



Pour une culture de la recherche  
et de l'innovation dans la société

Patrick Abate  
Armel de la Bourdonnaye  
Laurent Chicoineau  
Michel Doly  
Pierre-Etienne Gautier  
Claire Hubert  
Denis Limouzin  
Pierre-Jean Loiret  
Bradford-Lee Smith  
Cyrille Vanlerberghe  
Anne-Lucie Wack  
Avec le soutien de Jean-Claude Petit

Promotion 2006-2007



# LA QUESTION DES NANOTECHNOLOGIES

RAPPORT **D'ÉTONNEMENT**



# Introduction

Les « nanos » (nanosciences, nanomatériaux, nanostructures, nanotechnologies, etc.) sont un objet scientifique et technologique mal défini et difficile à appréhender (de quoi parle-t-on ? Est-ce réellement nouveau ?), avec un spectre d'applications très large, et porteur d'enjeux économiques majeurs. Alors que de nombreuses applications des nanotechnologies sont déjà sur le marché, force est de constater que les risques liés à leur développement n'ont pas encore été spécifiés.

Tous les ingrédients semblent donc réunis pour que la polémique naissante sur les nanotechnologies enflamme et s'inscrive dans la longue série des crises qui ont émaillé l'histoire récente des relations entre sciences et société dans notre pays (amiante, OGM, vache folle, nuage de Tchernobyl, etc.)

L'atelier « nano » de cette première promotion de l'IHEST s'est attaché à construire collectivement les trois questions suivantes : Quelles sont les questions que posent les nanotechnologies ? Quels sont les termes de la controverse ? Quelles recommandations faire pour tenter de garder la maîtrise sociale du développement de ces technologies ?

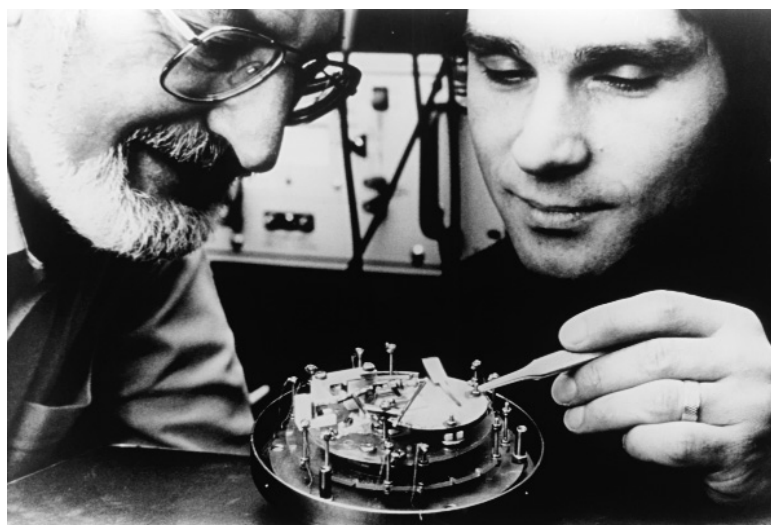
Plongeant ses racines dans le Grec ancien dans un mot signifiant « petit », « nano » semble aujourd'hui le préfixe à la mode, tant dans les domaines scientifiques, technologiques et de l'innovation (nanosciences, nanotechnologies, nanoproducts, nanomédecine, etc.) que dans celui, plus inattendu, des débats publics et des mobilisations citoyennes : nanocafé<sup>1</sup>, nanoforum<sup>2</sup>, nanodialogue<sup>3</sup>, nanologue<sup>4</sup>, nanojury<sup>5</sup>, etc. Diversité des interlocuteurs et des points de vue, grande variété de sujets abordés, expression des espoirs les plus utopiques comme des angoisses les plus profondes... vue de l'extérieur, la « question des nanos » paraît bien complexe et tumultueuse. Pour un décideur économique, politique ou scientifique, comment l'appréhender dans un objectif opérationnel ?

## Des nanos au cœur de toutes les sciences

Premier constat : dans le champ scientifique « nano » recouvre des disciplines et des sujets multiples et variés : chimie, environnement, biologie, biochimie, physique fondamentale, science des matériaux, optique, électronique... on trouve des nanos partout et toutes les recherches, tous domaines confondus, semblent s'orienter vers ou intégrer des problématiques « nano ». Face à cette invasion du nano dans les sciences de la nature et les sciences de l'ingénieur, les sciences humaines et sociales ne sont pas en reste. En sociologie, économie, droit, gestion, sciences politiques, et même en philosophie, la question des nanos est aussi très prisée. Quelles sont donc les spécificités scientifiques des nanos ?

A l'échelle nanométrique, les propriétés des matériaux changent. Une particule d'argent ne se comporte pas de la même manière selon qu'elle mesure quelques millimètres ou quelques nanomètres. Ceci intéresse particulièrement les chimistes et les spécialistes de la caractérisation. Un intérêt renforcé par la capacité qu'ont les chercheurs aujourd'hui de fabriquer ces nanoparticules « sur mesure ». Alors, nanosciences ou nanotechnologies ? Seule certitude, la question des nanos nous plonge au cœur de la technoscience contemporaine.

Autre spécificité : sur le plan scientifique, à l'échelle nanométrique les frontières entre l'inerte et le vivant disparaissent. Les technologies de manipulation de l'un peuvent s'appliquer à l'autre, tous les assemblages, les métissages, les hybridations semblent possibles. Sont-ils pour autant tous souhaitables ? Fortes de ce nouveau sésame pour explorer et réparer le vivant, les sciences biologiques et médicales s'orientent vers les « nano-biotechnologies » et la nanomédecine. Le changement d'échelle pourrait permettre d'observer des éléments du corps vivant hors de portée jusqu'ici (nano-endoscopie), de créer de nouveaux marqueurs biochimiques, ou encore de développer la vectorisation des médicaments. Mais certains voient plus loin encore. De l'autre côté de l'Atlantique, des scientifiques imaginent la grande convergence des technologies : nano, bio, informatique et sciences cognitives (NBIC) au service non seulement de la santé de l'homme mais aussi de son « augmentation ». Après les post-humanistes voici venir les trans-humanistes. Ce bon docteur Frankenstein fait toujours des émules...



## Une nouvelle technologie controversée

Deuxième constat : dans l'espace public, les nanos suscitent de nombreux débats depuis quelques années. Sous des formes diverses promouvant souvent la participation citoyenne, ils mettent en scène la pluralité des questionnements et visent à instaurer de nouvelles relations entre experts, scientifiques du public comme du privé et simples citoyens.

Un consensus semble établi, à tous les niveaux politiques et organisationnels, pour que les nanotechnologies se développent avec l'assentiment (et le soutien) des citoyens consommateurs. Du reste, la Commission européenne soutient parfois des initiatives locales. Car le spectre du blocage des OGM hante bon nombre de responsables européens – ceux-là même qui misent sur l'innovation technologique et industrielle (donc issue de la recherche scientifique) pour renforcer la compétitivité des entreprises du continent européen et garantir la croissance.

La nouvelle exigence sociale de compréhension du développement scientifique et technologique est peut être liée à l'augmentation du niveau de connaissance moyen de la population ; elle semble aussi directement liée à l'histoire récente qui a vu s'accumuler les crises sanitaires et environnementales (affaires du nuage de Tchernobyl, du sang contaminé, de la vache folle, de l'amiante...). Il n'y a plus de domaine réservé aux experts.

Ambivalent, le public est à la fois toujours confiant dans la recherche, essentiellement pour sa capacité à améliorer la santé, et inquiet à propos des « mauvaises » applications que certains pourraient faire de ses résultats. Cette inquiétude est renforcée par le caractère international de la recherche qui, dans la globalisation actuelle des économies, ne facilite pas la lisibilité des processus de décision, ni des procédures de contrôle. D'une certaine manière, il s'agit d'une question d'échelle : Comment vivre l'articulation entre le local et le supranational ? Comment percevoir la durée nécessaire à l'élaboration de ces processus ? La question des nanos pose celle de la gouvernance de la recherche.

## Quels risques pour la santé et l'environnement ?

Autre caractéristique des débats publics et controverses sur les nanos : la difficulté de trier, sérier, délimiter les contours de chaque question au sein de l'immense catégorie générique « nano ». Nous l'avons vu plus haut, de nombreuses recherches et développements ont été rebaptisés nano pour des raisons parfois opportunistes – faire le chemin inverse est beaucoup plus ardu. On peut cependant avancer une grille de lecture de ces débats, structurée en trois séries de questions. La première série regroupe les interrogations sur les incertitudes scientifiques : que savons-nous aujourd'hui des effets des nanoparticules sur la santé et l'environnement ? Sommes-nous capables de mesurer les risques ? La controverse dans ce domaine concerne la toxicité des nanomatériaux ; c'est dans ce périmètre que l'amiante et les OGM font office de référence – et de repoussoir.

### **Le spectre de l'amiante flotte sur les nanos**

Un avis de l'Organisation mondiale de la santé de 2003 met en garde contre le danger des particules fines, de moins de 2,5 micromètres, notamment celles émises par les moteurs diesel. Leur action sur l'activité respiratoire n'est pas aussi grave que celle des fibres d'amiante, mais l'OMS estime qu'elles sont tout de même responsables d'un excès de plusieurs milliers de décès par an en Europe. Avec des dimensions encore plus réduites, les nanoparticules présentent le même type de risque potentiel, ainsi que des comportements nouveaux grâce à leur capacité à franchir les parois cellulaires.

Des particules de taille nanométrique sont déjà utilisées depuis plusieurs années par l'industrie chimique (oxyde de titane dans les crèmes solaires L'Oréal, particules de silices pour les pneumatiques...). Un nouveau domaine, celui des nanotubes de carbone est en train d'émerger notamment pour produire des matériaux renforcés (fibres de carbone solidifiées). Pour le moment, ces nanoparticules n'existent qu'incorporées dans des matériaux solides, et les risques de dissémination dans l'environnement paraissent réduits. En revanche, les personnes qui commencent à les produire et les manipuler de manière industrielle sont déjà exposées. Le spectre de l'amiante est tel que certaines entreprises prennent d'ores et déjà des précautions maximales (hottes en dépression, salles isolées, télémanipulation quand cela est possible) pour produire ces nanotubes de carbone.

En fait, les études sur la toxicologie de ces particules minuscules ne font pour la plupart du temps que commencer, et aucune donnée définitive ne permet aujourd'hui de conclure sur leur innocuité ou leur nocivité. Le règlement européen REACH qui vient d'ailleurs d'entrer en vigueur le 1er juin 2007 pour encadrer la commercialisation des produits chimiques ne prévoit aucune règle particulière pour les nanomatériaux. La situation est encore compliquée par le fait que ces particules nouvelles sont très difficilement mesurables. Aucun appareil existant ne permet aujourd'hui de mesurer leur concentration dans l'air, et encore moins de les caractériser rapidement. Plusieurs rapports (Académie des sciences, Comité consultatif national d'éthique) recommandent ainsi de concentrer d'abord les efforts scientifiques sur la métrologie, en attendant de disposer de données plus précises sur les risques.

## Les libertés individuelles remises en question

Une seconde série de questions porte sur l'utilité sociale des nanotechnologies. Balance entre les investissements financiers importants nécessaires pour leur développement et donc, par défaut, l'abandon ou le sous financement d'autres domaines de recherche, les risques potentiels encourus, et les bénéfices pour le citoyen contribuable. « Qui a demandé des nanotechnologies ? » entend-on souvent dans ce registre. Si le consensus s'établit rapidement autour des applications médicales, considérées comme utiles socialement<sup>6</sup>, les applications liées à la sécurité au sens large (alimentaire, militaire, etc.) sont beaucoup plus controversées.

Ici, les RFID (Radio Frequency IDentifier) sont dans la ligne de mire. Marqueurs électroniques destinés à identifier tout produit « individuellement », c'est-à-dire en le différenciant d'un autre objet de même famille, ils posent la question du stockage et de l'usage des informations personnelles. Certes, les RFID ne sont pas encore de dimension nano, et certains régimes politiques n'ont pas attendu les hautes technologies pour limiter les libertés individuelles. Ceci étant, la société de contrôle que permet l'interconnexion de toutes les étiquettes électroniques sur la planète n'est pas du goût de tous.

### **Des « poussières communicantes » (*smart dust*) pour tout contrôler**

Un peu partout dans le monde, des recherches sont menées pour mettre au point des « poussières communicantes ». Il s'agit d'étiquettes sans fil, de dimensions millimétriques (et non pas nanométriques), destinées à capturer des informations, les traiter et les diffuser. De nombreux usages sont imaginés pour des applications grand public (suivi de la chaîne du froid, passage en caisse sans vider son caddie), environnementales (détection précoce des incendies de forêt par saupoudrage dans la nature), médicales (suivi à distance des personnes, dossier médical « embarqué ») et militaires (surveillance du territoire, contrôles d'accès, dispositifs furtifs).

Compte tenu de leurs dimensions miniatures et de leur dissémination à grande échelle dans l'environnement, dans les objets et même dans les corps (tous les chevaux de race français sont munis d'une puce aujourd'hui), le risque est que nous ne puissions plus nous « débrancher » de ce suivi / contrôle / monitoring technologique permanent. Il est bien prévu une fonction de « neutralisation » de chaque puce RFID, mais celle-ci semble difficile à mettre en œuvre, du fait même de leur dissémination. Comment neutraliser toutes les étiquettes autour de soi si on ne sait ni combien ni où elles sont ?

# Quelle éthique pour les nanotechnologies ?

La dernière série de questions concerne les problèmes éthiques nouveaux ou renouvelés par le développement des nanotechnologies, et tout particulièrement par la convergence avec les biotechnologies, l'informatique et les sciences cognitives. Doit-on se limiter à soigner ou peut-on « augmenter » l'homme ? La génétique associée aux biotechnologies a déjà ouvert la brèche. Dépistage génétique, tri préimplantatoire des embryons, médecine préventive et demain prédictive... Que deviennent alors ceux qui ne bénéficient pas de ces possibilités ou traitements pour diverses raisons (économiques, religieuses, sociales,...) ? Dans la controverse homme soigné/homme augmenté, la référence reste celle du clonage, de la manipulation de l'homme par l'homme.

## La transgression des frontières

Pour les philosophes, les nanotechnologies peuvent se ranger dans la catégorie des « anthropotechnies », c'est-à-dire des techniques qui s'appliquent à l'humain (comme la chirurgie esthétique ou la médecine régénérative). Le problème n'est pas tant d'utiliser du vivant que d'utiliser la technique pour modifier l'humain, et non pour l'adapter à l'environnement.

Pour la philosophe Bernadette Bensaude-Vincent<sup>7</sup>, il faut faire le distinguo entre « nature humaine » et « condition humaine ». La condition humaine, c'est ce qui fait la solidarité entre tous les hommes. C'est un concept éthique qui nous donne des droits et des devoirs, notamment celui d'assurer le développement durable sur la planète. Jusqu'ici, la condition humaine se définissait selon les normes de nos sociétés occidentales, normes qui remontent à Aristote. Pour lui, il y a une nette différence entre Nature et Artifice (dont l'objectif, pensait Aristote, était de ressembler à la nature, mais sans jamais pouvoir l'égaliser) d'une part, et Nature et Société d'autre part.

Ce qui change, avec les nanotechnologies, c'est la volonté d'utiliser les unités élémentaires de la nature et du vivant, les atomes et les molécules, comme des dispositifs techniques. Les nanotechnologies transforment alors notre rapport à la nature, elle n'est plus considérée comme extérieure à nous, mais comme une « boîte à outils » à notre disposition. Ceci conduit à la « naturalisation » du politique, à l'effacement des frontières entre les catégories « nature », « technique » et « société ». C'est ce qui est à l'œuvre dans le projet des transhumanistes : l'idée que le progrès technologique peut aujourd'hui prendre la relève de l'évolution biologique.

# Nano, ou le marketing de la recherche

La spécificité scientifique des nanos est plus présente aujourd'hui dans les discours que dans les labos. Certes, l'état de nos connaissances actuelles et les voies de recherches explorées laissent espérer pour les quelques décennies à venir une moisson de découvertes et d'innovations technologiques. Cependant, spéculation n'est pas raison, et il est difficile de ne pas voir aussi dans la promotion des nanotechnologies par les scientifiques une stratégie de financement de recherches dans lesquelles certains étaient de toute manière engagés, ignorants, tels Monsieur Jourdain, qu'ils « parlaient nano ».

Aux USA, en Europe, en Asie, la concurrence sur les crédits de recherche publique est telle que les chercheurs doivent utiliser des techniques de marketing pour obtenir leurs financements. Les nanos ont parfaitement joué ce rôle d'accroche, capable de capturer l'attention – et les crédits – des financeurs. Cette stratégie marketing a aussi séduit le monde industriel qui y a vu un nouveau vecteur de communication, ajoutant encore à la confusion. Entre le « bientôt-nano » des industries de l'électronique et des télécommunications, lancées dans une course à la miniaturisation depuis les années 1960, et le « depuis-longtemps-nano » des chimistes et cosméticiens aimant jouer sur les mots, il n'est pas facile de bien discerner de quoi on parle. L'arbre nano cache une vaste forêt de particules, de processus, de propriétés, d'applications, de questions.

## Quel encadrement juridique pour les nanotechnologies ?

La principale difficulté pour mettre en œuvre un contrôle social du développement des nanotechnologies réside dans la rapidité avec laquelle les promoteurs de ces recherches souhaitent avancer. Dans un contexte de forte compétition internationale en matière économique et scientifique, l'argument principal des chercheurs d'une région, d'un pays ou d'un continent, consiste à prendre l'autre de vitesse. Cette accélération forcée bouscule les schémas traditionnels. Ce tempo ne coïncide plus avec celui, plus lent, de la construction des usages et de la socialisation des innovations. Ce hiatus provoque circonspection et rejet chez les utilisateurs potentiels, qui estiment que ces nouvelles technologies leur sont imposées « sans qu'ils n'aient rien demandé ». La question se pose alors d'élaborer des dispositifs d'encadrement – sans pour autant nuire à la compétitivité des universités et entreprises.

Sur un plan juridique, il n'y a aujourd'hui aucune loi (adoptée ni même en projet) qui encadre la recherche et développement en matière de nanosciences et nanotechnologies. Contrairement aux recherches liées au vivant (bioéthique) ou au traitement des déchets radioactifs, les nanotechnologies ne font l'objet d'aucun encadrement juridique en France, ni dans un autre pays. Les juristes sont d'abord confrontés à un problème de définition. En matière de nanomédecine par exemple, va-t-on considérer l'action des futurs nanorobots moléculaires comme ressortissant du domaine de la chimie ou de celui de la mécanique ?

Si l'action chimique est retenue, alors le dispositif nano sera classé comme médicament, et il devra être soumis aux mêmes règles et processus de validation que n'importe quel autre médicament. Si l'action mécanique est retenue, le même dispositif sera classé comme « instrumentation médicale », et son processus de validation sera tout autre... Cependant, d'après certains juristes<sup>8</sup>, les nanotechnologies n'entrent pas dans un « vide juridique » absolu.

Certaines lois ou règlements actuels peuvent s'appliquer : le droit des brevets, les principes liés à la responsabilité, à la protection de l'environnement et, bien évidemment, le principe de précaution. On peut envisager d'appliquer ce dernier aux nanoparticules et nanomatériaux. Mais là encore, il y a nécessité d'une nomenclature précise car, par exemple, on ne peut pas ranger les nanotubes de carbone dans la rubrique générique du carbone. On sait qu'à l'échelle nanométrique les matériaux se comportent différemment, il faut donc réaliser de nouvelles études environnementales et toxicologiques spécifiquement sur les nanotubes de carbone.

Ainsi, le nouveau règlement européen REACH ne concerne pas explicitement les nanotechnologies. Ce problème de nomenclature n'est pas bien différent des autres processus de normalisation ; on retrouve les mêmes tensions entre les grands groupes industriels qui cherchent à obtenir une normalisation la plus souple possible et les pouvoirs publics dont une des missions est de protéger les consommateurs, ou encore la question du périmètre de la réglementation : Qui prend la responsabilité de réglementer ? Quelles sont les réflexions à l'échelle européenne ? Une réglementation locale sur ce sujet peut-elle être efficace ? Toutes ces questions sollicitent le politique.

## Pour une politique publique des nanotechnologies

En France, il n'y a pas une politique publique d'ensemble sur les nanotechnologies. Contrairement au nucléaire par exemple, il n'existe pas aujourd'hui de « filière nanotechnologies ». Du fait de leur caractéristique de technologies diffusantes, les nanotechnologies peuvent être abordées sous de multiples angles, dans des objectifs variés ; elles intéressent donc diverses politiques publiques : recherche et industrie bien sûr, mais aussi défense, santé, agriculture, budget...

Cette situation, pourtant prévisible<sup>9</sup>, est encore renforcée par le fait que d'autres pouvoirs politiques, régionaux et européens, investissent eux aussi dans les nanotechnologies. Dans ce contexte, la complexité du système est grande, comme à Grenoble par exemple, avec le « pôle d'innovation en micro et nanotechnologies » baptisé MINATEC<sup>10</sup>, financé principalement par les collectivités locales (maîtrise d'ouvrage : département de l'Isère) et porté scientifiquement par le CEA et l'INP Grenoble.

Cet exemple est révélateur de la difficulté à identifier les responsabilités, difficulté encore renforcée par l'absence d'une structure juridique ad hoc. Dans ce cas, comment identifier les bons interlocuteurs ? C'est la question que se posent notamment les syndicats, soucieux de la santé au travail et de la prévention des risques, inquiets face aux incertitudes sur les impacts sanitaires et environnementaux des nanomatériaux. Sur le pôle d'innovation MINATEC cohabitent des salariés (et des étudiants) de statuts différents – enseignants, chercheurs, ingénieurs, techniciens, sous-traitants, d'organismes publics et privés – dont le suivi médical et sanitaire varie selon l'employeur.

Ceci ne favorise pas le repérage d'éventuels problèmes ; l'une des idées consisterait alors à adjoindre à la coordination économique et scientifique du pôle, un « CHS-CT de site » pour coordonner la veille sanitaire et médicale<sup>11</sup>. Mais cette notion de CHSCT de site est contesté localement et au niveau national par d'autres organisations syndicales, qui craignent une dilution des responsabilités des employeurs dans un flou juridique. L'autre idée qu'ils proposent consiste à mettre en place une structure de collège inter-entreprise, comme celles pratiquées sur les sites des grands chantiers, permettant d'aboutir aux mêmes garanties de sécurité sans mélange des responsabilités.

Face à cette situation, pour remédier au déficit d'études en toxicologie, l'Agence nationale de la recherche (ANR), nouvellement créée, a lancé pour 2007 un programme de financement des recherches en nanosciences et nanotechnologies en évolution par rapport aux années précédentes. En effet, le programme « PNANO »<sup>12</sup> de l'ANR est découpé, en 2007, en 3 appels à projets : l'un orienté vers la recherche fondamentale, le second vers la valorisation de la recherche et les applications, et le troisième sur les « aspects éthiques et sociétaux, sanitaires, risques des nanotechnologies pour la santé et l'environnement ». Cette inflexion des allocations des financements de la recherche en France montre une volonté d'accompagner les développements scientifiques et technologiques par des études d'impact ; reste à maintenir et augmenter ces crédits dans la durée, et à inciter nos partenaires européens et internationaux à prendre le même chemin.

## Fixer les normes éthiques par les méthodes démocratiques du débat public

Parfois articulées au politique, des initiatives émergent pour tenter d'élaborer de nouvelles formes de contrôle social du développement de ces innovations. Elles puisent leur inspiration dans les pratiques nord européenne du *Technology Assessment* (« évaluation des technologies »), essentiellement développées par les Danois<sup>13</sup>, revues et corrigées par la culture française. Ainsi, on ne parlera pas, en France, de conférences « de consensus », mais de conférences « de citoyens »... Ces nouveaux dispositifs sont basés pour la plupart sur le débat ou la controverse publics. Cependant, et en contraste avec la nouveauté de la thématique nano (premiers débats recensés en 2005<sup>14</sup>), toutes ces controverses semblent portées et animées par des acteurs « traditionnels ».

D'un côté, les chercheurs, les décideurs politiques, les industriels, de l'autre, les syndicats, les militants des droits civiques, de la protection de l'environnement, de la défense des consommateurs, voire de la décroissance, de l'altermondialisation et de l'autogestion. Tous des « professionnels » du débat en quelque sorte. Pour sortir de ce schéma et mobiliser « le citoyen », des tentatives de renouvellement des procédures du débat public sont donc expérimentées : conférence de citoyens organisée par la Région Ile de France<sup>15</sup>, débats participatifs à Grenoble<sup>16</sup>, « débat des débats » à la Cité des Sciences et de l'Industrie<sup>17</sup>. Se pose dès lors la question de l'articulation entre ces nouvelles procédures visant à produire une expertise collective locale et la décision politique. Principale limite de ces dispositifs, l'instrumentalisation du débat public risque de lui faire perdre sa fonction première qui reste, au-delà des conclusions, de partager un vocabulaire, des informations, de faire émerger les questions, de construire collectivement des problèmes – plutôt que d'apporter des solutions.



Enfin, il faut souligner une singularité des débats publics sur les nanotechnologies : le débat se construit en même temps que la technologie. Jusqu'ici, dans la phase d'émergence d'une nouvelle technologie, les controverses étaient réservées aux spécialistes.

Avec les nanotechnologies, on observe que les débats ont démarré dans la sphère publique dès les premières annonces du programme de recherche américain, en janvier 2000<sup>18</sup>. Des débats ont été lancés par les scientifiques eux-mêmes<sup>19</sup>, et amorcés dès les années 1980 par des auteurs de Science-fiction s'interrogeant sur les transformations du corps social, biologique et psychique dans un monde comme innervé par les nouvelles technologies, et « régulé » par les grands groupes industriels<sup>20</sup>.

En conclusion, la question des nanos nous semble emblématique des défis auxquels nous sommes confrontés en ce début de XXI<sup>e</sup> siècle : omniprésence des sciences et des technologies dans tous les domaines de la société, pour chacun d'entre nous et au quotidien ; conscience de l'importance et des limites de notre écosystème planétaire ; imprévisibilité liée à la complexité (voire à l'incompréhension) des phénomènes à l'œuvre ; nécessité de régulation à l'échelle mondiale. Dans ce contexte, il est nécessaire d'élaborer collectivement de nouveaux modes de gouvernance en associant chacun, citoyen, expert, politique, industriel, militant... à sa place, en toute transparence, et dans le respect de l'autre<sup>21</sup>.

La confiance ne se décrète pas, elle se gagne par des actes en accord avec les discours. Il serait absurde d'imaginer remplacer l'expertise des scientifiques par celle des simples citoyens, celle des industriels par celles des politiques. En revanche, il faut que chacun joue pleinement son rôle et assume sa fonction sociale. Comment renouveler la politique sans mobilisation citoyenne ? Comment consommer sereinement sans organisme de contrôle indépendant ? Comment approfondir les connaissances sans les diffuser dans la société, sans les enseigner aux plus jeunes ? Le doute et l'incertitude sont naturels, ils ne doivent pas engendrer la peur, qui favorise les réactions sécuritaires et protectionnistes. « Agents de la culture du doute », le panel d'auditeurs de l'IHEST qui s'est confronté à la question des nanos a tenté de faire la démonstration que, pour des non spécialistes du domaine, il était possible grâce à une réflexion collective et ouverte de se construire une représentation en prise avec la réalité des enjeux et donc, d'agir dans ce monde incertain.

## Recommandations

Malgré l'importance des enjeux financiers et militaires du développement des nanosciences et des nanotechnologies (technologies duales dont on obtient difficilement des informations sur le volet militaire, notamment en France), le panel représenté par les auditeurs de l'atelier « nano » souhaite formuler et rappeler quelques recommandations essentielles aux décideurs politiques, scientifiques, industriels et économiques, en vue d'un développement durable et raisonné de ces nouvelles technologies.

**1. Développer les études sur les risques dans le même temps que les recherches,** favoriser la création de nouvelles équipes pluridisciplinaires sur ces questions, le développement des moyens de mesure nécessaires (nanométrie<sup>22</sup>), le financement des études toxicologiques et d'impact.

**2. Travailler à l'élaboration d'un cadre normatif, légal et réglementaire adapté aux spécificités des nanotechnologies,** en cohérence avec des initiatives européennes et internationales, intégrant des chercheurs d'organismes publics et d'entreprises privées, y compris des chercheurs en sciences humaines et sociales (SHS).

3. **Etudier la faisabilité de délivrer des autorisations de mise sur le marché (AMM)** pour les produits comprenant des nanoparticules n'entrant ni dans les procédures d'homologation des médicaments, ni dans celles décrites par le nouveau règlement européen REACH.

4. **Créer un observatoire des impacts sociétaux des nanotechnologies**, afin de repérer en amont les questions sociales posées par certains développements et rétroagir sur les orientations de la recherche.

5. **Favoriser la culture du débat public et de la délibération**, dans l'enseignement secondaire et supérieur, faire travailler les étudiants scientifiques (ingénieurs, chercheurs) sur les controverses – non pas pour leur apprendre à les éviter mais pour les préparer à les affronter –, sensibiliser à la complexité, à la pluridisciplinarité.

6. **Laisser la possibilité d'un débat ouvert et l'organiser dans la durée**, renforcer la capacité des institutions médiatrices (CNDP, CNIL, Centres de culture scientifique technique et industrielle, etc.) à organiser les débats de manière pérenne, favoriser l'émergence et l'implication de nouveaux acteurs, mettre en œuvre un système d'information pour partager largement les connaissances accumulées sur le sujet.

7. **Articuler l'éthique avec la recherche au quotidien**, mettre en place pour les chercheurs des « espaces éthiques<sup>23</sup> » dans les laboratoires, renforcer les capacités des scientifiques à s'exprimer par la formation à la réflexion éthique dans les études scientifiques, considérer l'éthique comme un des facteurs-clés de succès du développement de la recherche en nanosciences et nanotechnologies.

8. **Inciter les médias – et notamment la télévision – à s'emparer de ces questions**, mobiliser la communauté scientifique et intégrer les actions de communication et de médiation dans l'évaluation des chercheurs.

## Notes

<sup>1</sup>**Nanocafés** : réunions publiques inspirées des cafés philosophiques et autres cafés scientifiques, organisés à partir d'octobre 2005 à Madison (Wisconsin, USA), suite à une conférence de consensus. [www.nanocafes.org](http://www.nanocafes.org)

<sup>2</sup>**Nanoforum** : portail web d'information sur les nanotechnologies par la Commission Européenne mis en place dans le PCRD 5. [www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org)

<sup>3</sup>**Nanodialogue** : « L'exposition nanodialogue a pour but d'informer et de stimuler le débat sur les nanotechnologies et la nanoscience, et leurs conséquences dans notre vie quotidienne ». Projet piloté par la Citta'Della Scienza (Naples, Italie) et mis en œuvre en parallèle dans 8 pays européens, de mars 2005 à mars 2007. [www.nanodialogue.org](http://www.nanodialogue.org)

<sup>4</sup>**Nanologue** : projet européen piloté par le Wuppertal Institut (Allemagne) visant à favoriser la discussion publique sur les nanotechnologies sur la base de 3 scénarios prospectifs. [www.nanologue.net](http://www.nanologue.net)

<sup>5</sup>**Nanojury** : conférence de consensus organisée en Angleterre en 2005 par les Universités de Cambridge et de Newcastle, Greenpeace UK, et *The Guardian*.

<sup>6</sup>Cf recommandations de la conférence de citoyens organisé par la région Ile-de-France (cf infra) : « Nous pensons que des risques peuvent être pris dans certains domaines comme la santé ou la médecine mais pas dans d'autres. » p.2.

<sup>7</sup>Auditionnée à l'IHEST le 10.03.07.

<sup>8</sup>Stéphanie Lacour, chargée de recherche CNRS au Centre d'études sur la coopération juridique internationale. Auditionnée le 10.03.07 à l'IHEST.

<sup>9</sup>Jean-Pierre Dupuy et Françoise Roure, « Les nanotechnologies : éthique et prospective industrielle », Rapport présenté au Conseil Général des Mines, novembre 2004. Dès 2004, Dupuy et Roure recommandaient de : « concevoir et mettre en œuvre à très court terme une fonction de coordination interministérielle continue, capable de porter le développement de la convergence des technologies à forte capacité transformationnelle, en commençant par les nanotechnologies » (Recommandation n°1, « 13 Recommandations pour l'action », pp 58-60).

<sup>10</sup>[www.minatec.com](http://www.minatec.com)

<sup>11</sup>**SPEAG-CFDT**, regroupe à Grenoble les sections syndicales d'entreprise du CEA, de l'ESRF, de l'ILL et de l'IRAM. ([www.cfdt-rhone-alpes.com](http://www.cfdt-rhone-alpes.com))

<sup>12</sup>Apple à projets ANR 2007, département « Matière et information », sous la direction de Louis Laurent

<http://www.agence-nationale-recherche.fr/appele-a-projet/18?NodId=18&IngAAPIId=126>

<sup>13</sup>**Danish Board of Technology** : institution indépendante créée en 1985 et dont l'objectif est de « contribuer à informer un débat constructif, visant à solutionner des problèmes actuels ou futurs, dans le champ des relations entre technologies, sociétés et individus, et ce, dans une perspective tant locale, que nationale et internationale ». Présentation par Lars Klüver, Directeur DBT, à l'IHEST. 09.03.07.

<sup>14</sup>Cf notes précédentes sur Nanocafés et Nanojury.

<sup>15</sup>Conférence de citoyens en Ile-de-France (<http://espaceprojets.iledefrance.fr>)

<sup>16</sup>**NANOVIV**, Nanobiotechnologies : pourquoi faire ? Comment ? cycle de 5 débats publics organisés par VIVAGORA et le CCSTI de Grenoble de septembre à décembre 2006. Voir : <http://nanoviv.hautetfort.com/>

<sup>17</sup>« **Nanotechnologies** : le point sur les débats, des orientations pour demain ». Tables-ronde des 19 et 20 mars 2007, Cité des Sciences et de l'Industrie. [www.cite-sciences.fr/college](http://www.cite-sciences.fr/college)

<sup>18</sup>National Nanotechnology Initiative, programme pluriannuel visant à financer la R&D dans tous les domaines d'application des nanotechnologies, lancé par le Président Bill Clinton en janvier 2000 (voir [www.nano.gov/](http://www.nano.gov/)).

<sup>19</sup>Bill Joy, directeur de la recherche chez Sun Microsystems, s'est rendu célèbre en publiant, en avril 2000, dans la revue Wired : « Why the future doesn't need us » (Pourquoi le futur n'a pas besoin de nous – sous-titré : « les technologies les plus puissantes de XXIème siècle : le génie génétique, la robotique et les nanotechnologies menacent d'extinction l'espèce humaine »)

<sup>20</sup>Voir notamment les auteurs de la mouvance Cyberpunk : William Gibson (Neuromancien), Bruce Sterling (Mozart en verres miroirs), Pat Cadigan (Les synthérétiques), Greg Bear (La musique du sang)... Dans une approche plus classique, on retiendra aussi le best-seller de Michael Chrichton, *The Prey* (2002 – publié en français sous le titre *La proie* en 2004), directement inspiré des thèses de Eric Drexler.

<sup>21</sup>Dans l'une des conférences de l'IHEST, le 12 janvier 2007, Dominique Wolton, Directeur de recherche en sciences de l'information et de la communication au CNRS, est venu débattre du rôle des scientifiques dans la communication de la recherche avec la société. Il a insisté sur les notions de responsabilité, « que chacun s'exprime en assumant son rôle », et de négociation : « une des découvertes récentes des SIC [Sciences de l'Information et de la Communication] c'est le fait que si le récepteur n'a pas envie d'entendre ou de comprendre, alors quel que soit le message et le canal utilisés, il n'entendra pas. Il est nécessaire de négocier la réception des messages ».

<sup>22</sup>Comme le recommande également le Comité Consultatif National d'Éthique pour les Sciences de la Vie et de la Santé (CCNE) dans son avis n°96 « Questions éthiques posées par les nanosciences, les nanotechnologies et la santé » (janvier 2007). Recommandation n°2 : « Accroître de manière urgente la recherche et le développement de la nanométrie pour concevoir et multiplier les instruments qui permettront de détecter et identifier les nanoparticules qui vont former des nanoobjets et des nanostructures, en particulier celles et ceux qui sont intentionnellement créés ».

<sup>23</sup>Initié par l'APHP, le dispositif des « espaces éthiques » est repris par le Comité d'éthique du CNRS (COMETS) dans son rapport intitulé « Enjeux éthiques des nanosciences et des nanotechnologies » (Octobre 2006). Recommandation n°4 : « Ouvrir des espaces éthiques dans les centres de recherches, qui soient des lieux de discussion, de débat, où chercheurs, ingénieurs et techniciens s'exercent à la prise de parole, au débat, avec la participation de spécialistes de sciences humaines et sociales. Ceci suppose une intégration progressive de chercheurs de ces disciplines dans les centres de compétence en nanosciences ».