

à la communauté internationale par les changements induits par les nanotechnologies a été partagée par les participants. L'intérêt d'un *dialogue structuré et inclusif* sur la gouvernance des nanotechnologies, proposé comme la position officielle de la France depuis le conseil compétitivité de septembre 2004 à Bruxelles, a été confirmé. Un représentant du bureau de la coordination inter-agences des Nations unies de New York a souhaité approfondir cette perspective avec l'aide de quelques délégations, ouvrant ainsi des perspectives intéressantes. Le cas échéant, le positionnement des États membres de l'Union européenne au regard du principe de précaution, du concept de *responsabilité de protéger* appliqué aux technologies émergentes, du développement industriel

au service du développement durable ainsi que des objectifs du millénaire pourrait exercer une influence positive et déterminante sur l'architecture de la feuille de route institutionnelle des Nations unies. L'adoption de conclusions du Conseil européen du 26 septembre 2008 appelant à l'approfondissement du dialogue international responsable, comporte à cet égard l'action entreprise par la Commission européenne.

Une prochaine étape dans ce processus sera la recherche de l'équilibre des termes dans lesquels le dialogue transatlantique Europe/États-Unis formalisera la question de la gouvernance des nanotechnologies lors du sommet prévu en 2010, qui devrait traiter notamment de cette question. ❖

L'action européenne : prévenir les risques pour promouvoir l'innovation

Philippe Martin
Administrateur principal,
Commission européenne, direction générale Santé et Protection des consommateurs

En 1959, le futur prix Nobel Richard Feynman a ouvert un nouveau et immense champ d'étude aux physiciens et aux ingénieurs en faisant remarquer que les lois de la physique s'appliquent également à l'échelle du milliardième de mètre. Aujourd'hui, non seulement nous pouvons visualiser molécules et atomes, mais aussi fabriquer de nouveaux matériaux, par construction, par réduction d'agglomérats ou d'agrégats de taille plus importante à l'échelle nanoscopique ou encore en conférant à un matériau donné une texture nanoscopique.

Les nanomatériaux ouvrent par leurs propriétés nouvelles des perspectives prometteuses. De plus, en vertu de leur nature habilitante, la nanoscience et les nanotechnologies concerneront pratiquement tous les domaines. En particulier la médecine, l'énergie, les biens de consommation, l'agro-alimentaire, la purification de l'eau, l'instrumentation, la science des matériaux, les technologies de l'information et de la communication (TIC), l'industrie manufacturière, la protection de l'environnement, le transport, la sécurité et l'espace, etc.

Il en résulte que plusieurs pays ou groupes de pays dont les États-Unis, la Suisse, la Chine, le Japon, l'Union européenne (UE), etc., misent sur la nanoscience et les nanotechnologies pour assurer leur succès économique futur. En effet, les analystes estiment le marché mondial des nanotechnologies de 750 à 2000 milliards d'euros et le potentiel de création d'emplois à 10 millions d'emplois, soit 10 % de la totalité des emplois des industries manufacturières dans le monde, d'ici à 2015.

Toutefois, la nouveauté présente aussi en général une autre face, celle du risque potentiel, risque potentiel toxicologique, perceptuel, commercial, financier, voire éthique.

Ces considérations relatives non seulement aux bénéfices mais aussi aux risques amènent les autorités

publiques à identifier sept priorités, soit la stratégie, l'évaluation des risques, la recherche sur la sécurité des nanomatériaux, l'examen de la législation, l'établissement d'un code pour une approche responsable de la recherche, le dialogue avec les parties concernées et, en particulier, les citoyens ainsi que les activités internationales.

Stratégie et le plan d'action européen pour la nanoscience et les nanotechnologies

Le 12 mai 2004, la Commission européenne a proposé une stratégie «*sûre, intégrée et responsable*» avec sa communication «*Vers une stratégie européenne en faveur des nanotechnologies*». Cette stratégie vise non seulement à renforcer la compétitivité de l'Union en recherche et développement et innovation, mais aussi à évaluer et gérer (éliminer dans le meilleur des cas) les risques potentiels pour la santé publique, l'environnement et la société associés à la nanoscience et aux nanotechnologies.

Elle porte sur la recherche et le développement, les infrastructures de recherche et développement, la formation, l'aménagement de conditions favorables à l'innovation industrielle, le respect des principes éthiques et l'intégration à un stade précoce du processus de recherche et développement d'une réflexion concernant les incidences sur la société et l'encouragement à un dialogue avec les citoyens, la prise en compte explicite des risques potentiels ainsi que la coopération internationale.

Lors du conseil «*Compétitivité*» du 24 septembre 2004, les représentants des gouvernements des États membres de l'UE se sont félicités de l'approche «*sûre, intégrée et responsable*» proposée par la Commission, qui a été appuyée par plus de 750 réponses lors de la consultation publique ouverte par la Commission.

Avertissement

Les opinions exprimées dans cet article sont celles de son auteur et ne représentent pas nécessairement des positions officielles de la Commission européenne.

Remerciements

L'auteur tient à remercier ses collègues du Groupe interservices de la Commission européenne sur les nanotechnologies et tout particulièrement M. Achim Boenke et Maila Puolamaa de la direction générale Industrie de la Commission pour ses commentaires et suggestions sur une version préliminaire de l'article.

Sur cette base, la Commission a préparé et présenté un plan d'action. Celui-ci définit une série d'actions pour mettre en œuvre la stratégie proposée.

Évaluation des risques potentiellement associés à la nanoscience et aux nanotechnologies

La nécessité de développer rapidement des connaissances scientifiques sur la sécurité des nanomatériaux manufacturés fait l'objet d'un consensus général depuis 2005.

Le 10 mars 2006, à l'invitation de la Commission, le Comité scientifique sur les risques sanitaires émergents et nouvellement identifiés (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, ou Scenihr, en anglais) a adopté, après une consultation publique, un avis sur l'évaluation des risques en matière de nanotechnologies. D'après le Scenihr, si les méthodes toxicologiques et écotoxicologiques sont appropriées pour évaluer une grande partie des dangers qui découlent des nanoparticules, elles ne suffisent peut-être pas à les prendre tous en compte. L'existence d'incertitudes nécessite de modifier les procédures d'évaluation des risques en vigueur pour les nanoparticules. Des lacunes ont été constatées dans des domaines tels que la caractérisation des nanoparticules, leur détection et leur mesure, le devenir et la persistance des nanoparticules chez l'être humain et dans l'environnement, et tous les aspects toxicologiques et de toxicologie environnementale liés aux nanoparticules. Ces lacunes doivent être comblées afin que le risque pour les humains et les écosystèmes puisse être évalué de manière satisfaisante. Par conséquent, la Commission européenne a demandé au Scenihr d'effectuer une analyse plus approfondie de la méthodologie en vigueur pour l'évaluation du risque, qui est fixée dans les documents d'orientation technique pour les produits chimiques. L'avis du Scenihr adopté après consultation publique les 21-22 juin 2007 conclut que les méthodologies en vigueur sont généralement susceptibles de détecter les dangers liés à l'utilisation des nanoparticules, mais qu'il sera néanmoins nécessaire de modifier les orientations existantes. Il désigne les domaines dans lesquels des améliorations sont nécessaires en ce qui concerne les orientations techniques et les méthodologies, et propose que l'évaluation du risque des nanomatériaux soit effectuée selon une procédure par étapes.

Concernant les cosmétiques, la Commission européenne a invité le Comité scientifique sur les produits de consommation (Scientific Committee on Consumer Products, ou SCCP, en anglais) à examiner et, le cas échéant, à modifier ses notes d'orientation pour les essais sur les ingrédients et l'évaluation de la sécurité des nanoparticules employées dans les produits cosmétiques. Le 19 juin 2007, le SCCP a soumis à consultation publique un avis dans lequel il conclut que, compte tenu d'informations récentes, il est nécessaire d'examiner la sécurité des nanomatériaux employés dans les crèmes solaires, et où il souligne que le caractère anormal d'une

peau sur le plan physiologique et l'action mécanique pourraient avoir une incidence sur la pénétration des nanoparticules dans la peau.

La Commission européenne a aussi invité l'Agence européenne sur la sécurité alimentaire (European Food Safety Authority ou Efsa, en anglais) à émettre un avis scientifique sur l'évaluation des risques dans le domaine agro-alimentaire, en ce qui concerne toute la chaîne alimentaire. Le comité scientifique chargé de cette question a soumis une version préliminaire de l'avis scientifique pour consultation publique le 26 septembre 2008 et devrait finaliser l'avis résumé d'ici fin 2008.

Recherche sur la sécurité des nanomatériaux

La recherche sur les questions de sécurité est expressément prévue par les financements communautaires pour la nanoscience et les nanotechnologies. L'Europe a dépensé 15 millions d'euros en 2006 à cette recherche, soit près du double des États-Unis.

Les propositions du 7^e Programme-cadre de recherche et de développement technologie (PCRD) comprennent notamment les appareils de mesure portables simples d'emploi, l'incidence des nanoparticules fabriquées sur la santé et l'environnement, une base de données commentée sur l'incidence des nanoparticules, la coordination d'études sur l'incidence des matériaux et des produits nanotechnologiques et des stratégies alternatives à l'expérimentation animale pour l'évaluation toxicologique des nanoparticules employées dans les diagnostics médicaux.

Par ailleurs, le Centre commun de recherche travaille à l'élaboration et l'harmonisation de méthodes pour la caractérisation et les essais de toxicité de nanomatériaux fabriqués, des études sur les matériaux de référence et la dosimétrie, des études sur l'applicabilité de méthodes de calcul pour l'évaluation des propriétés des nanoparticules, y compris leur toxicité et la création de bases de données.

Plusieurs documents relatifs aux nanomatériaux ont été élaborés dans le cadre de la plate-forme technologique européenne sur la chimie durable (SusChem). La réunion en mars 2007 à Bruxelles du groupe thématique nanosécurité de la plate-forme technologique européenne sur la sécurité au travail a examiné les progrès des technologies de surveillance en matière de toxicité des nanoparticules ainsi que les questions de sécurité que posent les nanomatériaux en matière d'environnement et de lieu de travail. Il en a résulté un code de bonne conduite, un guide sur la sécurité au travail et des informations détaillées sur la caractérisation des nanomatériaux.

Examen réglementaire de la législation communautaire

L'examen réglementaire de la législation communautaire conclut que « *la législation actuelle couvre dans une large mesure les risques relatifs aux nanomatériaux et que ces risques peuvent être gérés à l'aide du cadre législatif existant* » (COM (2008) 366, p. 4).

Substances chimiques

Le règlement Reach (« Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals », soit enregistrement, évaluation, autorisation et restriction de produits chimiques), la nouvelle législation européenne relative aux produits chimiques, couvre les nanomatériaux par la définition du mot « substance » qui figure dans le règlement, même si aucune disposition de Reach ne se réfère explicitement à ces derniers.

Reach oblige tout opérateur commercial qui fabrique ou importe une tonne ou plus par an d'une substance à présenter un dossier d'enregistrement. Ce dossier d'enregistrement comprend un dossier technique ainsi que, pour un tonnage supérieur ou égal à dix tonnes par an, un rapport de sécurité des substances. En outre, l'Agence européenne des produits chimiques peut demander toute information sur cette substance, indépendamment des exigences minimales d'information prévues par Reach. En dessous d'une tonne par an et par opérateur, Reach ne requiert pas d'enregistrement à moins qu'il ne s'agisse d'une substance dangereuse.

Lorsqu'une substance chimique existante, déjà commercialisée en tant que substance en vrac, est introduite sur le marché sous la forme d'un nanomatériau (nanoforme), le dossier d'enregistrement devra être mis à jour de manière à inclure les propriétés spécifiques de la nanoforme de cette substance.

Protection des travailleurs

La directive-cadre 89/391/CEE impose un certain nombre d'obligations aux employeurs concernant la protection de la sécurité et de la santé des travailleurs. Cette directive s'applique aux nanomatériaux. De plus, la planification et l'introduction de nouvelles technologies doivent faire l'objet d'une consultation avec les travailleurs ou leurs représentants. Les autorités nationales peuvent introduire des règles plus rigoureuses que les exigences minimales prévues par les directives sur la protection des travailleurs.

Produits

Les produits phytosanitaires, les biocides, les produits cosmétiques, les aérosols, les produits médicaux, les automobiles et les produits agro-alimentaires jouissent de législations spécifiques.

Pour les produits phytosanitaires, la directive 91/414/EC couvre les nanomatériaux. Mais il faudra peut-être amender les documents de soutien à l'implémentation. La situation est identique pour les biocides (directive 98/8/EC).

Concernant les produits cosmétiques mis sur le marché sans contrôle préalable, une modification réglementaire a été proposée pour accroître le niveau de protection. Les exigences relatives à l'évaluation des risques devront être clarifiées. En outre, les fabricants devront indiquer si leurs produits contiennent des nanomatériaux lors de la notification de leur mise sur le marché et instaurer un mécanisme afin de contrôler les effets sur la santé des produits cosmétiques commercialisés.

La directive 75/324 relative aux aérosols a été modifiée en avril 2008 pour rendre obligatoires une évaluation du danger et la prise en compte de la taille et de la nature physico-chimique des nanoparticules.

Selon l'Agence européenne des médicaments, les applications de la nanoscience et des nanotechnologies au domaine médical requerront une attention particulière même si les méthodes et les pratiques en vigueur restent pertinentes et, pour la plupart, adaptées. Ces applications incluront aussi bien les produits que les dispositifs médicaux. Il sera essentiel de déterminer la législation pertinente. S'agissant des dispositifs médicaux, les services de la Commission étudieront la possibilité de soumettre à une intervention préalable systématique la mise sur le marché des dispositifs présentant des risques liés aux nanomatériaux.

Les actes existants réglementant les automobiles ne couvrent pas les risques potentiels de la nanoscience et des nanotechnologies. L'utilisation de nanomatériaux devra donc être évaluée dans le contexte de Reach.

La réglementation-cadre 178/2002 régissant les produits agro-alimentaires interdit l'introduction sur le marché de produits qui ne sont pas sûrs. Spécifiquement, la réglementation 258/97 sur les nouveaux aliments, dont le Parlement européen discute actuellement une proposition de révision, indique qu'une nouvelle demande d'autorisation est requise pour les aliments dont la structure moléculaire est nouvelle ou a été modifiée de manière intentionnelle ainsi que ceux qui sont issus de processus de fabrication nouveaux. Ces provisions suffisent à couvrir le cas des applications de la nanoscience et des nanotechnologies à l'agro-alimentaire, tout en respectant la philosophie légale en vigueur de neutralité par rapport à la technologie et d'autorisation sur la base d'une évaluation de l'innocuité des produits. La réglementation sur les additifs procède d'une même logique. Comme indiqué précédemment, la Commission a demandé un avis scientifique à l'Autorité européenne de sécurité des aliments.

Lorsque les produits font l'objet d'un contrôle ou d'une notification avant leur mise sur le marché, à l'instar des médicaments, des nouveaux aliments et des produits phytosanitaires, les autorités (ou les organismes notifiés dans le cadre de la nouvelle approche) peuvent, avant la commercialisation, vérifier la stratégie d'évaluation et de gestion des risques relatifs aux nanomatériaux. La mise en œuvre de ces procédures aboutira à des dispositions d'exécution ou à des décisions administratives contraignantes, qui préciseront également les conditions de commercialisation.

Les produits de consommation qui ne sont pas couverts par une législation spécifique sont soumis à la directive générale sur la sécurité des produits (2001/95/EC), qui couvre par défaut le cas de la nanoscience et des nanotechnologies.

Enfin, notons qu'un nanomatériau présent dans un produit est soumis à une évaluation de son impact environnemental au titre de Reach dès lors qu'il peut être qualifié de « substance » au sens de ce règlement.

Protection de l'environnement

La réglementation applicable à la protection de l'environnement comprend la directive relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution (IPPC ; 2008/1/CE), la directive concernant la maîtrise des accidents majeurs impliquant des substances dangereuses (Seveso II ; 96/82/CE), la directive-cadre sur l'eau (2000/60/CE) et un certain nombre de directives se rapportant aux déchets (2006/12/CE).

Si besoin est, la directive IPPC pourrait être utilisée pour gérer l'impact environnemental des nanomatériaux.

La directive Seveso II s'applique aux établissements où des substances dangereuses sont présentes au-delà de seuils spécifiques. S'il apparaît que certains nanomatériaux présentent un risque d'accident majeur, il est possible, dans le cadre de la directive, de les classer par catégorie et de leur adjoindre des seuils appropriés.

La directive-cadre sur l'eau (2000/60) établit des principes communs et un cadre d'action global en vue d'améliorer l'environnement aquatique, de réduire graduellement la pollution due aux substances prioritaires et de supprimer progressivement les émissions, les rejets et les pertes de substances dangereuses prioritaires. Les nanomatériaux pourraient être inclus parmi les substances prioritaires, en fonction de leurs propriétés dangereuses. Des normes de qualité environnementale seraient dans ce cas proposées par la Commission. S'agissant des eaux souterraines, les États membres devront établir des normes de qualité pour les polluants présentant un risque, auquel cas les nanomatériaux pourraient également être inclus.

Implications de l'examen réglementaire de la législation communautaire

Si le cadre législatif communautaire couvre de façon générale les nanomatériaux, sa mise en œuvre doit être affinée. Parmi les éléments importants, citons les méthodes d'essai et les méthodes d'évaluation des risques sur lesquelles reposent la mise en œuvre de la législation, les décisions administratives, les obligations des fabricants ou celles des employeurs. L'état actuel des connaissances scientifiques ne permet pas d'appréhender pleinement l'ensemble des propriétés et des risques des nanomatériaux.

Plusieurs études mettant en évidence ces déficits de connaissances ont été publiées. Le Scenihp et le SCCP ont souligné la nécessité d'améliorer la base des connaissances, en particulier en ce qui concerne les méthodes d'essai et les méthodes d'évaluation des risques (dangers et exposition). Il existe un consensus global dans les États membres et à l'échelle internationale sur la nécessité d'approfondir les recherches.

Code de bonne conduite pour une recherche responsable en nanoscience et nanotechnologies

Le 7 février 2008, la Commission européenne a adopté la recommandation (2008/345/CE) concernant un

code de bonne conduite pour une recherche responsable en nanosciences et nanotechnologies qui invite tous les acteurs de la recherche en nanoscience et en nanotechnologies à « garantir que la recherche dans la Communauté s'effectue dans un cadre sûr, efficace et respectueux des principes éthiques, et porteur d'un développement économique, social et environnemental durable » (Annexe, Section 1, p. L 116/49).

Les sept principes mis en exergue dans la recommandation concernent la « signification » des activités de recherche en nanoscience et en nanotechnologies pour le public ; leur « durabilité », par leur respect des principes éthiques et leur contribution au développement durable ; la « précaution », en anticipant les incidences éventuelles sur l'environnement, sur la santé et sur la sécurité ; l'« inclusion », par une gouvernance des activités de recherche en nanoscience et en nanotechnologies guidée par les principes d'ouverture à toutes les parties prenantes, de transparence et de respect du droit légitime d'accès à l'information ; d'« excellence », en répondant aux meilleures normes scientifiques, notamment à celles qui sont le fondement de l'intégrité de la recherche et à celles relatives aux bonnes pratiques de laboratoire ; d'« innovation », en encourageant au maximum la créativité, la flexibilité et l'aptitude à anticiper en faveur de l'innovation et de la croissance ; et, enfin, de « responsabilité », en soulignant que les chercheurs et les organismes de recherche demeurent responsables des incidences sur la société, l'environnement et la santé humaine que leurs recherches en nanoscience et en nanotechnologies peuvent entraîner pour les générations actuelles et futures.

La recommandation définit comme lignes directrices « la bonne gouvernance », « le respect du principe de précaution » et « la diffusion à grande échelle et suivi » du code.

Dialogue avec les parties

Les programmes communautaires (voir, en particulier, le projet Nanologue et NanoDialogue du 6^e PCRD et le projet NanoBio-RAISE du 7^e PCRD) financent les dialogues citoyens.

Depuis 2004, la Commission européenne organise des conférences sur la sécurité des nanomatériaux afin de promouvoir l'échange d'informations de la meilleure qualité possible entre toutes les parties prenantes et la formulation de recommandations par un dialogue structuré mais ouvert. Elle a institutionnalisé ces événements en 2007 avec le 1^{er} Dialogue annuel sur « La sécurité pour le succès » des nanotechnologies. L'édition 2008 s'est tenue sous les auspices de la Présidence française de l'UE les 2 et 3 octobre 2008 à Bruxelles¹.

La Commission européenne a créé un groupe *ad hoc* sur les nanotechnologies en février 2008 au sein du groupe consultatif sur la « Chaîne alimentaire et

1. <http://www.nano-safety-for-success.eu>

santé animale et végétale», composé notamment de représentants des consommateurs, de l'industrie alimentaire, des détaillants et des agriculteurs. De plus, les autorités compétentes de Reach ont établi un sous-groupe sur les nanomatériaux. Le sous-groupe a tenu sa première réunion les 1^{er} et 2 juillet 2008, avec une prochaine réunion prévue en décembre 2008. L'état des lieux qui a été fait a conduit à la décision d'élaborer un programme de travail qui devrait inclure des simulations d'enregistrement, la communication d'informations obligatoire et volontaire, les activités quant à l'évaluation de l'exposition aux nanomatériaux et l'établissement d'un calendrier.

Activités internationales

Les États membres de l'UE et la Commission européenne contribuent activement aux travaux du Groupe de travail sur les nanomatériaux manufacturés (GTNM) et du Groupe de travail sur les nanotechnologies (GTN)

Lire Pour en savoir plus p. 78.

de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) et de l'Organisation internationale de normalisation (en particulier, ISO TC229).

Conclusion

L'Europe s'est dotée d'un cadre stratégique global et cohérent pour assurer un développement sûr, intégré et responsable de la nanoscience et des nanotechnologies. L'examen réglementaire de la législation communautaire conclut à la robustesse du cadre existant tout en soulignant l'importance considérable que revêtent une mise en œuvre méticuleuse de la législation, une évaluation des risques appropriée, l'exigence de combler des lacunes scientifiques à la fois nombreuses et souvent significatives, ainsi que la nécessité d'un engagement volontaire au niveau international. Enfin, au regard des implications pour la compétitivité, l'emploi et la société en général, l'Europe s'efforce de donner au dialogue citoyen la place centrale qui lui revient. ☺

La réglementation européenne : Reach et nano industries

Claire Weill
Institut du
développement
durable et
des relations
internationales

Depuis une vingtaine d'années, différents procédés permettent de fabriquer des matériaux structurés à l'échelle du nanomètre, le milliardième de millimètre. Ces « nanomatériaux » exploitent les propriétés performantes d'objets manufacturés dont au moins une dimension est de l'ordre du nanomètre. Il peut s'agir de nanoparticules (utilisées dans des catalyseurs, des pansements et des sprays bactéricides, des crèmes solaires...), de surfaces nanostructurées (hydrophobes, antirayures...), et enfin de matrices contenant des nanoparticules (pneus « verts » contenant des aérogels de silice...). Les nanotubes de carbone, en particulier, pourraient être amenés à connaître une forte production industrielle, du fait de leurs propriétés exceptionnelles, électriques et mécaniques notamment [36].

À l'exception de quelques procédés et produits déjà matures et relativement simples à produire à un coût acceptable (sport, cosmétiques, revêtements, matériaux pour l'automobile et la construction), une grande partie de l'activité industrielle se situe encore à un niveau très en amont. Cependant, le nombre de produits et de systèmes commercialisés utilisant des nanotechnologies augmente très rapidement et est aujourd'hui de l'ordre de 600¹. Toutefois, les données disponibles ne permettent pas de dresser un panorama précis des masses produites par type de nanomatériau et par type d'usage, certains États (Royaume Uni, États-Unis)

1. Ces produits font l'objet d'un inventaire réalisé par le Woodrow Wilson International Center for Scholars. <http://www.nanotechproject.org/consumerproducts>

n'ayant à ce stade au mieux instauré que des procédures de déclaration volontaire par les industriels des nanomatériaux qu'ils produisent. En France, cependant, un projet de loi est en cours d'élaboration pour mettre en place une procédure de déclaration obligatoire aux autorités publiques préalable à la fabrication, l'importation ou la mise sur le marché sur le territoire national de substances à l'état nanoparticulaire (cf. article de Sonia Desmoulin p. 79).

L'apparition de nouveaux matériaux potentiellement dangereux

Plusieurs raisons conduisent à considérer les nanoparticules manufacturées comme potentiellement dangereuses pour la santé.

- Leur taille est comparable à celle des particules les plus fines en suspension dans l'air, d'origines diverses (combustion des moteurs et des usines...) [59]. Or des corrélations ont été faites entre la pollution urbaine particulière et l'apparition d'effets significatifs sur les fonctions respiratoires et le système cardio-vasculaire [39].

- Le très grand rapport de la surface sur le volume des nanoparticules leur confère une forte réactivité potentielle en surface.

- Par ailleurs, la toxicité des nanotubes de carbone fait l'objet d'une attention particulière : d'une part, leur production industrielle peut générer, dans des proportions variables, des tubes rappelant par leur longueur et leur forme les fibres d'amiante, ainsi que des ions métalliques,

*Les références
entre crochets renvoient
à la bibliographie p. 77.*