

Technologies convergentes et questions nouvelles

Les systèmes de localisation par satellites du type Galileo ou GPS, qui permettent de se situer avec précision sur le terrain, pourraient bien offrir demain d'autres services en conjonction avec des capteurs liés aux personnes ou aux biens.



Source : site EADS SPACE

La montée en puissance des nanotechnologies et, surtout, leur convergence avec d'autres domaines laissent présager des ruptures importantes, avec d'un côté la promesse d'indiscutables progrès et de l'autre l'apparition de nouvelles questions éthiques.

Diverses innovations ont bouleversé notre mode de vie, comme la télévision, l'informatique personnelle, Internet et le téléphone portable. Le schéma est relativement standard : des produits apparaissent, des utilisateurs y voient un bénéfice potentiel et s'équipent. Les prix baissent, l'offre augmente et, devant la masse, la société s'organise, voire légifère autour de ces nouveaux produits.

La convergence des nanotechnologies avec diverses disciplines (sciences de l'information et de la cognition, médecine...) annonce des ruptures importantes, mais aussi une accélération de l'innovation, à tel point que le schéma traditionnel ci-dessus pourrait ne pas être respecté. En effet, même si les résultats d'exercices de prospective ne doivent pas être pris au pied de la lettre, on ne peut qu'être interpellé par certaines de leurs implications et l'apparition de questions nouvelles. D'un côté, on entrevoit des bénéfices considérables, mais de l'autre, comme pour toute innovation marquante, de nouvelles questions se posent sur la prise en compte d'éventuels risques et de répercussions sur la société, sur l'économie, voire sur le droit. Des débats en cours (recherche sur les cellules souches, clonage humain, développement des organismes

génétiquement modifiés, propriété artistique sur Internet, toxicité des **nanoparticules** – voir *La prise en compte des risques liés aux nanoparticules*) ou à venir sont peut-être les premières illustrations de ces nouvelles questions posées à nos sociétés. Quelques exemples illustreront la richesse de ce questionnement.

Technologies de l'information et nouveaux dilemmes

Un mouvement déjà initié depuis quelques années est la multiplication de capteurs et d'actionneurs interconnectés. Ces dispositifs offriront des services considérables, et ceci d'autant mieux qu'une multitude d'éléments fourniront des données sur le "contexte", c'est-à-dire les objets présents dans l'environnement et l'identité de l'utilisateur ou du client. Certains capteurs liés aux personnes ou à des biens qu'ils transportent fourniront des données géographiques (système GPS⁽¹⁾, triangulation, caméras). La localisation permet l'assistance, une aide à la navigation, une vue en "réalité augmentée". L'identification permet par exemple des

(1) *Global Positioning System*, système de positionnement par satellite.

paiements, des informations en ligne, la mémorisation d'événements. D'autres capteurs, fixes, optimiseront le fonctionnement des infrastructures. Peuvent être cités la régulation de l'environnement urbain, le contrôle des transports, mais aussi la lutte contre la criminalité. Enfin, des systèmes liés au domicile auront pour but d'assurer un environnement "intelligent" et des services variés, notamment en matière de sécurité, de loisirs et d'enseignement.

Un niveau minimum d'interconnexions est nécessaire pour assurer des services à haute valeur ajoutée. Le schéma extrême envisagé par certains est un réseau Internet global reliant tous ces milliards d'éléments en un système d'information unique.

Tous ces dispositifs produisent des données parcelaires, susceptibles d'être recoupées. La question qui se pose alors est la mise en œuvre de solutions techniques permettant d'apporter une plus-value au citoyen, tout en lui offrant la garantie qu'il garde le contrôle des informations le concernant. La possibilité de détournements d'usage et la sécurité des données sont à considérer dès la conception, car la confiance qu'aura l'utilisateur sera l'élément clé du développement de ces techniques.

Un exemple qui date du début des années 2000 est celui des étiquettes électroniques RFID⁽²⁾. Lorsqu'ils sont interrogés, ces dispositifs transmettent un code d'identification qui peut être unique avec une portée qui va de quelques millimètres à une dizaine de mètres. Ils sont déjà utilisés dans les systèmes d'accès

usage. Tout d'abord, ils peuvent être facilement dissimulés et donner des informations sur leur porteur (que transporte-t-il, combien a-t-il d'argent sur lui?). Il serait ensuite possible, par recoupement, d'accéder à des informations sur l'identité, la localisation, les goûts de l'intéressé...

Quelques principes généraux sont suggérés pour que les RFID ne deviennent pas des objets dont on se méfie, à commencer par un encadrement des capteurs : signalisation claire de leur présence, caractéristiques, transparence sur leur finalité, limitation des données échangées et des possibilités de recoupement, faculté de les retirer ou de les inhiber. De même serait encadré et réglementé l'accès aux données, qu'elles soient sous forme de fichier ou réparties dans de multiples systèmes interconnectés.

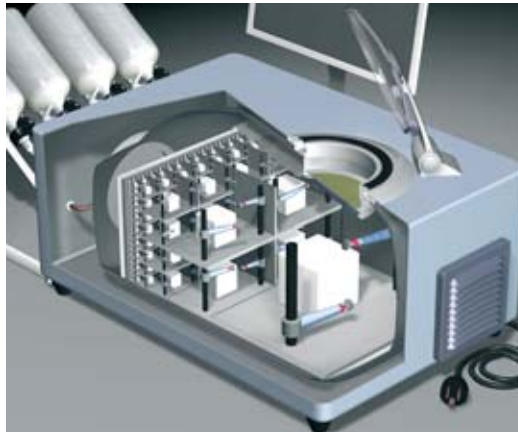
Les nanotechnologies vont rendre les technologies de l'information plus omniprésentes et facilement accessibles, voire intégrées "au paysage", mais également plus spécifiques, capables en particulier d'identifier un individu donné. Cela offre des possibilités extraordinaires, mais aussi confrontera nos sociétés à des choix difficiles. L'un d'entre eux a trait à la notion de vie privée. Chacun dispose d'un espace protégé du regard des autres, que ce soit au travers du secret médical, du huis clos ou de l'anonymat. La montée de l'insécurité, le terrorisme, voire un crime abject peuvent amener une société à accepter une diminution de cet espace en échange de plus de sécurité. Ce fut le cas aux États-Unis avec le *Megans Act*. À la suite d'un crime particulièrement odieux perpétré par un pédophile récidiviste, ce pays a adopté une loi autorisant la publication de données sur les délinquants sexuels qu'on trouve d'ailleurs facilement sur le Web pour certains États. En France, en juin 1998, la loi sur la prévention et la répression des infractions sexuelles a créé le FNAEG⁽⁴⁾, initialement prévu pour recueillir les empreintes génétiques de personnes condamnées pour des crimes à caractère sexuel. Suite à des crimes odieux, aux attentats du 11 septembre 2001 et au sentiment croissant d'insécurité, l'usage de ce fichier a été considérablement élargi par deux gouvernements de tendances différentes. Le fichier devrait comporter à terme 700 000 empreintes, moins toutefois que son équivalent anglais, qui en contient désormais deux millions.

Une évolution peut être imaginée dans deux directions. Tout d'abord, un poids croissant de questions difficiles, comme le compromis entre le droit à l'intimité, qui est aussi un gage de cohésion sociale (droit à la différence, au rachat après une faute, à la possibilité de recommencer sa vie) et le bien-être de la collectivité; ensuite, une réflexion sur l'évolution des techniques pour tenter de sortir de certains dilemmes inextricables. Serait-il par exemple acceptable que seules des machines aient "connaissance" d'informations privées relatives à chacun et en "tirent des conséquences" ?



Les systèmes d'identification radiofréquence (RFID) offrent des potentialités qui vont bien au-delà des tâches de gestion et d'authentification qui leur sont actuellement assignées et suscitent certaines craintes.

DigitalPhilips



John Burch, Lizard Fire Studios

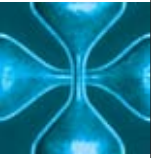
Concept de "nano-usine de bureau" pour la fabrication à l'échelle moléculaire imaginée comme une succession de machines assemblant des pièces (cubes blancs) de plus en plus grosses, par exemple des cœurs d'ordinateurs équipés de milliards de processeurs opérant en parallèle.

(badges, péages), les identifications (antivol, animaux) et on s'attend à ce qu'un jour ils ne soient pas plus chers que des étiquettes classiques. Leur usage sera alors sans limite, par exemple pour le suivi de stock, les marquages antivol, l'immatriculation des automobiles et la généralisation d'objets capables d'informer l'environnement de leur présence. Un réfrigérateur ou une machine à laver seraient ainsi "informés" de leur contenu et il serait plus facile de retrouver ses lunettes, ses documents... En résumé, les RFID sont des systèmes de localisation, d'identification et d'authentification. Fin 2003, une trentaine d'associations américaines, dont la plus connue, Caspian⁽³⁾, ont rédigé un manifeste qui constitue une synthèse des diverses questions que pose leur

(2) Radio Frequency Identification Devices.

(3) Consumers Against Supermarket Privacy Identification And Numbering.

(4) Fichier national des empreintes génétiques.



Rencontre avec le vivant

En permettant la réalisation de systèmes miniatures, peu gourmands en énergie, potentiellement interfacés avec le corps, les nanotechnologies offrent d'immenses possibilités dans le domaine médical (capteurs, organes artificiels). Elles ouvrent également la voie aux systèmes implantés de traitement de l'information, une rencontre sans doute riche en péripéties.

Une première rencontre a été celle de l'utilisation de RFID implantés à des fins d'identification. Elle est déjà réalisée en routine pour l'identification des animaux domestiques mais aussi sur des volontaires humains. Un système célèbre est le *Verichip*TM, cylindre de 2,1 mm de diamètre implantable sous la peau. La société qui met ces dispositifs au point propose son couplage avec un système de localisation par GPS (externe) permettant de suivre le porteur. Les utilisations envisagées sont variées : système anti-kidnapping pour les enfants, surveillance de détenus en liberté conditionnelle (une forme plus "internalisée" du bracelet électronique), localisation de malades, voire système d'accès ou moyen de paiement sécurisé (ce n'est plus la carte qui sera "à puce", mais le client). Ce concept a soulevé un émoi considérable, voire un sentiment de répulsion. Il y aurait déjà un millier de personnes "implantées" à des titres divers. Celles-ci y voient un bénéfice : façon de s'affirmer au même titre qu'un *piercing*, tranquillité de parents inquiets, accès sécurisé, badge d'accès, moyen de paiement. À moins que des bouleversements ne viennent modifier le contexte, cette pratique devrait rester très limitée. Ceci d'autant plus que les bénéfices sont relatifs, comme le soulignent certains détracteurs : après quelques "extractions" sauvages, ces précieux sésames cesseront rapidement d'être considérés comme "sécurisés".

Un deuxième sujet de réflexion est la question de la banalisation de données relatives à l'humain. Les micro-nanotechnologies permettent de réaliser en miniature de véritables laboratoires d'analyse, des "*lab on a chip*". L'exemple le plus emblématique est l'analyse de l'**ADN** qui offre des retombées considérables dans le domaine du diagnostic. Un corollaire en est la "désanctuarisation" de notre identité génétique et des informations associées, ceci d'autant plus que nous répandons généreusement notre ADN dans l'environnement (cheveux, sang, salive, fragments de peau...). Il est légitime de s'inquiéter de l'émergence de pratiques nouvelles, si des analyseurs d'ADN sont en vente libre sans garde-fous : profilage et corrélativement discrimination génétique d'un individu, éventuellement à son insu, par exemple, afin d'identifier ses éventuelles prédispositions à des maladies au bénéfice d'un employeur ou d'un assureur. À l'instar des succès de la graphologie et de l'astrologie, on peut imaginer des officines offrant des tests de personnalité à partir de l'ADN, ce simple mot leur donnant une image de sérieux.

Une troisième rencontre, plus prometteuse, intéressera le domaine médical. Des systèmes implantés permettront un diagnostic continu, voire l'injection de médicaments, rendant la liberté de mouvement à des malades actuellement immobilisés. Ces techniques, qui appartiennent à un proche avenir, recevront un accueil plus chaleureux. À plus long terme, une nouvelle génération de dispositifs pourrait être encore



Reymond Page/ETC

« J'ai peut-être forcé sur le nano et lésiné sur le bio » : dessin tournant en dérision la convergence entre nanotechnologies et biotechnologies. Il est diffusé par le groupe ETC, l'une des premières organisations à mettre systématiquement en garde contre les dangers réels ou supposés des nanotechnologies.

plus innovante : rétine ou oreille interne artificielles, implants cérébraux, tissus artificiels. Elle offrirait l'opportunité de traitements révolutionnaires, mais poserait également des questions sans précédent (qui sont en fait déjà débattues, notamment aux États-Unis). Que se passera-t-il si on réalise des dispositifs capables d'améliorer l'humain ? Que deviendraient les sociétés qui décideraient de renoncer à ces pratiques ? Le dernier exemple, à plus long terme, est la convergence des nanotechnologies avec les sciences cognitives. Celle-ci conduit aujourd'hui à imaginer des systèmes proactifs, capables de réagir en fonction des habitudes de l'utilisateur, c'est-à-dire des objets appelés "intelligents" même s'ils ne le sont pas. Elle amènera de nouvelles questions. Certaines relèveront du domaine du marketing. Comment devra se "comporter" un objet pour ne pas être rejeté ? Dans un premier temps, on peut considérer qu'il s'agit d'une forme futuriste d'ergonomie, mais cela va plus loin si on évoque la "personnalité" de ces objets. D'autres sont plus générales. Il s'agit par exemple de décisions non humaines : donner le pouvoir de décider à une machine peut être très utile lorsqu'il s'agit de contrôler les paramètres de décollage d'une fusée ou d'un avion, mais peut-être moins quand il s'agit d'une décision d'ordre médical, voire juridique.

Des questions qui influencent les recherches

Quel que soit le sujet examiné, la conclusion est la même : les nanotechnologies présentent de nombreux aspects positifs, mais le corollaire des avantages et des ruptures annoncés est l'apparition de nouvelles questions : impact sur l'emploi, sécurité, cohésion sociale, bien-être individuel... En retour, ces questions et les débats qu'elles ne manqueront pas de susciter influenceront sur les recherches et les produits qui pourraient en découler. Un autre élément à prendre en compte est que beaucoup de ces questions sont mondiales. Par exemple, le commerce demande des normes aussi uniformes que possible et un jeu équilibré de dépendances des uns envers les autres, la circulation des personnes supposant un nivellement des procédures de droit d'accès.

➤ **Louis Laurent**

Direction des sciences de la matière
CEA centre de Saclay

La prise en compte des risques liés aux nanoparticules

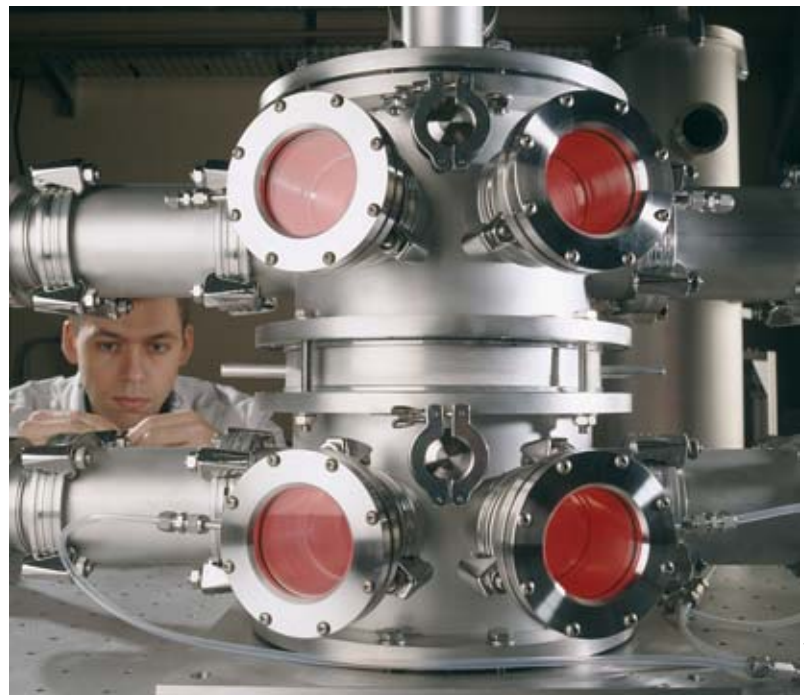
Parmi les risques réels ou supposés présentés par les nanotechnologies, la toxicité éventuelle des nanoparticules mérite une attention particulière. Même si certaines existent à l'état naturel ou sont déjà industriellement produites en grandes quantités, la prochaine introduction en masse de nouveaux types de nanoparticules sorties des laboratoires mobilise les toxicologues.

Les **nanoparticules**, terme qui désigne par convention les particules de taille inférieure à 100 nm, trouvent tous les jours de nouvelles applications industrielles dans des domaines aussi variés que l'électronique, le biomédical, la pharmacie, la cosmétologie, la catalyse chimique, les nouveaux matériaux... Cet essor est dû aux caractéristiques parfois fondamentalement différentes des nanoparticules comparées à celles des mêmes matériaux à l'échelle micro ou macroscopique, en termes de résistance mécanique, de réactivité chimique, de conductivité électrique, de **fluorescence**... Les nanoparticules peuvent être constituées de matières organiques ou minérales très diverses et présenter des morphologies très différentes, prenant notamment la forme de fibres (par exemple de SiC), de **nanotubes** (carbone), de sphères...

Aujourd'hui, nous assistons à l'avènement d'une nouvelle étape de l'histoire industrielle des nanoparticules. De nouveaux types jusque-là en cours de mise au point dans les laboratoires sont en passe d'être fabriqués en masse. Il faut cependant noter que, depuis de nombreuses années, certaines nanoparticules comme les oxydes de silicium, de titane et d'aluminium sont déjà produites à de forts tonnages. Désormais, les économistes parlent de l'avènement d'une nouvelle industrie pour le XXI^e siècle avec une prévision de chiffre d'affaires annuel dès l'horizon 2010 de l'ordre de 340 milliards d'euros à l'échelle de la planète, comparable à ceux de l'automobile ou de la microélectronique, soit une contribution comprise entre le tiers et la moitié du chiffre d'affaires total des nanotechnologies (figure). Une industrie qui emploiera directement plus de 2 millions de salariés.

Dans ce contexte, le CEA poursuit depuis plusieurs années des recherches dans le domaine des nanoparticules, à la fois de façon prospective et appliquée à ses besoins propres dans le domaine de l'énergie, en particulier pour élaborer les matériaux très avancés nécessaires aux réacteurs nucléaires du futur ou aux piles à combustible⁽¹⁾.

Bien que des nanoparticules existent depuis toujours à l'état naturel, y compris dans l'air pourtant réputé pur de nos montagnes, à des concentrations très élevées (environ 10 000 particules supérieures à 10 nm par ml), les propriétés physiques, parfois très différentes des nouvelles nanoparticules, doivent inspirer la prudence. En particulier là où les plus fortes concentrations sont susceptibles d'être rencontrées : dans les ateliers de production et, ultérieurement, de mise en œuvre des particules artificielles. D'autant plus que leur petite taille



A. Gomin/CEA

Réacteur de l'installation pilote de synthèse de nanopoudres par pyrolyse laser en flux au centre CEA de Saclay, méthode qui consiste à faire interagir sous argon un laser de puissance avec un flux de réactifs gazeux et ou liquides, permettant de moduler les caractéristiques physico-chimiques des nanopoudres. La capacité de production visée est de l'ordre du kilogramme/heure.

rend leur confinement difficile à assurer et favorise leur dispersion rapide dans l'air sous l'effet des phénomènes de diffusion et que leur persistance est susceptible de favoriser l'exposition des personnes.

Risques classiques et risques spécifiques

Les nanoparticules présentent deux types de risques objectifs : des risques "classiques" et des risques potentiels liés aux propriétés spécifiques induites par leur petite taille. Au titre des premiers, il est d'abord évident que si les nanoparticules sont constituées de matière

pharmaceutique 18 %
électronique 30 %
chimie (catalyseurs nanostructurés) 10 %
transports (nanomatériaux, nanoélectronique) 7 %
autres 1 %
nanomatériaux 34 %

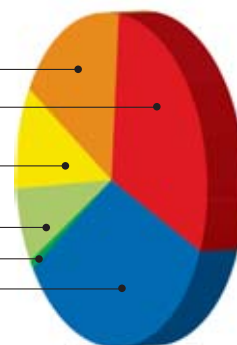


Figure. Répartition du marché des nanotechnologies en 2010, pour un chiffre d'affaires global estimé compris entre 700 et 1 000 milliards d'euros (source : Étude prospective sur les nanomatériaux - DIGITIP 2003).

(1) Voir Clefs CEA n° 50/51 (hiver 2004-2005).



Dépôtage de nanoparticules de SiC obtenues par pyrolyse laser au centre de Saclay. Par précaution, le CEA applique, lors de ce type de manipulation, certaines des techniques de confinement utilisées dans le nucléaire.

toxique (métaux lourds, en particulier), elles peuvent au moins exposer l'homme aux mêmes risques que la même quantité de cette matière sous forme macroscopique. De plus, étant avant tout des poudres, elles sont susceptibles, pour la plupart, de s'oxyder avec des cinétiques très rapides dues à leur caractère divisé, jusqu'à provoquer une explosion. On peut alors craindre dans l'air la dissémination d'une quantité importante de nanoparticules. Ce phénomène "d'explosion de poussières" n'est néanmoins susceptible de se produire qu'à des concentrations très élevées.

Le second type de risque peut être lié aux propriétés spécifiques des nanoparticules : surface spécifique, réactivité chimique, impuretés superficielles notamment. Les connaissances les plus documentées ont été acquises dans le domaine de l'environnement et de l'étude de l'impact de la pollution urbaine, faisant en effet craindre des effets sur la santé humaine causés par les nanoparticules générées par l'homme. Peters et ses collaborateurs, en 1997, et l'équipe de Pekkanen, en 2002, ont ainsi mis respectivement en évidence des effets des particules urbaines sur les paramètres de la fonction respiratoire et sur le système cardio-vasculaire. La présence fréquente de polluants adsorbés sur les nanoparticules comme l'oxyde de carbone, les oxydes d'azote ou l'ozone rend toutefois délicate la discrimination des contributions respectives.

En dehors de ce thème des particules "urbaines", relativement peu de données sont encore disponibles sur les effets des nanoparticules en termes de toxicologie à court ou à long terme, ni même sur les mécanismes exacts qui sont susceptibles de gouverner cette toxicité. Les premières études déjà publiées dans le monde font cependant état d'interactions entre les nanoparticules et les cellules, qui incitent également à la prudence.

D'un point de vue général, il s'avère que les premières études menées dans ce domaine n'ont guère eu la possibilité de caractériser la nature exacte physico-chimique des nanoparticules étudiées, paramètre pourtant décisif – une particule de carbone peut être composée de nanotubes de carbone de dimensions différentes (monoparois, multiparois) ou de suie. Cette incertitude rend difficile la comparaison des résultats obtenus dans différents laboratoires.

Plusieurs voies de pénétration dans l'organisme

Dès 1992, des travaux réalisés par Oberdörster et ses collaborateurs avaient montré chez l'animal des effets liés aux propriétés spécifiques des nanoparticules.

L'appareil respiratoire constitue la voie majeure de pénétration des particules dans l'organisme, comme l'a confirmé l'équipe de Daigle en 2003. Une pénétration d'autant plus importante que l'individu pratique un effort physique. Des composés considérés comme ordinairement inoffensifs peuvent se révéler dangereux à l'échelle du nanomètre. Les nanoparticules isolées se déposent dans les voies pulmonaires, notamment dans le poumon profond, en proportion nettement supérieure à celle de particules micrométriques.

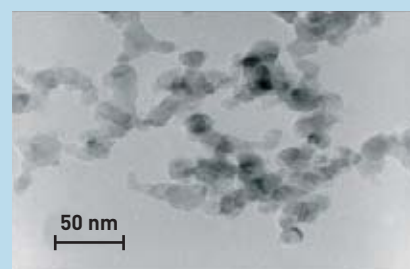
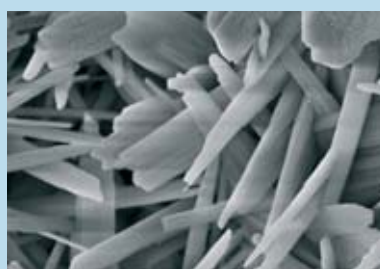
D'après Ferin (1991), les nanoparticules ont en effet la propriété de pénétrer l'épithélium pulmonaire beaucoup plus rapidement que des particules micrométriques, et de passer dans les circuits lymphatiques, s'accumulant progressivement dans les ganglions lymphatiques les plus proches. Une distribution systémique par la circulation sanguine a aussi été mise en évidence. Chiu-Wing Lam a démontré que des souris ayant inhalé des fragments de quelques micromètres de nanotubes de carbone ont eu la même réaction qu'envers de la poussière ordinaire alors que face à des nanofibres individuelles, elles ont développé des lésions pulmonaires et intestinales.

Une autre étude animale, réalisée par Yiu et son équipe en 1990, a mis en évidence que les effets pulmonaires constatés étaient reliés à la surface totale des nanoparticules plutôt qu'à leur masse, mettant en évidence l'importance de la réactivité surfacique.

Des interrogations subsistent aussi quant à une possibilité de pénétration par voie cutanée, ainsi qu'un transfert secondaire possible par voie digestive.

Le rôle de la nature chimique

En plus de certains paramètres physiques parfois prédominants comme la surface des particules, les travaux des équipes de Murphy (1998), Dick (2003), Aust (2002)



Les nanoparticules peuvent se présenter sous des aspects très différents, comme le montrent les exemples des fibres de carbure de silicium (à gauche), des nanotubes de carbone (au centre) et de particules "sphériques" obtenues par pyrolyse laser (à droite).

Le projet NanoSafe2

Le premier sous-projet de NanoSafe2 est dédié à la détection, à la traçabilité et à la caractérisation des nanomatériaux. L'aspect détection des nanoparticules est en effet indispensable pour réduire puis surveiller l'exposition des personnels, qualifier les filtres, optimiser les équipements de production vis-à-vis des fuites, etc. Dans le sous-projet 2, des méthodes et technologies génériques sont développées pour déterminer la toxicité réelle des différents types de nanomatériaux. Une base de données ouverte à tous est constituée avec les informations toxicologiques obtenues dans le cadre du projet et également avec d'autres collectées dans le monde entier.

De nouvelles technologies pour limiter l'exposition du personnel au poste de travail et les fuites de l'atelier de production vers l'environnement sont développées dans le sous-projet 3. Des moyens de protection individuelle sont qualifiés vis-à-vis des nanoparticules.

Enfin, le sous-projet 4 est chargé de diffuser les résultats obtenus dans le cadre du projet, de faire des propositions aux instances de normalisation internationales, et d'organiser des formations pour le personnel exposé aux nanomatériaux.



et Huang (2003) comparant différentes nanoparticules rappellent l'importance de leur nature chimique. À titre d'exemple, une étude d'Oberdörster (1992) a montré que des particules de taille identique de dioxyde de titane (TiO₂) et de noir de carbone ne pénètrent pas du tout de la même façon l'interstitium alvéolaire (environ 50% de la dose pour le premier et 4% pour le second). Par ailleurs, Oberdörster a montré en 2004 que des nanoparticules peuvent parvenir au cerveau en suivant le trajet du nerf olfactif.

De nombreuses autres études ont toutefois démontré dans le même temps l'innocuité de certaines nanoparticules, voire parfois leurs effets potentiellement bénéfiques (capture des radicaux libres par les **fullerènes** par exemple). En fait, il est probable qu'il faudra attendre de nombreuses années avant de connaître précisément les types de nanoparticules et les doses associées présentant un réel danger pour l'homme et son environnement.

Compte tenu des enjeux industriels, de nombreux programmes de recherche sont engagés sur la toxicité des nanoparticules, en particulier aux États-Unis (*National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH), *Environmental Protection Agency* (EPA), Rice University...), au Canada à l'Université de Toronto et en Europe à la fois par des initiatives nationales au Royaume-Uni, en Allemagne, en Suisse et dans le cadre de projets des 5^e et 6^e **PCRD** traitant entre autres du transfert des nanoparticules à travers la peau (Nanoderme), des interactions nanoparticules/corps humain (Nanopathology), de la toxicologie des nanoparticules silice-céramique (Siliceram).

Un projet d'étude sur la chaîne complète

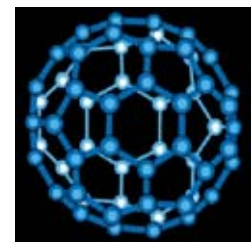
Le CEA s'est engagé de façon volontaire dans cette démarche en animant un dispositif de travail national sur le thème "nanomatériaux et sécurité" au sein du club Écrin⁽²⁾ et en initiant le projet européen NanoSafe2. Dédié aux risques liés à la production industrielle des nanoparticules, son premier meeting s'est tenu au

centre CEA de Grenoble en avril. Ce projet intégré vise à traiter un nombre limité de nanomatériaux et de situations industrielles types, mais couvrant l'intégralité de la chaîne des produits, de la production jusqu'à l'incorporation aux produits finaux en passant par le conditionnement, le stockage, et le transport. NanoSafe2, qui a pour ambition d'apporter les premières solutions technologiques et les procédures nécessaires à la sécurisation de ces nanomatériaux types, comporte quatre parties distinctes (encadré). NanoSafe2 regroupe six entités différentes du CEA implantées à Grenoble et Saclay et plus de vingt-quatre partenaires européens comprenant des universitaires, des instituts, des PME et des industriels. Les équipes regroupent des spécialistes des aérosols, des technologues, des biologistes et des médecins du travail (figure de l'encadré).

Application du principe de précaution

Sans attendre les conclusions des travaux de la recherche sur la toxicologie des nanoparticules, le CEA applique le principe de précaution en mettant en œuvre des techniques de confinement utilisées dans le nucléaire pour la protection de l'environnement et de son personnel travaillant dans le domaine des nanoparticules.

> **Florence Rouillon et François Tardif**
Direction de la recherche technologique
CEA centre de Grenoble



Découverts en 1985, les fullerènes font partie des formes de nanoparticules qui pourraient être utilisées en médecine pour contenir des médicaments ou capturer les radicaux libres.

POUR EN SAVOIR PLUS

Pour les aspects toxicologiques :
Dr Daniel Bloch, médecin du travail au centre CEA de Grenoble (daniel.bloch@cea.fr).

Pour le programme NanoSafe2 et le dispositif "nanomatériaux et sécurité" à ÉCRIN :
Frédéric Schuster coordinateur du projet au CEA, centre de Fontenay-aux-Roses (schuster@zoe.cea.fr).

(2) <http://www.nanomatériauxetsecurite.fr>