

AVIS
ENJEUX ETHIQUES
DES NANOSCIENCES ET NANOTECHNOLOGIES

(rendu le 12 octobre 2006)

Site Internet : <http://www.cnrs.fr/fr/presentation/ethique/comets/index.htm>

ENJEUX ETHIQUES DES NANOSCIENCES ET NANOTECHNOLOGIES

L'essor de l'exploration, comme de la manipulation, de la matière à l'échelle atomique est perçu par beaucoup comme une révolution aux perspectives passionnantes, mais parfois inquiétantes. Le Comité d'éthique du CNRS (COMETS) a souhaité se saisir de ce sujet et formule ici un Avis, proposant à l'institution et à ses chercheurs pistes de réflexion et recommandations.

Cet Avis, visant essentiellement à sensibiliser la communauté des chercheurs aux dimensions éthiques de la recherche en nanosciences et nanotechnologies, ne cherche pas à décrire ce champ scientifique et technologique, comme le fait le rapport conjoint de l'*Académie des sciences* et de l'*Académie des technologies* (2004)¹.

Il n'a pas non plus l'ampleur du travail publié cette même année par la *Royal Society* et la *Royal Academy of Engineering*², lequel aborde en profondeur les aspects éthiques et sociaux de ce domaine.

Cet Avis laisse également de côté bien des aspects analysés ailleurs : les impacts sur la santé, en cours d'examen par le Comité consultatif national d'éthique pour les sciences de la vie et de la santé (CCNE), les impacts sur les équilibres géopolitiques, abordés par le Rapport de l'UNESCO³, ainsi que les problèmes de nature juridique, qui relèvent de la loi.

Prenant en compte le dynamisme de ce secteur de recherche et ses perspectives d'application, cet Avis voudrait favoriser chez les chercheurs concernés une prise de conscience tant dans leurs activités au sein du CNRS qu'en direction du public, afin que la liberté de la recherche, si fondamentale pour la créativité soit accompagnée d'un sens aigu des responsabilités individuelles et sociales.

¹ Académie des sciences et Académie des technologies, *Nanosciences, nanotechnologies*, Paris, Editions Tec&Doc, Rapport Science & Technologie N°18 - avril 2004.

² *Nanoscience, Nanotechnology: Opportunities and Uncertainties*, 2004, <http://www.nanotec.org.uk/>.

³ *Nanotechnology and Ethics*, 2006, www.unesco.org/shs/est

RESUME EXECUTIF

ENJEUX ETHIQUES DES NANOSCIENCES ET NANOTECHNOLOGIES

L'essor de l'exploration, comme de la manipulation, de la matière à l'échelle atomique est perçu par beaucoup comme une révolution aux perspectives passionnantes, mais parfois inquiétantes. Le Comité d'éthique du CNRS (COMETS) formule un Avis, proposant à l'institution et à ses chercheurs pistes de réflexion et recommandations.

I. Une réponse à la question : pourquoi une auto-saisine ? Cette saisine se justifie par les promesses et inquiétudes que suscitent les nanotechnologies et nanosciences et par le fait que le CNRS ne saurait se tenir à l'écart de la réflexion menée en amont sur leurs implications éthiques.

II. La nature des nanosciences et nanotechnologies. L'analyse de celles-ci met en évidence : une tension entre les deux aspirations en apparence contradictoires qui les sous-tendent : désir de contrôle et désir d'émergence ; l'aura de fiction dont elles s'accompagnent et qu'il faut prendre au sérieux ; la nécessité d'une vigilance éthique et sociale face à l'approche "nano", véritable **technologie générique** qui va affecter l'ensemble des secteurs de production.

III. Spécificités des nanosciences et nanotechnologies ? Certes "nano" est un slogan commode, mais trois nouveautés sont à prendre en compte : le contexte scientifique : la convergence Nano-Bio-Info-Cognitif ; le contexte politique : globalisation et compétition ; le contexte social : un public exigeant.

IV. Un aperçu des initiatives assez contrastées d'accompagnement éthique et social, développées dans d'autres pays européens : *Constructive Technology Assessment* (Pays-Bas) ; *Public Engagement in Science* (Grande-Bretagne) ; *Pour une symbiose entre science et culture* (Allemagne et France).

V. Pour une éthique appliquée aux nanosciences, ayant pour fondements : bonnes pratiques ; prévention des risques et précaution face aux incertitudes ; réflexion sur les valeurs et les fins.

Huit recommandations suivent, proposant un ensemble de mesures de vigilance éthique, afin de contribuer à l'élaboration d'une politique scientifique responsable, qu'il s'agisse du fonctionnement interne du CNRS ou de ses relations externes.

1. En vue d'une concertation, participer au rassemblement des parties intéressées par le développement d'un programme de recherche : industriels, associations de consommateurs, associations de malades, organisations non-gouvernementales, etc. Les avis de ces acteurs sont indispensables pour éclairer les instances décisionnelles sur les attentes du corps social.

Le CNRS, parce qu'il comprend toutes les disciplines fondamentales et qu'il se préoccupe des applications, se doit de jouer un rôle moteur dans cette concertation.

2. Inclure la préoccupation envers l'éthique de la recherche, à plusieurs niveaux dans la carrière des chercheurs – formation initiale, évaluation, formulation des projets de recherche.

3. Réaliser pour les chercheurs des petits guides sur l'éthique, ou dossiers synthétisant dans un langage accessible les résultats des nombreuses études existantes.

4. Ouvrir des *espaces éthiques* dans les centres de recherches, qui soient des lieux de débat, où chercheurs, ingénieurs et techniciens s'exercent à la prise de parole et à l'échange, avec la participation de chercheurs en sciences humaines et sociales.

5. Stimuler l'intérêt des chercheurs en sciences humaines et sociales pour le domaine des nanosciences et nanotechnologies.

6a. Mettre en place des procédures pour le repérage et l'arbitrage des conflits d'intérêts dans les relations avec l'industrie ;

6b. Assurer la transparence des sources de financement et, si possible, des résultats dans les projets conjoints conduits entre le CNRS et l'industrie.

7. Concernant les relations avec le public :

- présenter les bienfaits attendus des nanosciences et nanotechnologies sans occulter les méfaits possibles ;

- mettre davantage l'accent sur les conséquences de ces recherches pour l'homme, sur les enjeux liés au choix des nanosciences comme priorités scientifiques ; et, si possible, ne pas se limiter aux enjeux économiques et industriels ;

- oser prendre en considération les enjeux à très long terme, en aidant à identifier les fantasmes qu'ils peuvent susciter.

8. Mettre en place des instances de dialogue et/ou participer aux débats citoyens organisés à l'échelle locale, nationale, européenne et internationale.

SOMMAIRE

I. Pourquoi une auto-saisine ?

I.1- Promesses et inquiétudes

I.2 - Des initiatives de dialogue

II. Remarques préliminaires

II.1- Comment définir les nanosciences et nanotechnologies ?

II.2- Une tension entre émergence et contrôle

II.3- Un discours futuriste

II.4- Une technologie générique

III. Quoi de neuf dans les nanosciences et les nanotechnologies ?

III.1- “Nano”, un slogan racoleur ?

III.2- Trois nouveautés à prendre en compte :

- *le contexte scientifique : la convergence NBIC*
- *le contexte politique : globalisation et compétition*
- *le contexte social : un public exigeant*

IV. Trois modèles complémentaires : Constructive Technology Assessment ; Public Engagement in Science ; Pour une symbiose entre science et culture

V. Qu'est-ce qu'une éthique appliquée aux nanosciences et aux nanotechnologies ?

V.1- Bonnes pratiques

V.2- Prévention et précaution :

- *prévention des risques*
- *précaution face aux incertitudes*

V.3- Réflexion sur les valeurs et les fins

- *des valeurs implicites à dégager*
- *questions de sens*

VI. Recommandations

Annexe - Trois exemples d'initiatives d'accompagnement éthique de la recherche

I. Pourquoi une auto-saisine ?

Explorer les propriétés de la matière à l'échelle de quelques atomes, la manipuler à cette échelle, découvrir les propriétés nouvelles qui surgissent alors, telles sont les perspectives offertes par les nanosciences et les nanotechnologies. L'entreprise a de quoi fasciner chercheurs et ingénieurs. Depuis une vingtaine d'années, l'essor des nanosciences et nanotechnologies, tant dans la recherche que plus récemment dans l'industrie, est accompagné d'une littérature qui en exalte les promesses, comme les dangers. La présence de scénarios de prospective – voire de fiction (*cf. le grey goo*⁴) – dans les rapports de politique scientifique ou demandes de financement est l'une des originalités des nanosciences et nanotechnologies, qui bouleversent le partage traditionnel entre littérature scientifique et littérature populaire.

I.1- Promesses et inquiétudes

Les espoirs portés par les nanotechnologies quant à la solution des problèmes d'environnement, d'énergie, de santé et de sécurité sont ainsi mis en balance avec des risques ou dangers potentiels dans ces mêmes domaines :

- les prouesses médicales (médicaments ciblés par exemple) contrastent avec les risques toxicologiques que pourraient présenter les nano-objets pour la santé et l'environnement ;
- les promesses de contrôle et d'aide à la traçabilité sont assorties de menaces potentielles pour la liberté individuelle et la vie privée – surveillance invisible, faite à l'insu des personnes ;
- les espoirs d'augmenter la longévité et les performances humaines, physiques ou intellectuelles, soulèvent des questions relatives au respect de la dignité humaine autant que des problèmes sociaux ;
- les nombreuses applications militaires envisagées pourraient profondément modifier les stratégies actuelles de sécurité collective ;
- enfin, des innovations technologiques, encore difficiles à imaginer, sont susceptibles de bouleverser les rapports économiques et géopolitiques.

C'est dire que, dès les premiers pas, les nanosciences et nanotechnologies se présentent comme un domaine de recherche extrêmement stimulant, qui peut avoir un fort impact sur la société et la vie quotidienne, avec des effets aussi importants qu'ambivalents.

Une attitude résolument triomphaliste, négligeant ou minimisant les risques sanitaires ou environnementaux inhérents aux nanotechnologies⁵, risquerait de passer pour de l'aveuglement aux yeux du public, déjà largement sensibilisé par les médias aux problèmes

⁴ Il s'agit d'un scénario-catastrophe imaginé par Eric K. Drexler dans *Engines of Creation* (1986, trad. fr *Engins de création*, Paris, Vuibert, 2005). Des nanorobots auto-reproducteurs, nécessaires au fonctionnement de la manufacture moléculaire, se répliquent jusqu'à consommer toutes les ressources de la planète et ne laisser subsister qu'une "gelée grise" (*grey goo*). En juin 2004, Drexler a publiquement regretté d'avoir inventé ce scénario qu'il juge inutile, voire nuisible, au développement des nanotechnologies. "I wish I had never used the term 'grey goo' " ("Je souhaiterais n'avoir jamais utilisé ce terme de gelée grise") (*Nature*, 10 juin 2004).

⁵ On note néanmoins l'engagement des clubs ECRIN sur ce point.

soulevés par les nanotechnologies. Elle contribuerait à creuser le fossé entre la recherche et l'opinion publique.

1.2- Des initiatives de dialogue

Quand les initiatives de tous bords se multiplient pour favoriser le dialogue avec la société et intégrer un grand nombre de parties intéressées – chercheurs, industriels, citoyens, organisations non-gouvernementales – dans la définition et l'organisation des programmes de recherche, les acteurs de la recherche et les organismes qui la structurent se doivent de prendre les mesures nécessaires pour favoriser une bonne gouvernance. Or, celle-ci est fondée sur le principe que la responsabilité est le corollaire obligé de la liberté revendiquée par les chercheurs pour explorer le champ de tous les possibles.

Plusieurs des pays qui ont investi dans les nanotechnologies ont mis en place des structures, voire des financements importants, pour analyser les impacts environnementaux, sociaux, juridiques des nanosciences et nanotechnologies. La problématique ELSA (pour *Ethical, legal and societal aspects*) accompagne la recherche en amont – aux Etats-Unis, aux Pays-Bas, et au Danemark par exemple –, et les tentatives se multiplient pour intéresser, voire engager, le public dans la discussion de la politique scientifique concernant les nanosciences et nanotechnologies, en Grande-Bretagne notamment⁶. Cette démarche pro-active et non plus réactive, comme ce fut le cas pour le développement de programmes sur les organismes génétiquement modifiés (OGM), qui servent souvent de modèle à éviter, peut inaugurer une nouvelle gestion de la recherche scientifique et de ses rapports avec la société.

Le CNRS ne saurait se tenir à l'écart de la réflexion menée en amont sur les implications éthiques et sociales, sur les risques et les effets déstabilisateurs de ces innovations technologiques. Déjà, la création de la section 43 du Comité national « Impacts sociaux des nanotechnologies » peut constituer un pas important dans cette voie. Mais il faut aller plus loin, pour prendre en compte les aspects proprement éthiques des nanosciences et des nanotechnologies. C'est pourquoi le COMETS s'est auto-saisi de cette question.

L'objet de cet Avis est double :

- dégager les raisons pour lesquelles les nanosciences et nanotechnologies méritent une attention particulière dans un contexte éthique ;
- proposer quelques recommandations pour une gestion de la recherche plus soucieuse de ses dimensions éthiques et sociales : en interne au CNRS, dans la formation et l'évaluation des chercheurs, comme en externe, dans les relations avec la société civile. Ces quelques orientations pourraient servir d'exemples pour d'autres champs scientifiques.

⁶ Roco, M., Bainbridge W.S, *Societal Implications of Nanoscience and Technology*, Dordrecht, Boston, Kluwer Academic Publishers, 2001. Comme exemple de tentative d'engagement du public, voir le "nanojury" réuni en Grande-Bretagne (de mai à sept. 2005) www.nanojury.org.

II. Remarques préliminaires

Une approche éthique des nanosciences et nanotechnologies soulève plusieurs difficultés qu'il convient d'énoncer dès l'abord, afin de clarifier notre analyse.

II.1 - Comment définir les nanosciences et nanotechnologies ?

Définir le champ de recherche "Nanosciences et nanotechnologies" n'est pas chose aisée. Le rapport de la *Royal Society* et de la *Royal Academy of Engineering* précise qu'il a fallu des séances entières de réunion avant de s'entendre sur une définition de ce champ.

Le préfixe "nano" fait référence à une échelle de grandeur – le milliardième de mètre – n'impliquant aucune affiliation disciplinaire. Un coup d'œil sur la liste des laboratoires participant aux initiatives "nano" à l'échelle régionale, nationale ou européenne, montre l'hétérogénéité des disciplines concernées : depuis la physique fondamentale, l'électronique, l'optique, la chimie, l'électrochimie, la science des matériaux, la robotique, les technologies de l'information, jusqu'à la biologie et la médecine. Il faut donc préciser ce que le COMETS entend par nanosciences et nanotechnologies, pour tenter de dégager le sens de ces grandes initiatives de recherche.

Nous adopterons ici les définitions plus précises données dans les rapports préparés au Royaume-Uni et aux Etats-Unis⁷. La *Nano-Initiative* lancée aux Etats-Unis en l'année 2000 se fonde sur la définition suivante :

*Working at the atomic, molecular and supra-molecular levels, in the length scale of approximately 1 – 100 nm range, in order to understand, create and use materials, devices and systems with fundamentally new properties and functions because of their small structure*⁸.

que nous traduisons par :

Travailler aux échelles atomiques, moléculaires et supra-moléculaires, approximativement entre 1 et 100 nanomètres, afin de comprendre, créer et utiliser des matériaux, des dispositifs et des systèmes possédant fondamentalement de nouvelles propriétés et fonctions à cause de leur petite taille.

La définition du rapport britannique va dans le même sens, mais distingue science et technologie :

*Nanoscience is the study of phenomena and manipulation of materials at atomic, molecular and macromolecular scales, where properties differ significantly from those at a larger scale. Nanotechnologies are the design, characterisation, production and application of structures, devices and systems by controlling shape and size at nanometre scale*⁹.

que nous traduisons par :

La nanoscience est l'étude des phénomènes et la manipulation de matériaux aux échelles atomiques, moléculaires et macromoléculaires, où les propriétés diffèrent significativement de celles observées à plus grande échelle.

⁷ Faute d'avoir trouvé une définition dans le rapport français publié par les deux Académies.

⁸ Roco, M.C. Bainbridge W., Alivastos, P. (2000), *Nanotechnology [NT] Research Directions*. IWGN Interagency Working Group on Nanoscience Workshop Report, Dordrecht, Boston, Kluwer, p. 3.

⁹ *Royal Society & Royal Academy of Engineering* (2004) *Nanoscience and Nanotechnologies. Opportunities and Uncertainties*, <http://www.nanotec.org.uk/>, chapter 2.

Les nanotechnologies recouvrent la conception, la caractérisation, la production et l'application de structures, de dispositifs et de systèmes par un contrôle de la forme et de la taille exercé à l'échelle nanométrique.

Plusieurs points méritent d'être soulignés dans ces définitions :

❖ La référence à l'échelle de grandeur est primordiale, quoiqu'insuffisante. Elle indique en effet que le champ des nanosciences et nanotechnologies traverse les partages disciplinaires qui structurent l'organisation actuelle de la recherche. Les nanosciences et nanotechnologies impliquant aussi bien la chimie, la physique, la biologie, que les sciences de l'information et la science des matériaux, requièrent une organisation originale des recherches. Ce style de recherche résolument pluridisciplinaire peut bousculer les systèmes traditionnels d'accréditation et d'évaluation des chercheurs¹⁰, comme cela s'est souvent produit dans le passé, lors de l'apparition de nouveaux champs de recherche.

❖ La distinction entre science et technologie tend à s'effacer, même si le rapport britannique comme le rapport français de l'Académie des sciences et de l'Académie des technologies la maintiennent. Nous maintenons également une distinction entre science et technologie dans le présent Avis, car nos entrevues avec des chercheurs du CNRS, travaillant dans ce domaine, ont fait apparaître que les finalités cognitives – comprendre les phénomènes à l'échelle “nano” et utiliser les nanotechnologies comme outils d'exploration – étaient leur motivation première. Mais que la recherche soit orientée vers les applications ou qu'elle soit plutôt à finalité cognitive, dans les deux cas, les unités de matière – atomes, molécules, macromolécules – sont considérées comme des unités fonctionnelles (dispositifs ou parfois machines), susceptibles d'exercer une ou plusieurs fonctions, telles que moteurs, rotors, etc... La brochure *Focus* du CNRS sur *Les nanosciences* (septembre 2005) insiste particulièrement sur l'importance des fonctionnalités :

« Construire, comprendre, contrôler la fonctionnalité des nano-objets ou d'empilements de nano-objets, ceux que la nature fournit, ceux que le scientifique élabore atome par atome ou découpe au 'scalpel nanométrique' d'extrême précision, est un projet essentiel de la science en ce début de XXI^e siècle¹¹. »

II. 2 - Une tension entre émergence et contrôle

Les définitions courantes révèlent en outre que les nanosciences et nanotechnologies sont sous-tendues par deux aspirations, en apparence contradictoires :

¹⁰ A cet égard il faut noter que ce décloisonnement est sous-estimé dans le rapport conjoint de l'Académie des sciences et de l'Académie des technologies qui se structure selon des catégories traditionnelles en trois parties : 1) nanochimie, 2) nanophysique, 3) nanotechnologies.

¹¹ CNRS *Focus*, *Les nanosciences*, sept 2005, p. 6.

- ❖ D'un côté, l'émergence de nouvelles propriétés à l'échelle du nanomètre – du fait de l'importance des surfaces et interfaces, notamment – est une raison d'être des nanosciences comme des nanotechnologies. A l'échelle nanométrique même une molécule aussi familière que le carbone en vient à constituer un monde nouveau, étrange. Tout comme au début du XX^e siècle les physiciens se pensaient comme *conquistadores* d'un monde nouveau - celui des atomes et des électrons - les chercheurs du début du XXI^e siècle sont les explorateurs d'une *terra incognita*¹², dont ils attendent, espèrent des révélations autant que des applications pratiques. Et la métaphore du Nouveau Monde sert aussi le projet des entrepreneurs soucieux d'attirer le *venture capital*.
- ❖ D'un autre côté, la notion de contrôle en précision (le "scalpel nanométrique") est aussi essentielle. Il s'agit, pour une part, d'un contrôle au sens d'une connaissance fine de l'organisation de la matière qui résulte des possibilités techniques offertes par de nouveaux instruments travaillant à l'échelle nanométrique. Voici, en effet, un domaine de recherche qui s'est constitué principalement grâce à des inventions instrumentales. Dans les années 1980, le microscope à effet tunnel (STM pour *Scanning Tunnelling Microscope*¹³) a permis de voir et manipuler des atomes sur une surface, tout comme le microscope à force atomique (AFM pour *Atomic Force Microscope*) ; puis au début des années 1990, les pinces optiques avec faisceau laser ont permis de piéger les atomes froids, et de les confiner dans un petit volume.
Il s'agit, d'autre part, d'un contrôle au sens de maîtrise de la matière grâce à l'accès aux briques élémentaires. Le slogan "*shaping the world atom by atom*" (façonner le monde atome par atome), qui lança les programmes aux Etats-Unis, s'attache certes essentiellement à la démarche ascendante (*bottom-up*) plutôt qu'à la démarche descendante (*top-down*) telle que la gravure, qui domine encore les nanotechnologies. Mais la volonté de contrôler inspire les recherches sur le nanomonde, qu'elles soient à finalité cognitive ou technique.

Ces recherches conjuguent ainsi deux modèles de rationalité : l'une est axée sur les phénomènes d'émergence et la complexité ; l'autre est axée sur la décomposition analytique, le contrôle et la maîtrise par l'élémentaire. D'où une tension sourde entre deux aspirations : **un désir d'émergence** qui suppose l'imprévu, la surprise, et un **désir de contrôle** qui suppose la maîtrise de l'univers à l'échelle la plus petite. Cette dualité, perceptible dans les motivations des chercheurs, se traduit dans les programmes de recherche par des formules qui reviennent à vouloir prévoir l'imprévisible¹⁴. Elle suscite des échos manifestes dans les

¹² Voir par exemple, dans le rapport conjoint de l'Académie des sciences et de l'Académie des technologies : « On entre ainsi dans un monde nouveau où les concepts de la physique macroscopique sont caducs [...]. C'est là une véritable révolution conceptuelle, qui naturellement ouvre à la physique une *terra incognita* fascinante. Mais c'est aussi l'amorce d'une révolution technologique, ouvrant la voie à des applications futuristes ». (op. cit. note 1, p. xix-xx).

¹³ Dès le départ, les enjeux scientifiques et industriels sont intriqués, puisque le microscope à effet tunnel (STM) fut inventé et mis au point dans un laboratoire industriel, celui de la société IBM à Zurich, ce qui valut à Binnig et Rohrer un Prix Nobel en 1986. Depuis lors, les intérêts commerciaux, industriels et cognitifs sont toujours étroitement enchevêtrés.

¹⁴ Par exemple on peut lire dans un rapport de la *Fondation canadienne pour l'innovation* : « On prévoit que les nanosciences et les nanotechnologies connaîtront des applications dans de nombreux domaines à l'avenir. Ces

attitudes du public à l'égard des nanosciences et des nanotechnologies. La cohabitation d'espoirs immodérés d'amélioration des conditions de vie et de craintes d'apparition de mécanismes incontrôlables est le trait dominant qui ressort des consultations publiques.¹⁵

II.3 - Un discours futuriste

Bien que les recherches en nanosciences et nanotechnologies se soient considérablement développées depuis vingt ans, la plupart des réalisations envisagées sont largement futuristes : des promesses de médicaments vectorisés et ciblés, de systèmes invisibles de surveillance, de nanopoussières, de nanorobots... Les visions de science-fiction ont joué un rôle moteur indéniable dans le lancement des initiatives de recherche, même si la plupart des chercheurs tendent aujourd'hui à prendre leur distance à l'égard des spéculations.

Certes, ce n'est pas la première fois que le rêve et la fiction accompagnent une science émergente. La physique nucléaire et la conquête de l'espace ont suscité, en leur temps, bien des scénarios de fiction qui ont eu pour effet, non seulement de stimuler l'enthousiasme, mais aussi d'inscrire ces recherches dans la culture. Mais quel rôle accorder à de tels scénarios dans une réflexion éthique portant sur les nanosciences et nanotechnologies ? D'un côté, la réflexion sur les aspects éthiques, légaux et sociaux risque de verser dans les promesses béates ou les scénarios-catastrophes, parce que l'on ne peut raisonner sur des cas concrets, comme dans la plupart des problèmes de bio-éthique ou d'éthique médicale. Mais, d'un autre côté, l'on est forcé de raisonner sur des possibles, d'imaginer des scénarios futuristes, pour être en mesure d'anticiper les conséquences et de réguler le développement des nanosciences et nanotechnologies. Il faut donc prendre au sérieux cette aura de fiction qui a plusieurs fonctions essentielles :

- une fonction épistémologique en situation d'incertitude, analogue à celle des expériences de pensée ;
- une fonction heuristique dans la mesure où les efforts entrepris pour prouver qu'il s'agit de fantasmes sans fondement éclairent bien souvent les principes à l'œuvre dans les nanotechnologies¹⁶ ;
- une fonction d'intéressement au sens où elle attire les investissements ;
- une fonction régulatrice au sens où elle oriente les attentes ou les répulsions, et modifie la prise de conscience des problèmes ;
- une fonction sociale car elle peut servir d'amorce à un dialogue entre chercheurs et public, dans la mesure où les interrogations du public portent le

applications continueront d'évoluer et on prévoit que de nombreuses possibilités inattendues surgiront à mesure que la connaissance du potentiel des nanotechnologies se répandra dans tout l'éventail de la recherche » Innovation Canada, Rapport sur les discussions lors des ateliers sur les nanotechnologies, <http://www.innovation.ca/>

¹⁵ Voir le rapport DEMOS, Matthew Kearnes, Phil Macnaghten, James Wilsdon, *Governing at the Nanoscale. People, policies and emerging technologies*, London, DEMOS, April 2006, www.demos.co.uk

¹⁶ L'illustre de manière exemplaire la controverse menée par Richard Smalley ou Richard Jones contre le scénario du *grey goo* proposé par Eric Drexler.

plus souvent sur le long terme et le genre de vie associé aux nouvelles technologies.

II.4 - Une technologie générique

D'une certaine manière, les problèmes éthiques, légaux et sociaux soulevés par les nanosciences et nanotechnologies n'ont rien d'original. Par exemple, les atteintes à la liberté des individus, et à la vie privée, qui sont liées aux nanocapteurs-actionneurs et nanorobots sont déjà rendues possibles par les microtechnologies de l'information et de la communication ou les RFID¹⁷. De même, en matière de sécurité, les risques des nanopoussières ne sont pas foncièrement différents des risques liés par exemple à l'amiante ou aux métaux lourds.

Le préfixe "nano" peut s'appliquer à de multiples domaines. Le texte de la *US Nano-Initiative*, en 2000, prophétisait une révolution technologique et industrielle, parce que tout comme l'invention de la machine à vapeur ou celle de l'ordinateur, l'approche "nano" peut virtuellement changer le mode de production de tout objet technique, depuis les automobiles et les circuits électroniques jusqu'aux techniques médicales, et peut même finalement donner naissance à de nouveaux objets. Il s'agit donc d'une **technologie générique**, qui va affecter l'ensemble des secteurs de production, depuis l'agriculture jusqu'à l'industrie aéronautique ou automobile, en passant par l'industrie militaire, la sécurité civile, la pharmacie et la médecine. C'est précisément parce que les nanotechnologies « potentialisent¹⁸ » ou redéfinissent les pouvoirs de chaque technologie, que les questions éthiques en jeu sont plus aiguës et moins balisées. De ceci découle la nécessité d'une vigilance éthique et sociale.

III. Quoi de neuf dans les nanosciences et les nanotechnologies ?

Si les nanosciences et les nanotechnologies n'ont de rien de spécifique, apportent-elles au moins une véritable nouveauté ? Les débats actuels soulèvent invariablement cette question de la nouveauté. Faut-il vraiment alerter et mobiliser les médias, et le public, alors que les scientifiques travaillent et progressent comme de coutume ?

III.1 - "Nano", un slogan racoleur ?

Pour bien de chercheurs que nous avons interrogés, "nano" ne serait qu'un slogan dont ils habillent leurs recherches en chimie supramoléculaire, science des matériaux, biotechnologies ou électronique... afin d'obtenir une petite part des fonds alloués par les nano-initiatives nationales ou européennes. D'où, la définition parodique des "nanos" comme poule aux œufs

¹⁷ RFID : *Radio Frequency Identification Device* (Dispositif d'identification par radio fréquence).

¹⁸ En anglais, on parle de "*enabling technologies*". Les nanosciences et nanotechnologies repotentialisent l'informatique, laquelle avait déjà potentialisé (c'est-à-dire *donné un potentiel nouveau*) un vaste ensemble de pratiques techniques et sociales.

d'or : « *Nano is a tiny manufactured prefix engineered into funding proposals to exploit the unusually generous properties of science funds occurring at the nano-scale*¹⁹. »

Pourquoi faudrait-il changer nos habitudes de recherche, si les prétentions révolutionnaires des promoteurs des nanosciences et des nanotechnologies ne sont que des formules rhétoriques, destinées à attirer l'attention et les investissements ? Après tout, travailler avec des molécules, n'est-ce pas la continuation de l'entreprise multiséculaire des chimistes ? N'est-il pas vrai aussi que l'association étroite entre science et technologie, la fonctionnalisation des matériaux, sont déjà un paradigme dominant dans la science et le génie des matériaux depuis quarante ans ? De plus, la science des matériaux et bien d'autres disciplines émergentes, comme les sciences cognitives ou les sciences de l'environnement, ont déjà installé la multidisciplinarité dans l'organisation de la recherche.

Certes, l'on peut – et l'on doit – critiquer les usages excessifs de la notion de “révolution” et rappeler qu'aucune nouvelle technologie n'est radicalement nouvelle. Mais, cela ne veut pas dire qu'elle ne pose pas des problèmes nouveaux, dans le contexte précis où elle émerge. Or, la recherche en nanosciences et nanotechnologies ne se développe pas dans un vide scientifique, politique, et social.

III.2 - Trois nouveautés à prendre en compte :

❖ *le contexte scientifique : la convergence NBIC*

La nouveauté se manifeste d'abord dans la nature des questions et motivations. Le champ des nanosciences et nanotechnologies ne procède vraiment ni d'une volonté d'obtenir une meilleure représentation de la nature – comme le fait par exemple la théorie de la relativité – ni d'une volonté d'inventer des machines ou dispositifs plus efficaces²⁰. C'est une motivation qui semble beaucoup plus pragmatique : l'accès à une échelle de grandeur ouvre un éventail de phénomènes et de possibilités à exploiter, qui sont démultipliées par l'existence d'une convergence entre plusieurs secteurs de recherche.

En effet, les nanosciences et nanotechnologies croisent les techniques et intérêts d'autres secteurs de la recherche qu'elles mobilisent à leur tour :

- les biotechnologies : le vivant élabore ses structures à l'échelle nanométrique et fournit un éventail considérable de nanomachines ou nanoprocessus pouvant servir de modèles (biomimétisme) autant que de ressources (hybridation) pour des dispositifs techniques ;
- les sciences de l'information et de la communication : la course à la miniaturisation – encouragée par la fameuse loi de Moore – atteindra bientôt les limites de la gravure sur silicium et incite à la réalisation d'ordinateurs quantiques ;
- les sciences cognitives : les neurosciences, qui traitent le cerveau comme un ensemble de connexions neuronales, et la recherche en intelligence artificielle reposent sur le même postulat de nanomachines capables d'accomplir des tâches spécifiques.

¹⁹ “Nano” est un minuscule préfixe introduit dans les demandes de fonds afin d'exploiter la générosité inhabituelle des fonds scientifiques affectés à l'échelle nanométrique”. Cité dans le rapport du groupe ETC *NanoGeopolitics*. 2005.

²⁰ Voir A. Nordmann « *Molecular Disjunctions : Staking claims at the nanoscale* » in D. Baird et al (eds) *Discovering the Nanoscale*, Amsterdam, Berlin, IOS Press, 2004, 51-62.

La convergence de ces domaines, souvent désignée par l'acronyme *NBIC* (pour *Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*) est à la fois le constat d'un état de fait, et un programme ambitieux officiellement promu aux Etats-Unis²¹. Il vise à rien de moins qu'à l'unification des sciences et à l'accroissement des performances humaines, grâce à des effets de synergie entre les quatre composantes. Ainsi, du fait de ces convergences, un programme de recherches, apparemment bien délimité, peut-il prendre un sens global, qui dépasse les intentions ou finalités de ceux qui le conduisent. Alors que la parcellisation des recherches tendait à déresponsabiliser les chercheurs, en les concentrant sur un problème particulier, isolable d'un contexte, la convergence entre plusieurs champs de recherche tend, à l'inverse, à concevoir les recherches en association avec un milieu naturel ou technique, et même à les penser d'emblée en lien avec des usagers²².

❖ *Le contexte politique : globalisation et compétition*

Outre les possibilités offertes par l'avancement des connaissances, ce sont aussi des décisions de politique scientifique qui ont présidé à l'émergence des nanotechnologies²³. Le concept même de nano-initiative traduit bien les volontés politiques qui ont impulsé les efforts de recherche nécessaires pour explorer et conquérir le nanomonde. Depuis les premiers programmes formés dans les années 1990 au Japon, comme en Europe, puis avec la nano-initiative lancée par le président Clinton, en 2000 aux Etats-Unis, l'on observe une course effrénée qui implique aujourd'hui trente-cinq pays – incluant la Corée du Sud, la Chine, le Brésil –, ainsi qu'une surenchère d'investissements. A l'évidence, les nanosciences et technologies sont considérées comme un domaine hautement stratégique, tant pour maintenir la compétitivité et l'emploi dans les pays développés, que pour répondre au grand défi de conjuguer le maintien d'une activité économique raisonnable avec les exigences du développement durable. Le programme national français, lancé en 2003, s'inscrit dans cette course en s'insérant dans l'espace européen de la recherche.

Or, les volontés politiques qui encouragent ces recherches, dans un climat de compétition exacerbée, diffèrent sensiblement de la volonté politique qui présida à la création du CNRS en 1939²⁴, ou à tout le moins de la traduction qui en fut rapidement donnée dans les faits. Il s'agissait alors – dans la vision des fondateurs et sans ignorer la recherche appliquée – de

²¹ M. Roco et William Sims Bainbridge, eds *Converging Technologies for Improving Human Performance Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science NSF/DOC-sponsored report National Science Foundation* June 2002 Arlington, Virginia. Sur la convergence, voir également le rapport effectué pour la Commission européenne par un groupe d'experts de haut niveau : *Converging Technologies-Shaping the future of European Societies* (rapporteur A. Nordmann, 2004).

²² Telle est par exemple la mission des "labos à idées" (*ideas labs*) du projet Minatec à Grenoble.

²³ A cet égard, le cas des nanosciences et nanotechnologies est analogue à celui de l'émergence de la science des matériaux, dans les années 1960. Et l'analogie concerne également l'hybridation entre science et technologie. Voir Bernadette Bensaude-Vincent, "*The Construction of a Discipline : Materials Science in the U.S.A.*", *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 31, part 2, 2001, 223-248. « *Materials Science : A field about to explode ?* », *Nature Materials*, 3, N°6, June 2004, 345-46.

²⁴ Sur la rupture avec l'idéal de la science pure voir Ann Johnson, "*The End of Pure Science: Science policy from Bayh-Dole to the NNI*", in *Discovering the Nanoscale*, D. Baird, A. Nordmann, J. Schummer eds, Amsterdam, IOS Press, 2004, pp. 217-230.

créer un corps de chercheurs voués à des recherches fondamentales²⁵ à temps plein et agissant de manière autonome suivant leurs propres problématiques, avec leurs propres normes d'évaluation.

Aujourd'hui, les programmes de recherche sont en prise directe sur l'actualité économique, sociale, médicale, politique.²⁶ Ce brouillage de la frontière entre science fondamentale et science appliquée a mis en lumière la nécessité de contacts plus étroits et plus directs entre les secteurs académiques et les secteurs de production de biens et de services, tant dans la production des connaissances que dans la formation. Une autre conséquence de ce processus est l'exposition à des questions éthiques, liées à l'usage généralisé dans la société de certains produits incorporant des connaissances théoriques récentes et développées pour elles-mêmes, par des secteurs de recherche académique qui n'étaient pas habitués à de tels courts-circuits.

Cette situation générale est particulièrement marquée dans les nanotechnologies. Les applications des nano-objets à l'électronique, la photonique, le transport, la santé, la sécurité etc. ont été envisagées et abondamment énumérées, avant même d'être réalisables ou même possibles. Ainsi, s'est créé un horizon d'attentes qui certes favorise les financements publics et les investissements privés dans les nano-initiatives, mais qui met la recherche sous de telles pressions, que l'on ne peut plus vraiment parler d'autonomie des chercheurs.

❖ *le contexte social : un public exigeant*

Au niveau social, les nanosciences et nanotechnologies se développent dans le cadre de sociétés déjà sensibilisées aux problèmes que posent certains choix scientifiques et technologiques. Des crises récentes – comme celles dues aux accidents dans le nucléaire et la chimie, ou au refus des organismes génétiquement modifiés – ou bien des problèmes nouvellement mis en lumière – comme le réchauffement climatique –, ont fait naître une triple exigence :

- de transparence : les sociétés porteuses d'aspirations démocratiques ne peuvent tolérer que des experts ne divulguent pas, voire dissimulent, les informations dont ils disposent lorsqu'elles peuvent avoir un impact sur la santé ou l'environnement. La transparence conditionne la confiance que le public accorde à la science et la technologie.
- De responsabilité : les recherches publiques étant financées par les contribuables, les chercheurs sont confrontés à l'obligation de rendre des comptes et d'exposer dans un langage clair et accessible, non seulement les résultats de leurs recherches, mais la conscience qu'ils ont de leurs implications éventuelles pour la vie des citoyens et pour la société en général.

²⁵ Le décret du 22.11.1939, intitulé *Centre national de la recherche scientifique*, précise que le CNRS comprend "une section de recherche pure" et "une section de recherche appliquée". De fait, après 1945, la première prendra rapidement le pas sur la seconde.

²⁶ Sur l'évolution de l'organisation de la recherche voir Michael Gibbons, Camille Limoges, Helga Nowotny, Simon Schwartzman, Peter Scott, Martin Trow, *The new production of knowledge - the dynamics of science and research in contemporary societies*, London: Sage, 1994. Helga Nowotny, Peter Scott et Michael Gibbons, *Rethinking Science*, London : Polity : Blackwell publishers, 2001. *Repenser la science : savoir et société à l'ère de l'incertitude*, Paris, Belin, 2003. Pestre Dominique, *Science, argent et politique*, Paris, INRA, 2003.

- de gouvernance : les controverses et débats publics des dix dernières années ont suffisamment révélé qu'il ne suffit pas de se préoccuper de l'acceptabilité par la société civile des innovations technologiques – au moyen d'enquêtes, de campagnes d'information – ; ni même de réglementer leur commercialisation par des normes. La concertation entre les décideurs et le public s'est imposée en amont de la recherche-développement. Cette démarche pro-active et non plus réactive vise à associer le plus grand nombre possible de parties intéressées pour que chercheurs et décideurs puissent réguler le cours des recherches, en fonction de la désirabilité des innovations techniques et pas seulement de leur acceptabilité.

Ces trois exigences démocratiques générales s'imposent avec plus de force encore dans le cas des nanosciences et nanotechnologies. En effet, celles-ci nous concernent tous dans la vie quotidienne – santé, vie privée, sécurité collective – et sont des techniques invasives et invisibles, qui éveillent par conséquent vigilance, voire inquiétude, ou même soupçon.

IV. Trois modèles complémentaires

Avant d'esquisser ce que pourrait être une éthique des nanosciences et nanotechnologies au CNRS, il peut être utile de donner un aperçu des initiatives d'accompagnement éthique et social, développées en d'autres pays européens. Plutôt que de tenter un tour d'horizon nécessairement lacunaire, trois modèles d'intervention assez contrastés ont été retenus ici, et sont présentés de façon plus détaillée en annexe. Il s'agit de :

- ❖ *Constructive Technology Assessment*. Cette approche, développée aux Pays-Bas, recherche une innovation responsable et une gouvernance des sciences et techniques, entendue non comme une action de haut en bas (*top-down*) mais comme un arrangement entre les multiples acteurs.
- ❖ *Public Engagement in Science*. Surtout développée au Royaume-Uni, cette approche a une orientation beaucoup plus politique et sociale, et mobilise un vaste éventail d'acteurs. Elle veut repérer attentes et craintes du public, encourager un programme cohérent de dialogue entre la société et les chercheurs, s'assurer que les informations obtenues sont prises en compte dans les processus de décision.
- ❖ *Pour une symbiose entre science et culture*. Cette dernière approche, surtout développée en Allemagne et en France, a une orientation plus éthique et philosophique. Il s'agit de dégager le sens des programmes de recherche, en mettant à jour les représentations et valeurs qui sous-tendent les pratiques des chercheurs.

Avec leurs orientations diverses, ces trois modèles nous paraissent intéressants et complémentaires. Des trois, nous voudrions tirer des leçons, pour esquisser ce que pourrait être une éthique appliquée aux nanosciences et nanotechnologies.

V. Qu'est-ce qu'une éthique appliquée aux nanosciences et aux nanotechnologies ?

Comme mentionné plus haut, la plupart des problèmes éthiques soulevés par les nanosciences et nanotechnologies ne sont pas une exclusivité de ce secteur. Toutefois, le développement rapide des nanosciences et nanotechnologies et la mobilisation qu'elles suscitent conduisent à affronter ouvertement des questions plus ou moins latentes ou

rampantes en d'autres domaines de la recherche. Enfin et surtout, les nanosciences et nanotechnologies déploient un large éventail de questions éthiques.

V.1 - Bonnes pratiques

L'*ethos* qui régit les communautés scientifiques et spécifie quel doit être le comportement du chercheur en matière de publication, d'évaluation, etc. demeure d'actualité²⁷. Pourtant ces règles de base – universalisme, communalisme, désintéressement, scepticisme organisé – se trouvent de moins en moins praticables, étant donné le climat de compétition et les enjeux industriels et militaires qui sous-tendent la recherche en nanosciences et nanotechnologies et qui en font un domaine hybride. Cette situation conduit à repenser la déontologie de la recherche. En effet, un chercheur CNRS engagé dans une aventure industrielle ou commerciale, à titre de cadre, de consultant, ou d'actionnaire, peut avoir un jugement scientifique ou éthique biaisé du fait de ses attaches. Une gestion raisonnée des éventuels conflits d'intérêt s'impose.

V.2 - Prévention et précaution

L'éthique ne concerne pas seulement la bonne conduite des chercheurs. L'attention aux objets de la recherche, à leur statut, à leurs usages, à leur devenir dans la société comme dans la nature est une autre dimension essentielle. D'où, la nécessité pour les chercheurs de rester vigilants au cours de leurs recherches, et de s'interroger, en amont, sur les conséquences possibles de leurs résultats.

❖ *Prévention des risques*

La prévention des risques concerne d'abord les nanoparticules, s'agissant de leur toxicité et de leur devenir. À cet égard, un consensus se dégage entre tous les partenaires – chercheurs académiques, industriels, compagnies d'assurance, consommateurs ou utilisateurs – et des réseaux sont mis en place²⁸. Et, ce n'est pas l'un des moindres bénéfices de ces recherches que d'avoir mis au jour le fait que les nanoparticules abondent déjà dans notre environnement (fumées, gaz d'échappement...). Mais les risques actuels, subis ou acceptés, ne sauraient justifier que l'on ajoute sciemment de nouvelles particules dont l'on pense qu'elles peuvent comporter des risques pour la santé ou l'environnement. A ce niveau interviennent plusieurs considérations éthiques, non seulement pour assurer la libre circulation des données, la transparence des résultats et l'indépendance des tests, mais aussi pour déterminer les priorités respectives entre recherche de prévention et recherche d'innovation.

²⁷ Robert Karl Merton, 1942 « *The ethos of science* » in *On Social Structure of Science*, ed. by P. Sztompka, Chicago, The University of Chicago Press, 1972, pp. 267-76.

²⁸ Voir par exemple le travail d'ECRIN (Association pour le rapprochement recherche-entreprise) : <http://www.ecrin.asso.fr/>

La gestion des risques ne saurait être limitée aux nanoparticules. En effet, elle concerne bien des impacts possibles sur les individus ou l'organisation sociale (emploi, sécurité) car il s'agit d'anticiper les conséquences sur l'environnement ou la société, à court et à long terme, des produits de la recherche. Donnons ici un seul exemple : certains laboratoires du CNRS conduisent des recherches sur les biopuces à finalité de diagnostic, en lien avec un laboratoire pharmaceutique. Leur louable projet de démocratiser ces techniques – « des nanos pour tous » – révèle peu à peu des embûches : avec une sensibilité à une molécule unique, il y a des chances pour que tout un chacun se découvre une maladie. D'où les interrogations : faut-il pousser très loin la sensibilité des diagnostics si la thérapie ne suit pas ? Et si elle suit, quels en seront les effets sur le système d'assurance maladie ?

❖ *Précaution face aux incertitudes*

La précaution s'impose plus encore que les stratégies classiques de prévention des risques, dans la mesure où les nanotechnologies, comme nous l'avons vu, sont un pari sur l'imprévu et sur l'émergence de propriétés nouvelles, inédites, inimaginables. Les incertitudes ne sont donc pas un effet marginal ou secondaire mais font partie intégrante de la recherche²⁹. Que faire face aux possibles incertains ? Comment gérer ce que l'on ignore ? On peut dans ce domaine difficilement mettre en œuvre l'approche, désormais classique en Europe, qui vise à proportionner les mesures, en pesant bénéfices et dommages. Pour explorer les futurs possibles mais incertains, la simulation et même la fiction sont nos seules ressources. Les scientifiques doivent donc désormais compter avec des scénarios futuristes, et les prendre au sérieux, au lieu de les discréditer. Sur ce point, le débat peut et doit s'ouvrir avec le public, pour un examen raisonné et une évaluation comparative des scénarios.

A cet égard, le regroupement d'un ensemble disparate de recherches sous le terme générique de « nanotechnologies » – qui fonctionne si bien pour attirer des fonds et financer les recherches – pourrait devenir un piège. Car les incertitudes et angoisses qui concernent un domaine particulier sont susceptibles de « contaminer » d'autres domaines, entraînant ainsi une condamnation globale et sans discrimination. Plus sérieux encore, le programme de convergence entre « nano », « bio », « info », et les sciences cognitives (*NBIC*), qui promet l'avènement d'une nouvelle ère technologique, avec des humains « augmentés » ou dopés, pourrait bien freiner l'essor des nanotechnologies, tant il défie toute prudence. L'incertitude porte en effet sur le court et le long terme :

- dans un futur proche, le projet d'améliorer les performances de quelques humains exposerait à renforcer les inégalités sociales par des inégalités d'ordre biologique. D'où, des frictions entre une minorité riche et « améliorée » et des masses de populations humaines infériorisées ;
- dans un futur lointain, former le projet de relayer l'évolution biologique et de supplanter l'humanité par une nouvelle espèce, comme le proclament ouvertement certains promoteurs des *NBIC*, reviendrait à jouer avec le feu.

Mais, pas plus que la bonne conduite des chercheurs, la prévention et la précaution ne sauraient résumer la dimension éthique des nanosciences et nanotechnologies. Certes, elles

²⁹ Voir sur ce point Jean-Pierre Dupuy, « Complexity and Uncertainty », in *Foresighting the New Technology Wave*, High-Level Expert Group, European Commission, Brussels, 2004.

contribuent à imposer des normes, des règles, voire des moratoires, mais le respect de normes et de règles ne garantit pas une attitude éthique. Au contraire, il peut même renforcer par des mesures bureaucratiques des comportements de routine qui endormiraient la réflexion éthique.

V.3 - Réflexion sur les valeurs et les fins

Etant donné les volontés politiques et les enjeux commerciaux qui sous-tendent les programmes de recherche en nanosciences et nanotechnologies, il serait difficile d'invoquer encore la neutralité de la science. C'est le postulat même d'une cloison étanche entre faits et valeurs qui est remis en question³⁰. Une réflexion sur les valeurs et les fins attachées à la recherche est donc particulièrement urgente.

❖ Des valeurs implicites à dégager

Parce que les nanosciences et nanotechnologies aspirent à un contrôle de la matière à l'échelle la plus fondamentale, parce qu'elles instrumentalisent les atomes, molécules aussi bien que les entités macromoléculaires du vivant, elles obligent à renoncer à l'illusion positiviste que les énoncés scientifiques sont dégagés de toute métaphysique, pour accepter de s'interroger sur les représentations et valeurs sous-jacentes aux programmes de recherche. Les nanotechnologies se déploient sur fond de transgression de valeurs culturelles fondamentales, en particulier des distinctions entre nature et artifice ainsi qu'entre nature et culture :

- Transgression proclamée dans l'affirmation maintes fois réitérée que l'avènement des nanotechnologies relèverait d'un processus naturel qui s'inscrirait dans la continuité de l'évolution biologique³¹. La technique se trouvant ainsi naturalisée, toute éthique serait bannie, puisqu'il n'y aurait pas de liberté de choix. Qu'on le veuille ou non, l'ère des "nanos" adviendrait et les sociétés humaines n'auraient qu'à s'adapter ;
- Transgression implicite par le jeu des métaphores : de même que l'on ne distingue plus entre science et technologie, l'on parle désormais de machines moléculaires aussi bien pour les artefacts que l'on essaye de produire dans les laboratoires (moteurs moléculaires) que pour les unités qui composent les cellules (ADN, ribosomes, protéines). Ces métaphores ne sont pas neutres, elles ont le pouvoir d'exprimer un projet de maîtrise et d'asservissement de la nature à des fins techniques ;
- Transgression pratique par la production d'hybrides : de même que l'on fabrique de l'ADN ou des protéines artificielles pour former des structures inédites, l'on peut utiliser les capacités d'auto-assemblage de l'ADN pour fabriquer des composants électroniques ou des machines moléculaires pour diverses fonctionnalités.

³⁰ Ce postulat lui-même procède d'une valorisation des faits et de la démarche rationnelle qui les a investis d'une autorité capable de défier les pouvoirs politiques ou religieux.

³¹ Voir notamment Eric K. Drexler, *Engines of Creation* (1986) tr. Fr. *Engins de création*, Paris, Vuibert, 2006, p. 38-43.

Soyons clairs : il ne s'agit pas de refuser par principe la transgression des frontières entre nature et artifice, car toute technologie transgresse peu ou prou cette frontière. Une réflexion sur les valeurs ne vise pas nécessairement à sacrifier la nature ou la personne humaine, pour instaurer une éthique du respect. Il s'agit plutôt de prendre conscience qu'en manipulant des objets, l'on manipule des valeurs et de s'interroger sur le type de rapports que l'on souhaite instaurer entre ces trois pôles fondamentaux de notre civilisation que sont : la nature, la technique et la culture.

❖ *Questions de sens*

Quant aux fins, il est certes légitime de poser que la science a sa fin en elle-même, plutôt que dans les applications, mais cela n'empêche ni le chercheur, ni le public de s'interroger sur la finalité des recherches en nanosciences et nanotechnologies, sur la légitimité des investissements consentis et sur le "nanomonde" qui se construit dans les laboratoires.

Ces questions de sens sont pour la plupart des questions de bon sens que tout chercheur, comme tout citoyen, doit se poser: Pourquoi cette recherche ? Pourquoi celle-ci plutôt que telle autre ? À quels besoins répond-elle ? À qui profitera-t-elle ? Justifie-t-elle les investissements consentis ? Qui assumera la responsabilité si cela tourne mal ?

Afin de permettre aux acteurs de la recherche d'exercer leur responsabilité de citoyens, il est indispensable de leur garantir le droit de faire état de leurs questionnements et d'être entendus.

VI. Recommandations

L'objectif général de ces recommandations est moins de développer une *recherche éthiquement correcte*, à travers une série de normes ou d'interdits à respecter dans une pratique tout entière focalisée sur les moyens et les résultats positifs de la recherche, que de développer une *vigilance éthique* par une série de mesures destinées à encourager la réflexion sur les valeurs et les fins de la recherche.

Il s'agit d'un profond changement de mentalité à opérer dans les milieux de la recherche, où percent encore bien des ignorances, voire des réticences, à l'égard de l'éthique³². Ce changement exige une prise de conscience de la part des chercheurs de toutes les disciplines. L'éveil d'une réflexion éthique sur les sciences et techniques ne peut se concevoir comme une prestation ponctuelle qui serait apportée par des spécialistes de l'éthique. Cette prise de conscience prendra du temps et les mesures doivent être suffisamment significatives pour permettre un travail dans la durée. Le COMETS préconise donc, dans un premier temps, la mise en œuvre urgente des recommandations qui suivent.

**

³² Pour un inventaire des objections les plus courantes et les réponses à ces objections voir Paul R. Wolpe, "Reasons scientists avoid thinking about ethics", *Cell*, 135, June 2006, 1023-25.

Recommandation 1. Dans chaque secteur de recherche, en fonction des thèmes de recherche, les pouvoirs publics et les établissements de recherche se doivent d'identifier et de rassembler les représentants de l'ensemble des parties intéressées : industriels, associations de consommateurs, associations de malades, ONG, etc. Les conseils et avis de ces acteurs sont indispensables pour éclairer les instances décisionnelles sur les attentes du corps social. Une articulation adéquate devrait être trouvée avec l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST). Le CNRS, parce qu'il comprend toutes les disciplines fondamentales et qu'il n'est pas indifférent à leurs applications, se doit de jouer un rôle moteur dans la concertation avec toutes les parties intéressées.

VI.1 - Concernant le fonctionnement interne au CNRS

Recommandation 2. Inclure la préoccupation envers l'éthique de la recherche à plusieurs niveaux dans la carrière des chercheurs :

- dans leur formation initiale (comme cela est le cas depuis plusieurs années pour la sécurité dans les laboratoires)³³, en liaison avec les Écoles doctorales ;
- dans la formulation des projets de recherche, pour assurer la prise en compte des dimensions environnementale, éthique et sociale, afin notamment de :
 - ❖ s'assurer de la sécurité des recherches non seulement dans le laboratoire (pour la santé des chercheurs, ingénieurs, techniciens, administratifs, etc.), mais aussi, au-delà des espaces de recherche, dans l'environnement comme dans la société;
 - ❖ démontrer la pertinence des recherches non seulement par rapport à l'état de la science ou des technologies – un goulot d'étranglement à franchir, par exemple – mais aussi par rapport aux demandes et attentes sociales, en spécifiant bien quel est le public ciblé ;
 - ❖ envisager l'impact possible des produits de la recherche sur l'emploi, la structure sociale, l'économie, et les modes de vie.
- dans l'évaluation des chercheurs, les activités de réflexion sur les valeurs et les finalités de leur recherche doivent être prises en compte, comme le sont déjà les démarches de dialogue avec le public – participation à des Cafés des sciences, visites dans les écoles, universités ouvertes, conférences citoyennes, etc.

Recommandation 3. Réaliser des petits guides pour l'éthique, ou dossiers synthétisant dans un **langage accessible** les résultats d'études déjà faites sur chacune des applications des nanosciences et nanotechnologies, afin d'aider les chercheurs, et particulièrement les plus jeunes, à conduire une réflexion personnelle sur les enjeux éthiques concernant leur propre domaine de recherche³⁴.

³³ Cette formation pourrait comprendre :

- cours d'éthique appliquée à la science pour doctorants avec rédaction d'un petit mémoire sur une étude de cas.
- cours et travaux pratiques de communication avec le public pour doctorants
- rédaction d'un petit mémoire sur une question d'éthique ou d'impact social relative au sujet de la thèse principale.

³⁴ Mesure déjà prônée par deux réseaux d'excellence européens, *Nano2life* et *Frontiers*. Quatre grands domaines sont à couvrir :

Recommandation 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.

La présence régulière d'un sociologue et/ou d'un philosophe auprès des chercheurs en action peut être un moyen de faire surgir les questionnements de la pratique quotidienne – démarche *bottom-up*, ce qui semble préférable à une présentation abstraite des problématiques générales de l'éthique. C'est aussi la condition pour une approche éthique évolutive qui ne soit pas figée sur quelques thèmes stéréotypés. La participation de chercheurs en sciences humaines peut ainsi contribuer :

- à dégager et formuler les problèmes éthiques ou sociaux ;
- à organiser des ateliers d'information et de débat sur ces problèmes ;
- à susciter des études plus approfondies sur les problématiques ainsi identifiées ;
- à trouver des solutions appropriées aux divers problèmes soulevés.

Recommandation 5. Stimuler les recherches en sciences humaines et sociales dans le domaine des nanosciences et nanotechnologies. Le CNRS a fait un premier pas dans cette voie avec la création de la section interdisciplinaire 43 du Comité National, mais l'on peut aller plus loin :

- en multipliant les regards, non seulement juridiques et sociologiques, mais aussi philosophiques, car des spécialistes formés à ce type de conceptualisation et d'argumentation peuvent aider les chercheurs, engagés dans les sciences de la nature, à formuler et à exprimer les problèmes éthiques qui se présentent à eux.
- en assurant une place aux sciences humaines et sociales dans les réseaux européens en nanosciences que coordonne le CNRS (par exemple *ERA-NET*).

L'éthique des nanosciences et nanotechnologies n'existera qu'à la condition d'un rapprochement et d'une co-évolution des deux secteurs.

-
- a) les études d'impact sanitaire, environnemental, juridique, social. Faire périodiquement le bilan des recherches conduites en divers pays sur la toxicité et l'impact des nanoparticules, sur les questions de sécurité (les "nanos" et le militaire), de liberté, d'impact économique en prenant soin de considérer un large éventail de sources disponibles (agences de recherche publiques, laboratoires industriels, ONG) ;
 - b) science/public : réaliser périodiquement des bilans comparant les regards du public sur les nanosciences et nanotechnologies en plusieurs contextes culturels, des analyses critiques des expériences de dialogue entre sciences et citoyens (conférences de consensus, nanojurys, *focus groups*, etc) ;
 - c) Politique scientifique et "*technology assessment*". Dossiers présentant les différentes stratégies nationales de recherche en perspective historique ; la prospective, les stratégies pour construire des scénarios de futurs ;
 - d) philosophie des sciences : dossiers sur les questions épistémologiques ou éthiques que soulèvent les recherches en nanosciences et nanotechnologies : par exemple, la notion de complexité ; historique des relations nature/artifice, vivant/inerte; la relation science/technique en perspective historique ; le rôle de la visualisation et de l'image ; rôle de la fiction et des expériences de pensée, etc..

VI.2 - sur le plan externe au CNRS

❖ *Concernant les liens avec l'industrie*

Recommandation 6. Compte tenu de l'imbrication étroite des enjeux scientifiques et industriels dans les nanosciences et nanotechnologies, il est particulièrement important de veiller à :

- (6a) mettre en place des procédures pour le repérage et l'arbitrage des conflits d'intérêts ;
- (6b) assurer la transparence des sources de financement et, si possible, des résultats dans les projets conjoints conduits entre le CNRS et l'industrie.

Ces mesures sont capitales pour établir, ou si nécessaire rétablir, la confiance du public dans les jugements scientifiques.

❖ *Concernant l'engagement du public*

Recommandation 7. Ne pas se contenter de vulgariser, à sens unique, en pensant qu'il suffit de faire comprendre "comment ça marche" pour faire accepter ces nouvelles technologies. Ce genre de communication pédagogique ne répond pas complètement aux questions que se pose le public sur les choix des sujets de recherche. Il faut donc :

- éviter de vanter les bienfaits attendus des nanosciences et nanotechnologies sans mentionner les méfaits possibles ; sinon l'on perd en crédibilité ;
- mettre davantage l'accent sur les conséquences pour l'homme de ces recherches, sur les enjeux liés au choix des nanosciences comme priorités scientifiques ; et, si possible, ne pas se limiter aux enjeux économiques et industriels, comme c'est souvent le cas. On peut signaler quelques risques qui retiennent l'attention du public : perte de contrôle des produits dans la nature ; production d'armes de destruction massive ; surveillance omniprésente et invisible ;
- oser prendre en considération les enjeux à très long terme, même s'ils apparaissent comme de la science-fiction. Expliciter les rêves des chercheurs car ils facilitent la communication avec le public et la réflexion sur leurs implications éthiques et sociales. Aider à repérer ce qui relève des fantasmes.

Recommandation 8. Mettre en place des instances de dialogue et/ou participer aux débats citoyens organisés à l'échelle locale, nationale, européenne et internationale. Les nanosciences offrent un terrain où l'on peut tenter de nouvelles formes de communication permettant de surmonter les affrontements entre technophiles et technophobes.

* *

Le Comité d'éthique considère que la mise en œuvre de cet ensemble de mesures contribuerait significativement à l'élaboration d'une politique scientifique responsable dans le domaine des nanosciences et nanotechnologies, et pourrait être exemplaire pour d'autres domaines.

ANNEXE

Trois exemples d'initiatives d'accompagnement éthique et social de la recherche.

1. *Constructive Technology Assessment*. L'approche *Constructive Technology Assessment* ("Evaluation constructive de la technologie"), surtout développée aux Pays-Bas, est mise en œuvre dans le *Dutch Consortium on Nanoned*, coordonnée par Arie Rip de l'Université de Twente³⁵. Il s'agit d'une étude des aspects généraux du développement technique qui anticipe sur son inscription sociale et recherche une co-évolution réfléchie entre science, technique et société. Les mots-clés en sont : innovation responsable – prenant en compte la désirabilité et l'acceptabilité sociale – ; gouvernance des sciences et techniques entendue, non pas comme une action de haut en bas (*top-down*) mais, comme un arrangement entre les multiples acteurs. Concrètement, le programme se développe dans un cadre universitaire, grâce à des recherches doctorales financées à l'échelle nationale, avec des partenariats européens qui visent, à travers des études de cas, à décrire et analyser les dynamiques en cours dans les nanotechnologies, les acteurs et réseaux mobilisés, de manière à envisager leur impact social. Il vise également à élaborer sur cette base des scénarios socio-techniques de manière à susciter la réflexion, et à repérer les premiers signaux d'impact sur la société. Les acteurs principaux dans ce modèle sont des universitaires, des étudiants en doctorat. L'aspect relation avec le public est pris en compte, mais reste marginal car il relève d'une fondation néerlandaise, le *Rathenau Institute*. Cependant, comme son nom l'indique, le *Constructive Technology Assessment* participe activement à la construction comme à l'évaluation des nanotechnologies.

2. *Public Engagement in Science*. Cette approche ("Implication de la société dans la science") est surtout développée en Grande-Bretagne, à la suite du rapport des deux Académies qui a été publié en 2004. Elle a une orientation beaucoup plus directement politique et sociale. Les initiatives sont multiples : interviews, recherches sociologiques *in situ* dans les laboratoires de nanosciences, rencontres entre parties intéressées (citoyens, chercheurs, politiques, industriels), Nanojury (mai-septembre 2005), forums, et rapports largement diffusés³⁶. Elles mobilisent un large éventail d'acteurs :

- des politiques (*Office for Science and Technology*) ;
- des chercheurs en nanotechnologies appartenant au *Cambridge Nanoscience Center*, à l'Université de Sheffield, et à celle de Newcastle ;
- des chercheurs en sciences humaines appartenant au *Lancaster Institute for Environment, Philosophy and Public Policy* ;
- des réseaux comme le *Nanotechnology Engagement Group*³⁷ ;
- des groupes de prospective (*think tanks*) comme DEMOS ;

³⁵ Johan Schot, Arie Rip, "The past and future of Constructive Technology Assessment", *Technological Forecasting and Social Change*, 54 (1997), 251-268; Arie Rip, "Assessing the impacts of innovation. New developments in technology Assessment", *OECD Proceedings Social Sciences and Innovation*, Paris, OECD, 2001, p. 197-213.

³⁶ Matthew Kearnes, Phil Macnaghten, James Wilsdon, *Governing at the Nanoscale. People, Policies and Emerging Technologies*, DEMOS, London, April 2006, www.demos.co.uk

³⁷ Voir www.involving.org

- des organisations non gouvernementales, comme *Greenpeace*.

Les objectifs sont de :

- repérer les attitudes, attentes et craintes des publics à l'égard des nanosciences et nanotechnologies ;
- encourager et soutenir un programme cohérent de dialogue entre chercheurs et publics sur les implications éthiques et sociales des nanosciences et nanotechnologies ;
- s'assurer que les informations élaborées au cours de ces dialogues sont prises en compte dans les processus de décision et se traduisent par des mesures politiques.

Des initiatives de ce genre commencent à se développer en France avec l'organisation de débats et conférences de citoyens (VivAgora, NanoViv, Centre de compétences Nanoscience Ile de France, Entreprises pour l'Environnement et Association pour la protection contre la Pollution atmosphérique).

3. Pour une symbiose entre science et culture. Cette approche, surtout développée en Allemagne et en France,³⁸ a une orientation plus éthique et plus philosophique. Elle se fonde sur le fait que les sciences et technologies se développent certes dans le monde de la science, mais que celui-ci baigne dans une culture plus large. Elle vise à rendre cette interaction explicite et positive.

Il s'agit donc de dégager le sens des programmes de recherche, en mettant à jour les représentations, les projets et les valeurs qui sous-tendent les pratiques des chercheurs. Les acteurs sont surtout des chercheurs académiques : philosophes et scientifiques qui réfléchissent ensemble sur les rapports entre nature, artifice, et société, ainsi que sur les rapports entre disciplines, et sur les métaphores et concepts utilisés. Les objectifs sont ici de favoriser la réflexion des chercheurs sur leur propre pratique, afin de les aider à approfondir la signification sociale et humaine de leurs travaux.

³⁸ Voir Davis Baird, Alfred Nordmann, & Joachim Schummer eds, *Discovering the Nanoscale*, Amsterdam : IOS Press, 2004; J. Schummer, D. Baird eds, *Nanotechnology Challenges. Implications for Philosophy, Ethics and Society*, World Scientific Publishing, 2006; Jean Pierre Dupuy, "Ethics Beyond prudence. Towards a Normative Assessment of Nanotechnology, of European Workshop on Social and Economic issues of Nanotechnologies and Nanosciences, European Commission, Brussels, 14-15 avril 2004, pp. 29-31; Larrère, Catherine, Rapport ACI, N° 03366 "Nature et artifice à l'épreuve des nouvelles technologies". 2005.