Bordeaux

du 13 décembre 2011 au 28 mars 2012

Expo Nano invite les visiteurs à entrer dans l'univers de l'infiniment petit, à découvrir ce que sont les nanotechnologies, et à comprendre leurs enjeux et les questions qu'elles soulèvent.

En complément, le journal de l'exposition vous propose de revenir sur les propriétés du nanomonde, les outils développés pour examiner et manipuler la matière à cette échelle, les applications des nanotechnologies, mais aussi les incertitudes et craintes suscitées par celles-ci.

Bienvenue dans le nanomonde

Depuis quelques dizaines d'années, un nouveau monde s'ouvre peu à peu aux scientifiques et aux chercheurs : le nanomonde, le monde de l'infiniment petit.

À l'échelle du nanomètre

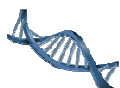
Le préfixe nano vient du grec *nanos* qui signifie « nain ». Les scientifiques l'utilisent comme préfixe dans les unités de mesure pour exprimer le milliardième de l'unité de base.

Ainsi le nanomètre (nm) est le milliardième du mètre, soit 10^{-9} ou encore 0,000 000 001 mètre.

Le saviez-vous ?

Un nanomètre est environ 30 000 fois plus fin que l'épaisseur d'un cheveu !

Le champ du nanomonde s'étend de 1 à 100 nm. Dans la nature, cette échelle est courante : il s'agit de celle des assemblages d'atomes formant les molécules.



Une molécule d'ADN par exemple mesure environ 2,5 nm de largeur.



Les atomes, briques élémentaires de toute matière, mesurent quant à eux environ 0,1 nanomètre.

Le saviez-vous ?

Il y a la même différence de rapport de taille entre un atome et une balle de tennis qu'entre cette même balle et la Terre !

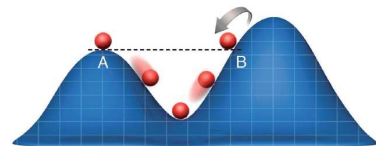
Aujourd'hui, des dispositifs fabriqués par l'homme arrivent également à ces échelles de grandeur : le plus petit élément actuel des circuits intégrés mesure une dizaine de nanomètres de largeur !

Mais en entrant dans le nanomonde, on ne change pas seulement d'échelle. En effet, ce dernier se situe à l'interface entre le monde macroscopique, où les lois de la physique classique dominent, et l'échelle sub-atomique, où le comportement des particules élémentaires est régi par les lois de la physique quantique.

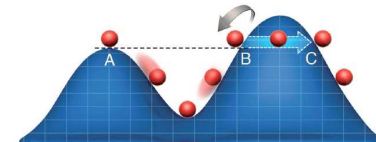
Le comportement des objets nanométriques relève donc parfois de la physique classique et parfois de la physique quantique, ce qui peut parfois donner lieu à d'étranges phénomènes, tel que l'effet tunnel.

Une bizarrerie quantique : l'effet tunnel

Les objets de l'univers microscopique présentent simultanément des propriétés d'ondes et de particules (alors qu'il s'agit de 2 phénomènes distincts en physique classique). Ainsi, avec les lois de la physique classique, un ballon ne peut franchir une colline si on ne lui donne pas une énergie suffisante. En revanche, une particule quantique peut franchir cette colline sans apport d'énergie : elle peut passer de l'autre côté comme si elle avait trouvé un tunnel. Les physiciens appellent ce phénomène l'effet tunnel.



En physique classique, le ballon lâché depuis le point A ne peut monter plus haut que le point B (loi de la dynamique).



En physique quantique, l'électron, arrivé au point B, peut, par effet tunnel, atteindre le point C situé de l'autre côté de la « colline ».

Source du schéma : CEA

Les habitants du nanomonde

Les entités qui peuplent le nanomonde sont communément appelées nano-objets. Le terme ne possède toutefois pas une définition unique. Pour certains, il désigne les objets dont toutes les dimensions (longueur, diamètre et épaisseur) sont à l'échelle nanométrique, c'est-à-dire comprises entre 1 et 100 nanomètres. On parle alors de nanoparticules, des assemblages de quelques centaines à quelques milliers d'atomes.

Plusieurs types de nanoparticules peuvent être distingués :

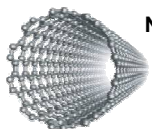
- Les nanoparticules naturelles (issues des éruptions volcaniques, des phénomènes d'érosion naturelle, des feux de forêt, etc.) ;
- Les nanoparticules « déchets » des activités humaines (provenant de fumées industrielles ou domestiques, des émissions des moteurs de véhicules, etc.) ;
- Les nanoparticules produites par l'homme dans un but industriel ou de recherche (nanotubes de carbone, nanoparticules de dioxyde de titane, etc.).

Molécule de fullerène C60



Cette nanoparticule, découverte en 1985, est composée de 60 atomes de carbone qui forment une « cage » sphérique ressemblant à la surface d'un ballon de football.

Pour d'autres, un nano-objet désigne un objet dont au moins une des dimensions est de l'ordre du nanomètre. Il peut s'agir d'éléments longilignes qui sont à l'échelle nanométrique sur deux dimensions (nanotubes, nanofibres, etc.), ou de surfaces qui n'ont qu'une dimension nanométrique (nanorevêtements, nanocouches, etc.).



Nanotube de carbone

Découverts en 1991, les nanotubes sont constitués d'un ou plusieurs feuillets d'atomes de carbone enroulés sur eux-mêmes. Ces atomes de carbone sont disposés en un réseau hexagonal. Le diamètre des nanotubes monocouches peut varier de 1 à 2 nm, tandis qu'il peut dépasser 20 nm pour des multicouches.

Voir et manipuler l'invisible

Depuis les années 1980, les recherches s'orientent vers le nanomonde. Les nanosciences désignent l'étude des propriétés de la matière à l'échelle nanométrique, tandis que les nanotechnologies concernent le développement de nouveaux objets et systèmes exploitant ces propriétés.

L'homme s'intéressait déjà avant à l'infiniment petit. Mais pendant longtemps, les chercheurs ont conçu le nanomonde comme une abstraction, et ils ne le visitaient que par des équations mathématiques.

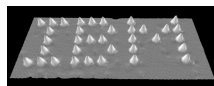
Puis les outils se sont affinés, et les découvertes de ces dernières années l'ont rendu compréhensible, concret et surtout manipulable.

Afin de voir et manipuler les objets nanométriques deux outils en particulier sont utilisés :

▪ Le microscope à effet tunnel

Inventé en 1981, cet instrument comporte une pointe métallique extrêmement fine qui survole la surface d'un matériau conducteur à quelques nanomètres de distance. En même temps, une tension est appliquée entre la pointe et la surface, ce qui crée un courant d'électrons. Après avoir balayé toute la surface du matériau et enregistré les variations de ce courant, le relief est reconstitué par ordinateur avec une précision de l'ordre de l'atome, c'est-à-dire de 0,1 nm. Cet instrument d'observation est également devenu un outil de manipulation des atomes.

Une première médiatique



En 1988, deux chercheurs d'IBM dessinent le sigle de leur société avec 35 atomes de xénon sur une surface de nickel, au moyen de la pointe d'un microscope à effet tunnel.

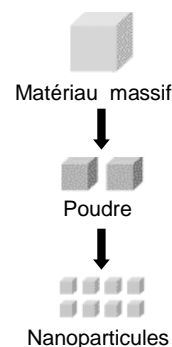
▪ Le microscope à force atomique

Apparu en 1986, cet instrument permet d'observer les surfaces de matériaux isolants. Il est entièrement mécanique. Sa pointe, montée sur un petit levier très flexible, effleure la surface à observer en suivant le relief. Un laser mesure les déformations du levier au cours du déplacement de la pointe. Celles-ci sont ensuite enregistrées sur un ordinateur.

Cependant, si les instruments utilisés aujourd'hui pour explorer le nanomonde sont très performants, ils comportent aussi des limites : les chercheurs travaillent avec des outils plus gros que les objets qu'ils souhaitent manipuler et fabriquer. C'est, en quelque sorte, comme coudre un bouton avec des gants de boxe !

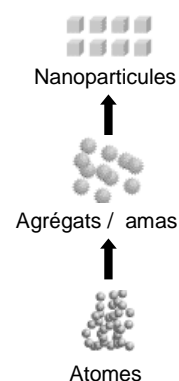
Pour fabriquer des nano-objets, deux voies s'ouvrent actuellement aux chercheurs : *top-down* (démarche descendante) et *bottom-up* (démarche ascendante).

- La voie descendante ou *top-down* :



Les scientifiques partent d'un matériau puis le découpent et le sculptent pour réduire le plus possible ses dimensions. C'est par exemple la voie qu'a suivie l'électronique depuis 40 ans. Cependant, cette voie ne pourra pas être poursuivie à l'infini et devrait atteindre ses limites vers 2015-2020. Elle se heurtera en effet à une limite physique : celle de la taille des atomes.

- La voie ascendante ou *bottom-up* :



La voie ascendante consiste à construire la matière en l'assemblant atome par atome. Cette voie est similaire à celle suivie par la nature qui, à partir de molécules simples, a formé le monde du vivant durant les 4 milliards d'années d'évolution. Mais cette démarche pose encore de nombreux problèmes et n'existe que dans des conditions expérimentales.

Nanotechnologies : quelles applications aujourd'hui et demain ?

Au niveau international, les nanotechnologies suscitent de plus en plus d'intérêt. Pour certains, elles constituent le cœur de la prochaine révolution industrielle. Conscients de l'importance de ces innovations, les pays industrialisés investissent massivement. Ainsi, dans les prochaines décennies, les nanotechnologies auront sans doute un impact sur tous les domaines de notre vie quotidienne. Mais pour l'instant, trois secteurs sont particulièrement prometteurs : l'électronique, les matériaux et la médecine

L'électronique

L'électronique est un domaine où le terme miniaturisation prend tout son sens. En 40 ans c'est avec une cadence effrénée que les progrès technologiques ont permis de réduire considérablement la taille des composants. L'électronique est ainsi le premier secteur à avoir tiré profit des nanotechnologies. En 2002, les composants ont franchi la porte du nanomonde !

À mesure que les dimensions des composants diminuent, ce sont des systèmes électroniques de plus en plus performants qui voient le jour. Les technologies de l'information et de la communication bénéficient particulièrement de ces progrès.

Le saviez-vous ?

Les procédés de miniaturisation ont permis d'augmenter considérablement le nombre de transistors implantés sur une puce électronique : alors qu'ils n'étaient que quelques-uns sur les premières puces des années 60, ils se comptent aujourd'hui en centaines de millions !

Depuis plusieurs années, les effets de la miniaturisation s'observent déjà dans différents objets de notre vie quotidienne. Ordinateurs, téléphones portables, lecteurs MP3, clés USB, etc., d'année en année les appareils gagnent en puissance, en capacité de stockage, en nouvelles fonctions, tout en devenant de plus en plus petits. À l'avenir, les ordinateurs pourraient s'enrichir encore de nouvelles applications, et gagneront encore en puissance de calcul.

Cependant, la miniaturisation ne pourra pas continuer indéfiniment, la voie *bottom-up* est envisagée pour l'avenir. En suivant celle-ci, ce serait alors un nouveau type de technologie et le début d'une véritable nanoélectronique qui verraient le jour. Pour cela, il reste cependant encore de nombreux obstacles à dépasser.

De nouveaux matériaux

Des raquettes de tennis aux vitres, en passant par les pièces automobiles et les pneumatiques, des objets comportant des nanomatériaux ont fait leur entrée dans notre vie quotidienne.

Les nanomatériaux peuvent désigner :

- Des matériaux composés entièrement de nano-éléments ;
- Des matériaux dans lesquels sont incorporés des nanoparticules (ce sont alors des nanocomposites) ;
- Des matériaux dont la surface est recouverte d'éléments de taille nanométrique.

Les propriétés (mécaniques, optiques, thermiques, électriques, magnétiques, etc.) d'un matériau

sont conférées pour grande partie par la structure et la composition de ce matériau. Une simple petite modification de celles-ci et les propriétés peuvent s'en trouver complètement modifiées !

Or, la matière montrant des caractéristiques particulières à l'échelle du nanomètre, l'intégration d'éléments nanométriques dans les matériaux permet alors de les doter de propriétés nouvelles et d'améliorer leur performance : résistance accrue, imperméabilité, action antibactérienne, capacité d'auto-nettoyage, etc.

Ces nouveaux matériaux trouvent particulièrement leur place dans le domaine du bâtiment. Au delà des propriétés mécaniques intéressantes, ce sont aujourd'hui aussi les propriétés fonctionnelles qui sont exploitées. Ainsi, de nouveaux bétons autonettoyants et dépolluants ont par exemple été mis au point. Ces propriétés sont obtenues par l'ajout d'une nanopoudre de dioxyde de titane à du ciment classique. Sous l'action de la lumière du soleil, ces particules de dioxyde de titane entraînent des réactions chimiques qui conduisent à la destruction de certains polluants et salissures.

Du béton autonettoyant à Chambéry



Au début des années 2000, la Cité des arts de la ville de Chambéry est le premier bâtiment en France à avoir bénéficié d'un béton autonettoyant.

Le domaine du sport et des loisirs est quant à lui le premier à avoir exploité les caractéristiques des nanotubes de carbone pour renforcer divers accessoires de sport (raquettes de tennis, clubs de golf, skis, cadres de vélo, etc.). Et pour cause : le nanotube de carbone montre des propriétés mécaniques remarquables : il est 100 fois plus résistant que l'acier tout en étant plus flexible et 6 fois plus léger !

Par ailleurs, des produits dans de nombreux autres secteurs contiennent également des nanoparticules : certains textiles antibactériens, peintures, dentifrices, revêtements, pneumatiques, crèmes solaires, cosmétiques, etc.

Les nanomatériaux sont parfois inspirés de la nature. Celle-ci produit en effet, depuis des milliards d'années, des particules et des structures nanométriques. Certains animaux et végétaux présentent ainsi d'étonnantes facultés qui trouvent leur origine à l'échelle nanométrique.

Une adhérence hors du commun !



Le gecko, un petit lézard, peut s'accrocher à toute surface, des murs au plafond, grâce aux millions de

nanopils qui couvrent les doigts de ses pattes, augmentant ainsi la surface de contact avec un support, et démultipliant la force d'attraction qui s'exerce entre les atomes (force de Van der Waals).

Toujours propre !



Les feuilles de lotus comportent sur leur surface tout un réseau d'aspérités micro et nanométriques, ainsi

qu'une couche cireuse hydrophobe qui réduisent le contact entre la feuille et les gouttes d'eau. Ces dernières ne s'étalent donc pas, elles s'écoulent sur la surface de la feuille sans la mouiller, et emportent avec elles poussières et saletés.

Vers une nanomédecine

L'emploi des nanotechnologies et nanosciences en médecine présente l'intérêt d'intervenir à la même échelle que les composants des cellules et donc d'agir de manière beaucoup plus précise et efficace.

Plusieurs pistes d'applications médicales faisant intervenir les nanotechnologies sont actuellement à l'étude.

La première d'entre elles concerne la mise en place de nanomédicaments (ou nanovecteurs) à l'action plus ciblée que celle des médicaments classiques. Ces derniers présentent en effet l'inconvénient de se répandre dans l'organisme avant de parvenir à leur cible, et peuvent dans certains cas ne pas parvenir jusqu'à celle-ci, ou bien atteindre d'autres parties de l'organisme et entraîner des effets secondaires indésirables.

Le principe des nanovecteurs est donc de délivrer les molécules actives au cœur même de leur cible



Nanovecteur

par le biais d'une capsule de taille nanométrique, qui pourrait traverser les barrières biologiques

et protéger le médicament le temps de son transport vers sa cible. Les études en cours visent également à concevoir les nanocapsules de manière à ce qu'elles libèrent leur contenu au bout d'un temps donné ou à la suite d'un signal déclencheur.

Une autre piste explorée concerne l'amélioration des diagnostics. Des applications pourraient notamment être envisagées en matière d'imagerie médicale, avec des nanoparticules utilisées comme marqueurs. Grâce à leur taille, celles-ci pourront entrer au cœur même des cellules et atteindre des cibles jusqu'alors inaccessibles. Elles permettraient d'établir des diagnostics plus précis et plus précoces. Par ailleurs, la miniaturisation pourrait rendre les analyses médicales beaucoup plus rapides, avec de nombreux tests réalisés simultanément et des réactifs utilisés en très petites quantités qui se rencontreront donc beaucoup plus vite.



Des prothèses en nanomatériaux ?

Les nanomatériaux aussi pourraient trouver leur place dans le domaine médical. Des recherches

portent en effet sur l'emploi de nanomatériaux composites pour réaliser des prothèses plus résistantes que celles réalisées avec les matériaux actuels.

Faut-il avoir peur des nanos ?

Les nanotechnologies suscitent cependant de nombreuses interrogations et inquiétudes, et font l'objet de débats.

Si certaines craintes exprimées sont irraisonnées et non fondées, alimentées notamment par des ouvrages de science-fiction, d'autres en revanche sont légitimes et concernent en particulier les risques potentiels des nanoparticules sur la santé et l'environnement.

Les nanoparticules sont-elles toxiques ?

La question est sur toutes les lèvres, et la seule réponse recevable à l'heure actuelle est qu'on n'en sait pas assez pour statuer définitivement.

Divers travaux sont menés actuellement pour comprendre où vont les nanoparticules après avoir pénétré dans l'organisme, les réactions qu'elles provoquent, la manière dont elles sont éliminées ou non. Ces études démontrent que les nanoparticules ont une activité biologique indéniable (réactions inflammatoires, fibrose, effets cardiovasculaires, etc.) et confirment leur grande mobilité une fois rentrées dans l'organisme (passage à travers des barrières par la circulation sanguine).

Afin de tirer des conclusions sur les éventuels risques de toxicité des nanoparticules, il est nécessaire d'accroître les connaissances sur le comportement de ces particules, et d'adapter et faire évoluer en fonction de cela les réglementations existantes concernant la protection des consommateurs, des travailleurs et de l'environnement.

Protection du personnel exposé



Pour les travailleurs, les mesures de protection existantes ne sont pas spécifiquement adaptées aux nanoparticules, et les valeurs limite d'exposition restent floues. Dans l'attente d'une meilleure connaissance du comportement

de ces particules, certains organismes recommandent le principe de précaution et des mesures de protection renforcées.

Information des consommateurs



Aujourd'hui rien n'oblige les producteurs et distributeurs à afficher la présence de nanoparticules sur les emballages des produits ou dans les rayons.

Cependant, à partir de 2013, les cosmétiques seront les premiers à faire l'objet d'une réglementation européenne imposant de mentionner sur les emballages des produits la présence de nanocomposants.

Quel impact sur l'environnement ?

Alors que les recherches révèlent les effets des nanoparticules sur l'organisme et la santé, une autre inquiétude concerne leur impact sur l'environnement, la faune et la flore.

Cette préoccupation est plus récente, les premières études datant à peine d'une dizaine d'années. Pourtant, l'environnement est la destination finale des nanoparticules produites. Celles-ci peuvent par exemple provenir de l'usure de nanomatériaux, se retrouver dans la nature au fil des lavages de textiles comportant des nanoparticules, ou encore être issues de rejets industriels.

Des études sont donc également menées dans ce domaine afin de déterminer le comportement de différents types de nanoparticules dans l'environnement, leurs effets sur les écosystèmes et leur éventuelle toxicité pour les espèces animales et végétales.

Moteur d'innovation, les nanotechnologies sont présentes dans beaucoup de secteurs d'activité. Des objets qui en sont issus font déjà partie de notre quotidien, tandis que les perspectives ouvertes sont multiples. Cependant, les nanotechnologies font l'objet de nombreux débats, discussions et controverses. En effet, de nombreuses inconnues demeurent encore, en particulier concernant la toxicité potentielle des nanoparticules et les impacts sanitaires et environnementaux qui pourraient en résulter.

***Expo Nano** est donc aujourd'hui l'occasion de faire le point sur les enjeux et les risques associés à ces technologies de l'infiniment petit, afin que vous puissiez prendre part au débat.*

Document réalisé par l'équipe médiation de la Galerie Eurêka

Galerie Eurêka - C.C.S.T.I. de la Ville de Chambéry
Hôtel de Ville BP 1105
73 011 CHAMBERY cedex
tel : 04-79-60-04-25

e-mail : galerie.eureka@ccsti-chambery.org
Site Internet : www.chambery.fr/galerie.eureka