

Perspectives

Les nanosciences représentent une véritable révolution technologique. De nombreuses applications industrielles et médicales se développent ou sont déjà mises en œuvre. Leur potentiel économique est considérable et concerne tous les secteurs d'activité.

Nanomatériaux : différentes voies de synthèse, propriétés, applications et marchés

Eric Gaffet
Directeur de
recherche au CNRS,
Nanomaterials
Research Group/
UMR CNRS 5060

Les nanotechnologies constituent un champ de recherche et de développement impliquant la fabrication de structures, dispositifs et systèmes à partir de procédés permettant de structurer la matière au niveau atomique, moléculaire ou supramoléculaire à des échelles caractéristiques de 1 à 100 nanomètres (nm). Ces constituants, encore appelés brique élémentaire, constituent une partie des nanomatériaux, relativement faibles en termes de quantité produite. Dans le domaine des nanomatériaux, il convient de considérer également les nanoparticules, les revêtements nanostructurés ainsi que les matériaux massifs denses ou encore les nanocomposites (à matrice organique, inorganique ou encore métallique).

De nouveaux comportements de la matière sont attendus, dus à la prépondérance des lois de la physique quantique, s'exprimant essentiellement à cette échelle. De nombreuses applications industrielles et médicales se développent à très grande vitesse et sont déjà, pour certaines, mises en œuvre actuellement.

Ainsi, on peut considérer que l'avènement des nanosciences (nanotechnologies et nanomatériaux) constitue un tournant majeur dans le développement industriel du XXI^e siècle.

Nanomatériaux

Il convient de définir un nanomatériau comme un matériau composé ou constitué de nano-objets (dont l'une au moins des trois dimensions physiques est comprise entre 1 et 100 nm) et présentant des propriétés spécifiques de l'échelle nanométrique.

Les **nano-objets** peuvent se présenter sous la forme de **particules, fibres** ou **tubes** (on parle de charges ou renforts), de couches minces ou de constituants structurels.

Les nano-objets sont utilisés soit en tant que tels (comme catalyseurs pour les réactions chimiques, comme vecteurs pour transporter des médicaments au niveau des cellules cibles, pour le polissage de « wafers » et disques durs en microélectronique...), soit en vue d'élaborer des matériaux.

Ces nanomatériaux peuvent être décrits selon trois catégories :

- **Les matériaux nanorenforcés** : Les nano-objets sont incorporés ou produits dans une matrice pour apporter une nouvelle fonctionnalité, ou modifier des propriétés physiques. Les nanocomposites sont un bon exemple de renfort afin d'acquérir une résistance à l'usure supérieure.

● **Les matériaux nanostructurés en surface** : Les nano-objets constituent les éléments de revêtements de surface. Les procédés de fabrication de ces revêtements de surface s'appuient sur des principes de dépôt physique (PVD, faisceau d'électrons, ablation laser...) ou chimique (CVD, épitaxie, sol-gel).

● **Les matériaux nanostructurés en volume** : Les nano-objets peuvent également être les éléments de matériaux massifs qui, par leur structure intrinsèque nanométrique (porosité, microstructure, réseau nanocristallin), bénéficient de propriétés physiques particulières.

Aspects économique et social

Le marché des nanotechnologies/nanomatériaux

La Commission européenne a estimé que le marché mondial des nanotechnologies en 2001 était légèrement supérieur à 40 milliards d'euros. En 2008, le marché global des produits issus des nanotechnologies devait atteindre plus de 700 milliards d'euros.

En 2010-2015, les enjeux économiques liés à l'avènement des nanotechnologies au niveau mondial devraient atteindre 1 000 milliards d'euros par an (tous secteurs confondus ; source : National Science Foundation), dont près de 340 milliards d'euros pour le domaine spécifique des nanomatériaux (Hitachi Research Institute). En complément, les nanotechnologies devraient concerner directement l'emploi de près de 2 à 3 millions de personnes dans le monde.

Le financement en France

De l'étude *Le financement des nanotechnologies et des nanosciences. L'effort des pouvoirs publics en France : Comparaisons internationales*, publiée en janvier 2004 pour le compte du ministère de la Jeunesse, de l'Éducation nationale et de la Recherche (MJENR) qui avait pour objet d'inventorier les moyens et les crédits publics consacrés aux nanotechnologies, il ressort que la France consacre à ce domaine un effort important.

D'après cette étude, si l'on prend en considération l'ensemble des crédits d'intervention dans leur diversité et les moyens consacrés à ce domaine par le CNRS et le CEA, frais de personnels compris, on atteint un montant de 551,6 millions d'euros HT (637 millions TTC) en 2003. Cependant, s'il est possible de distinguer dans certains cas une activité spécifiquement nanotechnologique, cette distinction est le plus souvent impossible à opérer et dépourvue de sens.

En termes quantitatifs, les financements publics dans le domaine des nanotechnologies/nanomatériaux sont objectivement d'un niveau très significatif en France, à la fois en valeur absolue et par rapport aux principaux partenaires européens, en particulier l'Allemagne et la Grande-Bretagne. Ce niveau est sensiblement plus faible qu'au Japon et aux États-Unis.

Depuis 2005 en France, des appels à programme nationaux (Agence nationale de la recherche, ANR, Oseo, etc.) permettent de soutenir des travaux coordonnés sur l'évaluation des effets des nanoparticules sur la santé.

Un an et demi après les recommandations des rapports de l'Agence française pour la sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset) et du Comité pour la prévention et la précaution (CPP), indiquant la nécessité de coordonner les actions de maîtrise des risques à un niveau national, voire européen, a été créé au sein du Haut Conseil à la santé publique un groupe d'experts intitulé « Veille sur les impacts sanitaires des nanotechnologies ».

Ce groupe d'expertise à portée interministérielle sur les nanomatériaux et les nanotechnologies a pour mission de fournir des analyses et de faire des recommandations sur les questions qui lui seront adressées ou qu'il aura identifiées comme pertinentes afin de fournir au gouvernement (ministère chargé de la Santé, et ministères concernés par ce sujet : Écologie, Agriculture, Recherche, Travail et Industrie) l'appui et les conseils dont il a besoin pour pouvoir définir sa politique et gérer les questions nouvelles que suscitent les nanomatériaux et les nanotechnologies en matière de sécurité sanitaire.

À la fin de l'année 2005, l'ensemble des gouvernements avait dépensé près de 18 milliards de dollars pour financer les secteurs nanotechnologie et nanomatériaux. Avec près de 6 milliards de dollars de financement supplémentaire en 2006, le financement mondial est estimé atteindre le montant du financement intégral du programme Apollo ayant permis de poser des hommes sur la Lune.

Productions et applications des nanomatériaux

Marché mondial

Les applications des nanomatériaux sont multiples, comme développé ci-après selon le rapport intitulé *Étude prospective sur les nanomatériaux* et réalisé pour le compte de la Direction générale de l'industrie, des technologies de l'information et des postes (Digitip) du ministère des Finances, par la société française Développement & Conseil (2004) (tableau 1).

La figure 1 présente les projections de marchés en fonction des différents types de nanoparticules et/ou nanomatériaux.

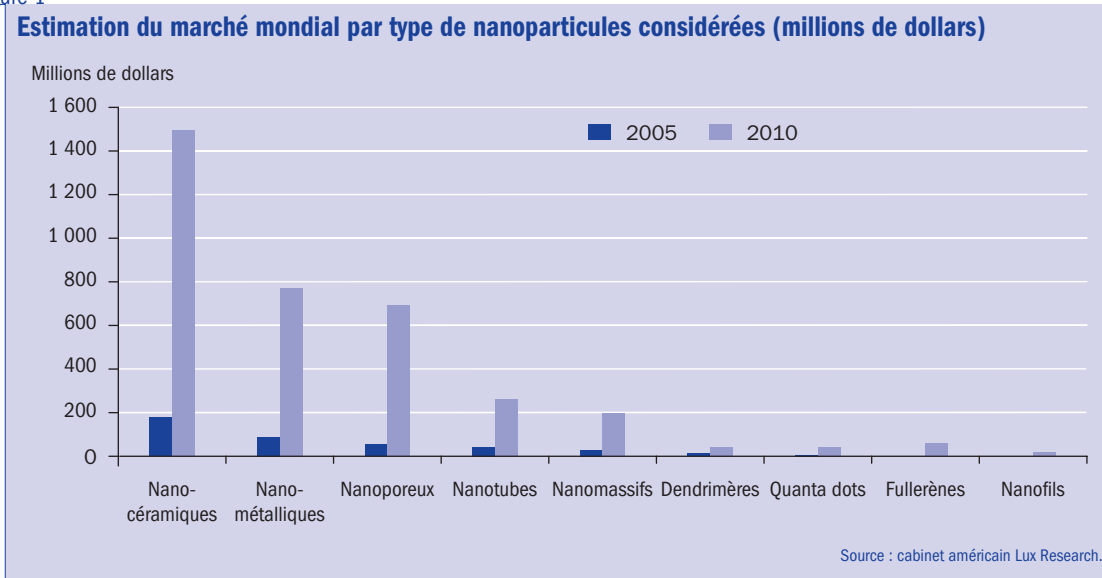
Le marché mondial des nanoparticules, pour des applications liées à l'énergie, a été estimé à 54,5 millions d'euros en 2000 et devait atteindre 77 millions d'euros en 2005, soit un taux de croissance annuel moyen de 7 %. Ce marché est porté par les prises de conscience successives de l'importance de la protection de l'environnement. Les nanoparticules sont utilisées en tant que supports de catalyse dans l'industrie automobile, membranes céramiques, piles à combustibles, photocatalyse, propulseurs et explosifs, revêtements antirayures, céramiques structurales, revêtement par vaporisation thermique.

Le marché mondial des nanoparticules pour des applications biomédicales, pharmaceutiques et cosmétiques a été estimé (Rapport de la Direction générale de l'industrie, des technologies de l'information et des postes, 2004) à 85 millions d'euros en 2000 et devait atteindre 126 millions d'euros en 2005, soit un taux de

tableau 1

Domaines d'applications par type de nanomatériaux	
Nanomatériaux	Domaines d'applications
Nanocéramiques	Matériaux composites structuraux - Composants anti-UV - Polissage mécano-chimique des substrats (wafers) dans la microélectronique - Applications photocatalytiques
Nanométalliques	Secteurs antimicrobiens et/ou de la catalyse - Couches conductrices des écrans, les capteurs ou encore les matériaux énergétiques
Nanoporeux	Aérogels pour isolation thermique dans les domaines de l'électronique, de l'optique et de la catalyse - Domaine bio-médical pour des applications de type vectorisation ou encore implants
Nanotubes	Nanocomposites conducteurs électriques - Matériaux structuraux - Les nanotubes monofeuillets pour des applications dans le domaine de l'électronique, les écrans
Nanomatériaux massifs	Revêtements durs - Composants structuraux pour l'industrie aéronautique, l'automobile, les conduites pour les industries pétrolières et gazières, le domaine sportif ou encore le secteur anticorrosion
Dendrimères	Domaine médical (administration de médicaments, détection rapide) - Domaine cosmétique
Quanta Dots	Applications optoélectroniques (écrans) - Cellules photovoltaïques - Encres et peintures pour applications de type marquage anti-contrefaçon
Fullerènes	Secteurs du sport (nanocomposites) et des cosmétiques
Nanofils	Applications dans les couches conductrices des écrans ou encore les cellules solaires ainsi que les dispositifs électroniques

figure 1



croissance annuel moyen de 8,3 %. Il s'agit du marché représenté par les particules inorganiques utilisées pour produire des agents antimicrobiens, des marqueurs biologiques pour la recherche et le diagnostic, des procédés de séparation biomagnétiques, des vecteurs d'administration de médicaments, des milieux de contraste pour l'imagerie à résonance magnétique, des dispositifs orthopédiques et des écrans de protection solaire.

La production annuelle mondiale des nanocomposites, quant à elle, se limite actuellement à quelques milliers de tonnes, principalement pour la câblerie et l'emballage.

Mais, en 2010, on s'attend à ce que cette production passe à 500 000 tonnes par an. Des marchés ont été identifiés dans les secteurs des transports, de l'ingénierie et de la haute technologie grâce aux propriétés de ces matériaux qui permettent l'allègement, le renfort des structures et une conception différente des pièces avec, par exemple, la possibilité de travailler sur la réduction d'épaisseur.

La production de noir de carbone, en 1995, avait déjà atteint à l'échelle mondiale près de 6 millions de tonnes/an. En 2005, la production mondiale a été

estimée atteindre le volume de 10 millions de tonnes. La production de silice a été évaluée à près de 300 000 tonnes par an. La production mondiale d'oxyde de titane est estimée à 3,5 millions de tonnes pour les particules de dimension micrométrique et près de 3 800 tonnes de nanoparticules ont été produites en 2000. Le volume de nanoparticules d'aluminium est estimé à 100 tonnes par an à l'échelle mondiale.

État de la production française de nanomatériaux et de leurs usages actuels

Selon un document récent, publié par l'INRS [22], un premier état de la production française de nanoparticules peut être dressé. Ces informations seront consolidées par les éléments issus d'un rapport de l'Afsset et intitulé *Nanomatériaux et sécurité au travail* [26].

Nous reprendrons ci-dessous les grandes lignes du document de l'INRS concernant les différentes nanoparticules produites en France.

Dioxyde de titane (TiO₂) : La production française de TiO₂ est voisine de 240 000 tonnes. La taille des particules utilisées varie, suivant le secteur concerné, de 150 à 400 nm en tant que pigment ou opacifiant dans l'industrie de la peinture et des plastiques, ce qui la place en limite supérieure des diamètres des nanoparticules. La production de dioxyde de titane nanométrique est assurée par 270 opérateurs sur un seul site et avoisine les 10 000 tonnes/an pour trois applications : l'architecture, la cosmétique et l'épuration de l'air.

Silice (SiO₂) : Avec 200 000 tonnes produites, la France est le deuxième producteur mondial de silice naturelle, issue de l'extraction de gisements d'une roche particulière : la diatomite. Cette production a lieu sur deux sites d'extraction et concerne une centaine de salariés. Pour ce qui concerne la silice synthétique (c'est-à-dire la silice précipitée, la silice pyrogénée et les fumées de silice), le tonnage annuel est supérieur à 100 000, et le personnel employé avoisine 300. L'utilisation principale est le renforcement des caoutchoucs : les pneumatiques (en association avec le noir de carbone 50/50), les semelles de chaussures, les pièces techniques en caoutchouc (fils et câbles). Dans l'industrie agroalimentaire, elle est utilisée comme support de vitamines, d'acidifiant, d'agent anti-mottant. L'industrie de la peinture l'utilise comme agent matant, le secteur des pâtes dentifrice pour son caractère d'épaississant et d'abrasif doux.

Nanoargiles : La fabrication est exclusivement réalisée à l'étranger : deux fabricants, allemand et américain, se partagent le marché. Un site français de production de nanoargiles est actuellement en développement. Une production de l'ordre de 100 tonnes était prévue pour 2007. Une cinquantaine de personnes travaillent sur ce site.

Nanotubes de carbone simple paroi (SW-NTC) : Les capacités de production de cette catégorie de nanotubes sont de l'ordre de quelques grammes à plusieurs dizaines de kilos par jour. Actuellement, la capacité

maximale est réalisée par une entreprise américaine avec 40 kg/jour, à partir d'une technologie CVD et d'un mélange gazeux Fe (CO) 5/CO (procédé HiPCO, dépôt chimique en phase vapeur). La production française de SW-NTC est assurée par des laboratoires de recherche universitaire. Plusieurs sites sont équipés de structures pouvant produire des quantités de l'ordre de la dizaine de grammes à partir de procédés soit similaires de type « basse température » (CVD, Chemical Vapor Deposition ou CCVD, Catalytic Chemical Vapor Deposition), soit de type « haute température » (arc ou plasma).

Nanotubes de carbone multiparois (MW-NTC) : Ils sont produits par un industriel français depuis 2006. Cette unité, de capacité de production de 10 tonnes/an, est un pilote et une dizaine de personnes y sont affectées. Sa production serait étendue à plusieurs centaines de tonnes d'ici la fin de la décennie.

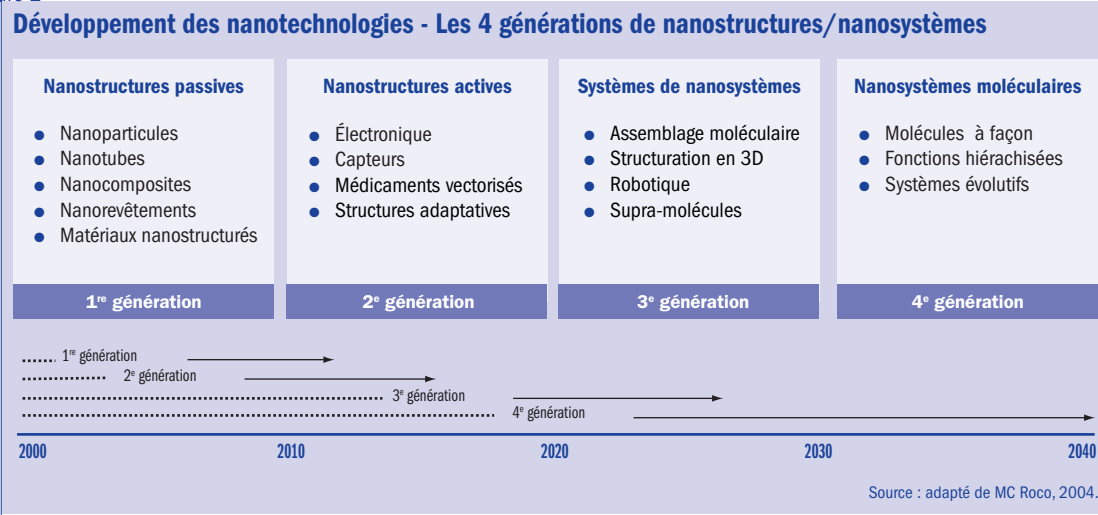
Noir de carbone (Carbon Black) : Le noir de carbone est essentiellement constitué de sphères de taille comprise entre 10 et 500 nm agrégées à raison de quelques dizaines à quelques centaines de particules. La production française était de 240 000 tonnes en 2005. Elle se répartit entre quatre sites de production et concerne un effectif de 350 personnes. 70 % du noir de carbone est utilisé par l'industrie du pneumatique. La proportion qui pouvait atteindre 30 % du poids d'un pneu tend à se réduire du fait de la substitution par de la silice précipitée. L'industrie du caoutchouc l'utilise également pour la réalisation de gaines de protection des câbles, dans la composition des bandes transporteurs, des courroies et des joints.

Alumines : Un seul site de production assure la fabrication d'alumines ultrapures en France. Celles-ci sont réalisées à partir d'un procédé alun : sulfate d'aluminium et d'ammoniaque multihydraté. Deux unités horizontales sont en cours de montage sur le site pour porter la production de 1 000 à 1 700 tonnes/an à partir de 2008. D'autres producteurs se partagent le marché de l'alumine. Appelée alumine de spécialité, elle est élaborée à partir du procédé Bayer, qui utilise la bauxite comme matière première. La production française d'alumines de spécialité représentait 468 000 tonnes en 2004. Ce tonnage inclut une proportion d'alumine ultrafine et nanostructurée à côté des nuances traditionnelles. L'une des applications pourrait être le polissage mécano-chimique des substrats pour l'industrie électronique.

Analyse des marchés et futurs développements

Selon l'analyse développée dès 2004 par M.C. Rocco (Rocco M.C., 2004. Nanoscale science and engineering : unifying and transforming tools, *AIChE Journal* 50 (5), 890–897), il convient de distinguer quatre étapes majeures dans le domaine des nanotechnologies/nanomatériaux : les nanostructures passives, les nanostructures actives, les systèmes de nanosystèmes et enfin les nanosystèmes moléculaires. La figure suivante illustre cette analyse. Les nanoproducts actuellement commercialisés appartiennent essentiellement à la catégorie des nanostructures passives (figure 2).

figure 2



Une nanostructure active est une structure susceptible de modifier son état (morphologie, forme, propriétés mécaniques, électroniques, magnétiques, optiques, biologiques, etc.) pendant son utilisation. À titre d'illustration, un actuateur mécanique pourrait changer ses dimensions; et des nanoparticules mises en œuvre afin de vectoriser des principes actifs dans le domaine de la médecine pourraient changer de morphologie et/ou de composition chimique afin de franchir des barrières biologiques par exemple. Ces nouveaux états des nanostructures pourraient à leur tour évoluer, en particulier afin d'assurer une fin de cycle de vie sécurisée. De tels changements seront d'autant plus complexes que les structures et les systèmes sont appelés à devenir de plus en plus volumineux et à mettre en œuvre des fonctions multiples.

Des exemples de telles nanostructures actives sont les systèmes nano-électro-mécaniques (NEMS), les nano-dispositifs biologiques, les transistors, les amplificateurs, les vecteurs pharmaceutiques et chimiques, les machines moléculaires, les moteurs moléculaires activés par la lumière, les dispositifs mettant en œuvre la nanofluidique, les capteurs ou encore les dispositifs radiofréquences (RFID).

Dans le domaine du marquage et de l'identification, il est important de souligner les réalisations d'ores et déjà opérationnelles. À titre d'illustration, en 2006, Hitachi a présenté la plus petite puce RFID jamais réalisée. Ses mensurations (0,05 x 0,05 mm²) lui ont valu le nom de « poudre » (ou encore *Smart Dust*). Elle contient une mémoire morte de 128 bits permettant de stocker un numéro d'identité de 38 chiffres et peut être facilement intégrée dans une feuille de papier. Pour rappel, une puce RFID (Radio Frequency Identification) permet une identification automatique du contenu qu'elle transporte. Les puces RFID peuvent contenir toute sorte d'informations et se trouvent sur moult supports, comme un passeport, ou les étiquettes de produits vendus en supermarché, ou encore des

billets de concert. L'apparition de « poudre » de RFID permet de faciliter leur intégration sur de plus en plus de supports. Parallèlement à ces développements, une société britannique a élaboré un dispositif permettant de localiser de telles puces RFID jusqu'à une distance de 180 mètres (<http://www.tfto.info/pod/152/rfid-loc8tor.html>) et dans un volume à trois dimensions avec une précision de 2 cm. Une telle miniaturisation conduit certains à s'interroger sur la notion de traçabilité de l'individu et du contrôle à son insu.

Dans le domaine de la médecine, des nanomatériaux sont déjà utilisés dans des dispositifs médicaux actuellement commercialisés : pansements, implants, prothèses, etc. Le secteur de la biologie médicale utilise des nanoéléments pour le diagnostic *in vitro* de maladies infectieuses, immunologiques ou cancéreuses. Certains dispositifs de surveillance médicale quotidienne de paramètres biologiques (par exemple, la glycémie) profiteront utilement de la miniaturisation extrême qu'apportent les nanotechnologies. Le secteur de l'imagerie médicale explore les possibilités d'améliorer le contraste et la finesse des images données par l'IRM par l'apport de nanoparticules dans les organes cibles. La recherche pharmacologique explore de longue date la possibilité de vectoriser des molécules thérapeutiques au plus près de la lésion en utilisant des nanoparticules permettant de cibler la cellule malade. Des essais thérapeutiques sont en cours notamment dans le domaine du traitement des cancers. Les nanotechnologies pourraient permettre de faire des médicaments « sur mesure ». Des médicaments et des agents de contraste nanoparticulaires ont déjà été acceptés par les agences réglementaires.

Une application fait l'objet de développements rapides et bénéficie, sans doute aucun, des avancées de la miniaturisation liée au développement des nanotechnologies : il s'agit de la neurostimulation profonde par des microélectrodes placées dans le cerveau (NanoForum – session « Nanomédecine » du 5 juin 2008). Depuis les

années quatre-vingt, une équipe de Grenoble (Pr Benabid) a découvert que la stimulation électrique d'une partie du cerveau supprimait les tremblements des personnes atteintes de la maladie de Parkinson. Depuis, en lien avec plusieurs équipes internationales, d'autres indications ont été proposées : dystonies graves (mouvements anormaux), épilepsie, etc. Puis cette technique a été testée — avec l'accord du Comité consultatif national d'éthique pour les sciences de la vie (CCNE) — pour le traitement des troubles obsessionnels compulsifs ou les syndromes dépressifs résistant aux traitements médicamenteux. Actuellement, il y a plus de 35 000 malades traités dans le monde avec ce « pace-maker » cérébral, environ 1 000 en France. De plus, des recherches s'intéressent à l'interface « cerveau-machine » afin de contrôler les mouvements musculaires en agissant soit directement sur les fibres nerveuses ou musculaires, soit en passant par le système nerveux central. De telles applications sont prometteuses pour les personnes souffrant de paralysie ou de mouvements anormaux.

Cependant, ces techniques comportent des risques d'effets indésirables : notamment, la pose de l'électrode peut être la cause d'un phénomène de rejet ou d'hémorragies cérébrales. C'est pourquoi l'idée d'utiliser des électrodes de l'échelle nanométrique est née. En France, le projet Clinatec est un centre de recherche biomédical dédié au domaine de la nanomédecine, avec une focalisation première sur les dispositifs implantés et sur l'interface cerveau-machine. L'utilisation abusive des applications médicales des nanotechnologies, en particulier pour des applications spécifiques comme la neurostimulation profonde, est une possibilité qui mérite d'être discutée.

Il convient également de souligner que les nanotechnologies et les nanomatériaux comportent un développement très nettement dual en termes d'intégration dans les domaines d'applications spécifiques de la défense. Il en est ainsi des protections individuelles (gilets ou casques pare-balles à base de nanotubes de carbone), des dispositifs de détection très rapides et ultrasensibles, des vectorisations chimiques et bactériologiques, des exosquelettes (prothèses externes interfacées sur le cerveau humain et devant permettre au combattant de porter 80 kg pendant 80 km à plus de 50 km/h, objectif de la Darpa/USA), tout comme dans le développement de bombes thermobariques mettant en œuvre des nanoparticules pyrophoriques et développant des effets de souffle équivalant à une arme nucléaire (<http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/6990815.stm>) — les premiers essais ont été conduits par les États-Unis et la Russie dès 2007. Cet aspect dual pervasif des nano-applications conduit à s'interroger au niveau international sur la réactualisation des dispositifs et traités relatifs à la non-prolifération d'armes de destruction massive.

Nanomatériaux et sécurité

L'état des connaissances sur les effets des particules micro/nanométriques de la pollution atmosphérique

fait craindre des effets sur la santé des nanoparticules fabriquées par l'homme. Cependant, très peu de données fiables sont disponibles actuellement dans ce domaine. Mais les études publiées font état d'interactions des nanoparticules au niveau cellulaire, qui incitent à la prudence. Récemment, des travaux menés par K. Donaldson et al. tendent à démontrer que certains nanotubes de carbone pourraient induire des effets similaires à des fibres d'amiante (induction du mésothéliome) [48].

Comme indiqué dès 2005 dans une note de synthèse : *Note de synthèse pour le PNSE - Les déterminants environnementaux : Nanoparticules et santé* — coordination : J. Boczkowski, E. Gaffet et A. Lombard — les questions scientifiques importantes dans le domaine « nanoparticules et santé » doivent concerner tout le cycle de vie et s'intéresser plus particulièrement aux aspects suivants :

- la caractérisation physico-chimique et la classification des nanoparticules selon leur degré de réactivité de surface, signe d'effets biologiques potentiels ;
 - la détection et la caractérisation de l'exposition à ces particules des opérateurs de fabrication aux utilisateurs,
 - leurs effets biologiques potentiels sur l'homme.
- Ces questions concernent aussi bien les travailleurs du secteur des nanotechnologies/nanomatériaux, qui peuvent être exposés à des concentrations importantes de nanoparticules, que la population en général, dont l'exposition à ces nanoparticules, plus indirecte, est liée au cycle de vie de ces nano-objets.

Enfin, le risque associé à l'explosion de nanoparticules constitue également une question importante et relativement peu étudiée concernant le personnel impliqué dans la fabrication de nanomatériaux à partir de ces nanoparticules.

Conclusion

En conclusion, les nanosciences (nanotechnologies et/ou nanomatériaux) sont d'ores et déjà une réalité industrielle et économique. Tout comme d'autres secteurs industriels, il convient de s'interroger sur l'introduction de ces nouveaux produits afin d'en mesurer et d'en contrôler les conséquences tant sociétales qu'environnementales et sanitaires. Il s'agit d'un enjeu crucial pour assurer le développement responsable des nanomatériaux et des nanotechnologies. ❖

Sites

Compte tenu de l'importance de ce domaine, des sites Internet permettent désormais de suivre une veille active sur les publications. Nous citerons :

- The Virtual Journal of Nanotechnology Environment, Health and Safety <http://www.icon.rice.edu/virtualjournal.cfm>
- Nanotechnology : Health and Environmental Implications, An Inventory of Current Research. <http://www.nanotechproject.org/inventories/ehs/>
- Safe Production and Use of Nanomaterials. <http://www.nanosafe.org/>