



L'Académie des technologies a déjà publié en collaboration avec l'Académie des sciences sur ce thème (rapport « Nanosciences, nanotechnologies, avril 2004) et poursuit son activité selon deux axes. D'une part, elle engage une large concertation avec l'ensemble des acteurs opérationnels directement impliqués sur ce sujet ; d'autre part elle poursuit sa propre réflexion et ce, d'une manière d'autant plus pertinente qu'elle compte parmi ses membres des chercheurs éminents dans ce domaine venant d'horizons divers (recherche appliquée sur les risques environnementaux, pharmacie, cosmétologie, dermatologie, physique, chimie, etc...) et qu'elle s'appuie sur les connaissances développées dans les organismes publics français (INERIS, CNRS, INSERM, INRS, AFSSET, CEA, INRA, IRSN...) et en relation avec les Institutions Européennes (CE) ou internationales (OCDE, UNESCO).

COORDONNÉES

Académie des technologies
Grand Palais des Champs Elysées
Porte C
Avenue Franklin D. Roosevelt
75008 Paris
Tél. : 01.53.85.44.44
Fax : 01.53.85.44.45
www.academie-technologies.fr
secretariat@academie-technologies.fr

CAHIER D'ACTEUR SUR LE DÉVELOPPEMENT ET LA RÉGULATION DES NANOTECHNOLOGIES

Nanoparticules : enjeux et risques potentiels

Contribution du groupe de travail de l'Académie des technologies

Les nanoparticules constituent un champ de recherche riche en potentialités pour un meilleur développement économique, industriel et social. Elles cristallisent également les craintes du public concernant les risques engendrés pour l'être humain et pour l'environnement par des nanoparticules larguées dans l'air et dans l'eau sans que l'on connaisse précisément leur effet à court, moyen ou long terme.

Afin de participer d'une manière claire et responsable au débat, nous avons jugé utile d'établir ce cahier d'acteurs. Il présente d'une manière succincte les connaissances qui sont en notre possession ; puis, il dresse une liste des dix questions qui nous semblent essentielles (présentant à la fois l'état de nos connaissances et celui de notre ignorance). Enfin, il nous a semblé nécessaire d'exprimer quelques recommandations.

Point sur l'état actuel des connaissances

Il n'existe pas encore d'accord entre chercheurs sur une nomenclature universellement reconnue pour l'identification des nanoparticules. Ce n'est pas un problème d'incertitude sur ce qu'est une nanoparticule (toute particule dont au moins deux des trois dimensions sont nanométriques, entre le nanomètre¹ et la centaine de nanomètres) mais une question de convention, qui pourrait servir notamment dans le cadre de la réglementation des produits



Arborescence de nanofils de silicium

mis sur le marché. Un cas typique est le nanotube de carbone dont il peut exister des milliers de formes différentes (dimensions, surface, etc.). Quoi qu'il en soit, tout le monde s'accord sur le fait que les matériaux divisés à l'échelle de quelques nanomètres, voire de quelques centaines de nanomètres, se caractérisent souvent par une « rupture » de leurs propriétés. C'est en cela que les nanotechnologies sont porteuses d'avenir.

Les nanoparticules (poussières diverses) existent depuis toujours dans l'air que l'on respire, elles sont produites par les volcans, par la pollution, etc. La nouveauté technologique est qu'il est désormais possible de structurer des matériaux ordinaires (métaux, or, argent mais aussi lipides et polymères, synthétiques ou naturels) à l'échelle nanométrique, leur donnant des propriétés nouvelles. Il est également possible de fabriquer des nanoparticules, ce qu'on ignorait jusqu'à récemment.

1. Nanomètre : 1 milliardième de mm ou 10^{-6} mm ; l'épaisseur d'un cheveu est de 80 000 nm



Liste des acronymes dans l'ordre alphabétique

- AFNOR : Agence Française de Normalisation
- AFSSET : Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail
- CE : Commission Européenne
- CEA : Commissariat à l'Energie Atomique
- CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique
- INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des RISques
- INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
- INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles
- INSERM : Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale
- IRSN : Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire
- ISO : (normes) Organisation Internationale de Normalisation
- OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economique
- REACH : enRegistrement, Evaluation et Autorisation des substances CHimiques
- UNESCO : Organisation pour l'Education la Science et la Culture

Les nanoparticules sur lesquelles portent les recherches ont des applications potentielles dans de nombreux domaines. À moyen terme, leurs bénéfices essentiels sont attendus dans le domaine de la santé (biomarqueurs, vecteurs pour les médicaments, antiseptiques) et dans celui de l'énergie et du transport (amélioration de l'adhérence des pneus, nanocatalyseurs dépolluants pour les voitures d'aujourd'hui, nanopoudres pour les batteries des voitures électriques de demain, etc.), ainsi que dans le domaine des textiles (imperméabilisation notamment).

Les recherches sont actives dans ces directions, même si les utilisations les plus en vue aujourd'hui sont celles à finalité de grande consommation (cosmétiques, matériaux pour sports et loisirs : amélioration de la performance des skis de compétition par exemple, etc.). Les laboratoires publics et privés qui s'intéressent aux nanoparticules à finalités pratiques sont nombreux dans le monde. Les résultats de leurs recherches peuvent façonner les industries de demain, et améliorer – en raison des avancées accomplies – le positionnement économique des différents acteurs impliqués (prise de brevets, mise sur le marché, etc.).

Les dix questions

Quels sont les risques (avérés, possibles) des nanoparticules libres pour l'être humain ?

On sait que les nanoparticules qui se trouvent dans l'air (suie, poussière, etc.) peuvent être inhalées ou ingérées et que les moyens de défenses naturels assurent physiologiquement leur élimination. On sait également que la pollution atmosphérique, qui comporte une certaine fraction de nanoparticules, est à l'origine de l'aggravation de certaines maladies cardiaques et respiratoires. On a montré également que les effets toxiques des nanoparticules dépendent de nombreux facteurs comme leur nature chimique, leur forme, la rigidité ou la flexibilité des particules, ainsi que des doses inhalées ou ingérées. En revanche, pour l'instant, nous n'avons pas de connaissances décisives sur le cycle de vie d'une nanoparticule nouvelle dans l'orga-

nisme humain sauf dans le cas des Nanomédicaments pour lesquels le dossier d'AMM impose l'identification précise des voies de métabolisation/excrétion ainsi que la connaissance de la pharmacocinétique/biodistribution. Ces connaissances devraient pouvoir aider à la compréhension du devenir des autres types de nanoparticules dans l'organisme (phénomènes d'opsonisation, passage des endothéliums etc.) Bien que les effets toxiques des nanoparticules sur l'homme ne soient pas clairement avérés, il paraît indispensable de ne pas rajouter dans l'air des nanoparticules fabriquées par l'homme.

Quels sont les risques (avérés, possibles) des nanoparticules libres pour l'environnement ?

On connaît les mécanismes élémentaires de dissolution ou d'aggrégations des nanoparticules lorsqu'elles sont analysées en laboratoire. Il reste extrêmement difficile d'évaluer ces risques pour l'environnement, car ils dépendent du genre de particule, du contexte dans lequel elle se trouve, de sa quantité, des évolutions physico-chimiques ou biologiques dans les différents écosystèmes. Certaines nanoparticules peuvent réagir avec leur environnement et évoluer suivant une histoire difficilement prévisible du fait des constantes de temps à prendre en considération pour leur environnement (effet sur plusieurs générations pour la faune et la flore). Dans ce contexte, le recours au principe de précaution proportionné requiert de mettre en œuvre des méthodes de confinement des nanoparticules et de filtrage des effluents.

Quels sont les risques des nanoparticules intégrées dans des produits de grande consommation ?

Lorsque des nanoparticules sont intégrées dans un produit industriel, le risque d'exposition reste quasi nul tant que le produit n'est pas jeté. En effet, les nanoparticules servent à améliorer certaines caractéristiques du produit (rigidité, flexibilité, propriétés thermiques) mais le fait qu'elles y soient intégrées ne leur donne aucune possibilité d'être libérées dans l'air et d'être inhalées, ingérées ou absorbées, sauf dans le cas des médicaments et produits cosmétiques. Notre ignorance porte principalement sur le devenir de ces nano-

particules si le produit n'est pas correctement recyclé. Elles peuvent alors se retrouver dans l'air ou l'eau et, si elles sont larguées en grandes quantités, affecter en premier lieu les écosystèmes.

Quels sont les problèmes liés à la mesure de la présence des nanoparticules ?

Les systèmes de comptage des particules sont déjà opérationnels dans toutes les industries nécessitant des environnements ultra-propres (aussi dénués que possible de toute poussière, comme par exemple dans l'électronique ou les biotechnologies). Dès qu'on passe à l'air libre, le problème est compliqué du fait que les nanoparticules naturelles et d'origine humaine s'y trouvent en très grand nombre et diminuent la sensibilité et la précision du comptage. De ce fait, il serait utile d'identifier les nanoparticules émises dans l'air (ou dans l'eau) non seulement par leur taille mais aussi par leur nature chimique, ce qui requiert des équipements de comptage pourvus de systèmes d'analyse chimique. Aujourd'hui, ce type d'appareils est en phase de conception.

Où en est la recherche en toxicologie et en écotoxicologie ?

À l'échelle nationale il existe aujourd'hui des programmes de recherche qu'il est sans doute nécessaire d'accélérer. Ils sont complétés sur le plan international par la mise en place d'une coordination (OCDE, ISO, CE, etc.) destinée à optimiser le travail notamment en définissant des priorités parmi les nanoparticules à étudier, en fonction des quantités déjà produites (silice, dioxyde de titane, alumine par exemple) ou du degré de préoccupation qu'elles soulèvent (nanotubes de carbone). Aujourd'hui, les principaux programmes internationaux se mettent en place et complètent les programmes nationaux.

Quelles sont les mesures prises et les chantiers ouverts ?

L'une des mesures les plus importantes qui aient été prises fut celle qui consiste à limiter au maximum l'exposition des personnes appelées à fabriquer ou manipuler des nanoparticules dans les laboratoires et les lieux de fabrication. Les premiers

résultats ont été obtenus dans le cadre d'un programme européen Nanosafe et, au niveau national, d'un programme Nanosécurité lancé en 2009 dans le cadre de Nano-Innov (avec pour pilote le CEA-Grenoble). Les résultats concernent l'efficacité des protections (tissus, filtres, lunettes, etc.), l'efficacité des systèmes de contrôle particulaire (comptage des particules libres, séparation en fonction de la taille), et enfin celle des systèmes de confinement des particules (pour éviter la dissémination des particules dans l'air ou dans l'eau). Le programme Nanosécurité de Nano-Innov a pour but de diffuser ces connaissances et ces exigences dans les laboratoires, puis les lieux de fabrication à l'échelle nationale.

Quelle est actuellement la réglementation concernant les risques des nanoparticules ?

Il existe déjà un corpus réglementaire (code du travail) concernant la protection des travailleurs contre le risque chimique. Celui-ci s'applique totalement à la protection contre les nanoparticules. Toutefois, certaines dispositions techniques, telles que les méthodes de mesure dans les ambiances de travail, devraient faire l'objet d'adaptations spécifiques. La nécessité de dispositions spécifiques aux nanoparticules concerne également le règlement européen REACH sur les produits chimiques, dont l'adéquation aux nanoparticules fait débat actuellement. Le problème de la spécificité et de la quantité ne manquera pas d'être posé également à l'échelle nationale dans le cadre de l'application de la loi issue du Grenelle de l'Environnement I. Il prévoit une déclaration obligatoire des utilisations de nanoparticules et incite à une recherche plus poussée sur la toxicologie et l'écotoxicologie. Enfin, en mars 2009, le parlement européen a voté une réglementation nouvelle sur les cosmétiques exigeant une plus grande transparence. Cette réglementation doit être appliquée d'ici à 2013.

Comment évaluer le rapport bénéfices/risques lié à l'utilisation des nanoparticules ?

Le rapport risques/bénéfices est sérieusement pris en considération pour les médicaments, alors que pour les cosmétiques, il est clair qu'il doit être nul. Pour d'autres

produits, ce rapport doit être évalué au cas par cas. Aujourd'hui, les bénéfices escomptés de certains usages des nanoparticules sont immenses, mais la grande majorité des risques restent inconnue. Le seul moyen d'atteindre une évaluation risque/bénéfice acceptable est la vigilance, allant de la phase de pré-industrialisation à celle de la consommation de masse. Cette vigilance – et la transparence de l'information qui l'accompagne – sera le meilleur moyen pour percevoir des risques non prévus et pour les éradiquer, les réglementer, etc.

Comment informer le public sans démagogie et sans susciter des peurs infondées ?

L'un des points clé du débat sur les nanotechnologies est celui de la réponse à donner aux attentes du public. Celles-ci sont extrêmement – et légitimement – variées, car la perception d'une nanoparticule à usage médico-pharmaceutique, par exemple, est radicalement différente de la perception d'une nanoparticule dont l'usage paraît moins important, voire inutile. L'information du public, de manière rigoureuse et transparente, est le meilleur atout pour la construction d'un rapport de confiance qui se situera au-delà du débat jamais clos entre technophiles et technophobes. C'est uniquement cette information qui permettra une approche sereine des innovations technologiques et ce, d'autant plus qu'elle sera complétée par une meilleure écoute du public et de ses inquiétudes et une attention vigilante et raisonnée aux alertes lancées par les associations de consommateurs ou les spécialistes de l'environnement.

Quelle est la responsabilité éthique du chercheur et de l'ingénieur sur ce sujet ?

La responsabilité des chercheurs passe par la meilleure connaissance possible des risques (y compris en phase de pré-industrialisation) et par la vigilance avec laquelle ils suivent les cycles de vie des produits sur lesquels ils travaillent. C'est ainsi que l'éligibilité d'un projet de recherche, dans le cadre de Nano-Innov, est conditionnée par « la fourniture d'un rapport d'expertise préliminaire des risques liés à la phase d'industrialisation plus un bilan sur le cycle de vie des technologies et objets issus

du projet intégrant l'aspect sécurité et l'impact environnemental » (Nano-Innov).

Les recommandations

- 1/ Mettre en évidence en permanence les bénéfices attendus des nanotechnologies.
- 2/ Renforcer les compétences en toxicologie et écotoxicologie et exiger des chercheurs le respect des bonnes pratiques de laboratoire.
- 3/ Promouvoir la prévention en milieu de travail, notamment dans les PME qui ne bénéficient pas d'une expertise interne, organiser la formation du personnel et la traçabilité des expositions potentielles en vue d'études épidémiologiques ultérieures sur certaines particules supposées à risque.
- 4/ Renforcer les coopérations scientifiques internationales de qualité sur ce sujet.
- 5/ Prendre les mesures nécessaires pour le recyclage des produits contenant des nanoparticules.
- 6/ Accélérer la prise en compte des nanoparticules dans les instances de normalisation (ISO, OCDE, AFNOR...) et de réglementation (REACH).
- 7/ Associer toutes les parties concernées (pouvoirs publics, chercheurs, industriels, environnementalistes, associations de consommateurs, citoyens), en améliorant la diffusion des connaissances à mesure qu'elles sont acquises, d'une part ; et d'autre part, en favorisant une meilleure écoute des inquiétudes des citoyens et une meilleure réactivité à leur égard.

Ainsi, l'Académie des technologies sera en mesure de mettre sa devise au profit du débat public sur les nanotechnologies : « pour un progrès raisonné, choisi et partagé ».

