



Mai 2010

Département Recherche et Innovation

NANOTECHNOLOGIES

une question à l'ordre du jour

Le « débat national sur les nanotechnologies » lancé en octobre 2009 par le gouvernement s'est achevé en février, dans une relative indifférence médiatique. Des réunions étaient prévues dans différentes villes de France pour débattre avec le grand public de cette question, qui concerne au premier chef les générations futures ; mais elles ont été souvent perturbées par des opposants (en particulier un actif collectif grenoblois), et plusieurs d'entre elles ont dû être purement et simplement annulées. En dépit des 3 200 participants annoncés par les organisateurs (et des 170 000 visites enregistrées sur le site web), le « débat démocratique » souhaité n'a pas vraiment eu lieu et s'est souvent ramené à un débat entre experts.

Pourtant le but paraissait louable : permettre à des citoyens d'exprimer à la fois la fascination scientifique (avec parfois une dimension science-fiction), les espoirs économiques (ainsi que dans le domaine de la santé), mais également les inquiétudes que suscite le développement des nanotechnologies. Il s'agissait aussi de faciliter les échanges entre les scientifiques, les industriels, les associations intéressés par cette question.

Pourquoi ce débat sur les nanotechnologies ? De quoi s'agit-il ? Quels sont les enjeux, en particulier les enjeux éthiques ?

Paul-Ivan de Saint Germain

[Les sources utilisées viennent pour l'essentiel des documents émis lors de la préparation du débat national]



DE QUOI S'AGIT-IL ?

► QUELQUES DONNÉES

La maîtrise et la manipulation de la matière à l'échelle du nanomètre sont dorénavant possibles. [Un nanomètre est un milliardième de mètre ; il est au mètre ce que la cerise est à la Terre]. Les conséquences potentielles sont nombreuses. Un certain nombre de propriétés de la matière pourraient en effet changer à cette échelle. C'est ainsi que les assemblages d'atomes constituant les nanomatériaux, dont les dimensions sont de quelques nanomètres, pourraient présenter des propriétés physiques et chimiques inédites. La nanobiologie permet d'observer finement le fonctionnement d'une cellule vivante, d'avoir des thérapies plus efficaces, de créer des OGM. La possibilité apparaît d'une « convergence » entre Nanotechnologies, Biotechnologies, sciences de l'Information et sciences Cognitives (désignée par « convergence NBIC »), permettant la rencontre entre deux mondes, le vivant et l'inerte, et une imbrication plus étroite entre l'homme, la machine, l'information et la cognition.

► LA SITUATION ACTUELLE

Aujourd'hui, les nanotechnologies connaissent un essor spectaculaire. Elles sont en effet perçues comme destinées à prendre une place prépondérante dans quasi tous les secteurs économiques, en particulier dans celui de la santé. Une caractéristique de cet essor est que le passage de la connaissance (domaine des nanosciences) à ses applications pratiques (nanotechnologies) est de plus en plus rapide, ce qui se traduit par un décalage temporel important entre la mise sur le marché des nanoproduits et les recherches sur leurs éventuels dangers et risques. Car ces nanoproduits (en particulier les nanoparticules) peuvent poser des problèmes nouveaux de toxicité, associant la toxicité chimique usuelle à d'autres effets liés à leur taille. Ce qui explique les inquiétudes qu'ils suscitent : seront-ils au service de l'homme ou vont-ils l'asservir ? À qui vont-ils profiter ? Quels sont les enjeux économiques, sociaux et éthiques ?

Face à une intense compétition technologique internationale, il y a donc nécessité de réduire les incertitudes quant aux risques potentiels des produits et matériaux issus des nanotechnologies. Le principe de précaution, sans pouvoir constituer un frein à toute recherche de progrès, oblige cependant à une grande vigilance sur ce point. De nombreuses associations et syndicats de travailleurs demandent un moratoire complet ou partiel sur les nanoproduits, ainsi que la mise en place de procédures d'évaluation des risques. La difficulté vient de ce que le contexte de libre-échange des produits et de mondialisation de l'économie rend difficile tout effort à l'échelle purement nationale pour limiter les risques.

ENJEUX TECHNOLOGIQUES ET ÉCONOMIQUES

Le marché mondial des nanotechnologies pourrait atteindre en 2015 de 500 à 1 500 milliards d'euros, et concerner de très nombreux secteurs d'activité. Ces chiffres pourraient encore doubler d'ici 2020. Ce qui suscite une intense compétition au niveau mondial. Le gouvernement français estime que plusieurs centaines de milliers d'emplois directs pourraient en dépendre en France dans les dix ans.

D'ores et déjà, plusieurs centaines de produits présents sur le marché intègrent des nanoparticules : pneumatiques, particules diesel, cosmétiques, bétons de revêtement, vitres, peintures, articles de sport... Pour le futur, les principaux secteurs économiques qui pourraient bénéficier des nanotechnologies sont :

- L'électronique et l'informatique, avec l'accroissement des performances des mémoires et les plus grandes vitesses de traitement permises par une miniaturisation accrue des composants.
- La biologie et la santé : non seulement en biologie fondamentale (le vivant élabore en effet ses structures à l'échelle nanométrique et il devient maintenant possible de l'observer à cette échelle-là), mais aussi pour les activités médicales :
 - ◆ de diagnostic (avec le marquage de molécules, des bio-senseurs nanométriques, des « laboratoires sur puce », des marqueurs pour une imagerie médicale non invasive...);
 - ◆ et surtout de traitements plus efficaces et de moins en moins invasifs (encapsulation et ciblage de médicaments, orientation de molécules, utilisation des propriétés physiques ou chimiques des nanoparticules...).
- L'énergie (cellules solaires à bas coûts, piles à combustible, conservation de l'énergie grâce à de nouveaux matériaux « nanostructurés », nanopoudres pour les batteries des voitures électriques...).
- L'environnement et l'agroalimentaire (qualité des aliments, assainissement de l'eau).

Ces perspectives expliquent le volume des recherches menées partout dans le monde sur les nanosciences et les nanotechnologies : le financement annuel mondial de la recherche et du développement s'y élevait à près de 25 milliards de dollars en 2008. En France, ce sont de l'ordre de 7 000 chercheurs qui s'y consacrent, soit en recherche fondamentale pour l'approfondissement des connaissances, soit en recherche appliquée, dans les domaines de l'énergie, des sciences du vivant, des techniques de l'information et de la communication, des matériaux et de la sécurité.

Mais l'impact économique des nanotechnologies a aussi des aspects négatifs. Par exemple, comme le note l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques¹, les nanotechnologies seront utilisées pour remplacer et réduire la consommation des matériaux naturels et des ressources minérales qui se trouvent essentiellement dans les pays en développement. L'impact, à moyen et long terme, sera considérable, risquant d'accroître le fossé technologique.

ENJEUX SOCIAUX ET ÉTHIQUES

Le Comité Consultatif National d'Éthique (CCNE) analyse ainsi² les enjeux éthiques : « *La question éthique de l'usage des nanomatériaux peut se décliner sous deux modes* ». Le premier, de beaucoup le plus urgent, est celui « *de l'intrusion souterraine de nanoparticules privilégiant plus la performance technologique et la rentabilité commerciale que la perception de leurs risques potentiels* » [risque de toxicité]. Le deuxième est celui « *de la question philosophique de l'homme-machine, soulevée par les nanosystèmes, question toujours menaçante pour le respect de la personne* » [risque de société].

1 L'OPECST est un organisme commun à l'Assemblée nationale et au Sénat.

2 Avis de février 2007, www.ccne-ethique.fr/docs/fr/avis096.pdf

► LES RISQUES POTENTIELS DE TOXICITÉ DES NANOPARTICULES

Comme le souligne l'Académie des sciences, le développement des nanosciences pose des questions spécifiquement liées à la taille des objets, à leur composition et à leur structure. Il est donc important de se préoccuper, lors de la fabrication des nano-objets, de leur toxicité, comme il est d'usage de le faire pour n'importe quel produit de synthèse.

Cette toxicité concerne en premier lieu l'être humain, mais également l'environnement.

■ SUR L'ÊTRE HUMAIN

De nombreuses nanoparticules existent dans la nature et peuvent atteindre l'homme, par inhalation, ingestion ou absorption par voie cutanée : poussières atmosphériques, particules dues à la pollution... Certaines sont naturellement éliminées par l'organisme, d'autres, en particulier celles dues à la pollution, ont en revanche des effets négatifs avérés.

Quant aux nanoparticules créées par l'homme, y compris celles qui existent déjà dans certains produits tels que les cosmétiques, les connaissances sur ce qui leur advient dans l'organisme humain³ sont aujourd'hui fragmentaires ; sauf, évidemment, dans le cas des nanomédicaments et des aliments contenant des nanomatériaux qui subissent des procédures d'autorisation.

Si les bénéfices escomptés de certains usages des nanoparticules sont immenses, la grande majorité des risques restent donc inconnus. Il y a par conséquent un devoir de vigilance, qui imposerait de bien mesurer ce qu'on appelle le « rapport risques/bénéfices » de leur utilisation. C'est ce qui, naturellement, est fait pour les médicaments. Par ailleurs, l'éthique ne saurait se résumer à des analyses risques/bénéfices, aussi sérieuses soient-elles. D'autant moins que de telles analyses sont toujours difficiles à mener du fait de la mauvaise connaissance que l'on a non seulement des bénéfices escomptés, mais plus encore des risques encourus.

Cette vigilance sera d'autant plus renforcée qu'il y aura transparence de l'information et partage des savoirs et des résultats. La concurrence économique internationale, le mode de gestion des brevets (souvent propice au secret) ou encore la complexité des données que devraient connaître les consommateurs (d'où l'intérêt d'un débat public tel que celui lancé en France) ne favorisent pas ces deux conditions. En outre, cette transparence, si elle est souhaitable, doit éviter de conduire au catastrophisme ou à des inquiétudes mal fondées.

■ SUR L'ENVIRONNEMENT

Les mécanismes d'évolution des nanoparticules dans l'environnement et les risques impliqués pour les différents écosystèmes sont mal connus. Comme l'indique l'Académie des technologies⁴, certaines nanoparticules peuvent réagir avec leur environnement et évoluer suivant une histoire difficilement prévisible du fait des effets sur plusieurs générations pour la faune et la flore. Dans ce contexte, le recours au principe de précaution nécessiterait de mettre en œuvre des méthodes de confinement des nanoparticules et de filtrage des effluents.

■ QUELLES SONT ACTUELLEMENT LES RÉPONSES FACE À CES RISQUES ?

De nombreux programmes de recherche sur les effets toxiques des nanoparticules sur l'homme et sur l'environnement ont été lancés au plan national et à l'international. Cependant les ressources qui y sont consacrées sont faibles, de l'ordre de 100 fois inférieures à celles dédiées aux nanotechnologies proprement dites. Le *Grenelle de l'environnement* a incité à accroître les recherches sur ce point.

Par ailleurs, certains programmes de sécurité ont été instaurés au niveau européen (Nanosafe) et national (Nanosécurité). En particulier, des mesures sont dorénavant prises pour assurer la protection des personnes sur les lieux de recherche ou de fabrication de nanoparticules (filtration, confinement des particules...). Il faut cependant dire que la réglementation actuelle (droit du travail), concerne essentiellement la protection des travailleurs contre le risque chimique et n'est pas vraiment adaptée aux nanoparticules.

3 En particulier sur la propriété de certains nanosystèmes moléculaires de pouvoir traverser les barrières biologiques, notamment entre sang et cerveau, et d'être actuellement peu ou pas biodégradables.

4 L'Académie des technologies est un établissement public fondé en 2000, dont le but est d'« éclairer la Société sur le meilleur usage des technologies ».

► IMPLICATIONS POUR LA SOCIÉTÉ ET LE RESPECT DE LA PERSONNE HUMAINE

Le risque toxique n'est pas le seul risque qu'implique le développement des nanotechnologies. On entrevoit en effet des risques pour le respect de la personne humaine. Par exemple, les libertés individuelles pourraient être mises en cause par l'existence de dispositifs d'identification (type RFID, *Radio Frequency Identification*), nanométriques et donc invisibles. Ou encore, sous couvert de surveillance médicale plus efficace, ne risque-t-on pas, au travers de nanodiagnostic utilisables par des tiers en l'absence du consentement des personnes concernées, de porter atteinte aux libertés individuelles ?

Plus fondamentalement, à quelle manipulation du vivant pourrait conduire la « convergence » NBIC citée plus haut : amélioration des performances humaines (des sportifs, des militaires... mais aussi, peut-être, « amélioration » des enfants), mais dans quel esprit, avec quelle finalité ? Fabrication de micro-organismes ou de briques de vie synthétique, mais dans quel but ? Création d'hybrides machines/animaux ? Création d'OGM pathogènes à des fins terroristes ? En agissant au niveau moléculaire, ne risque-t-on pas de toucher aux mécanismes fondamentaux du vivant ? Comme l'écrit Jérôme Goffette (Université Lyon 1), avec la convergence NBIC « *la condition humaine n'est plus une donnée, c'est désormais un jeu de possibles, une matière à projets* »⁵.

Au-delà des travaux sur la toxicologie, la communauté des chercheurs en nanosciences et nanotechnologies (car c'est cette communauté-là qui, dans l'immédiat, est la plus informée sur les éventuelles implications sociétales) a à s'interroger sur le sens des recherches qu'ils conduisent. La société doit pouvoir en effet compter sur la responsabilité pleine et entière des acteurs de la science, en particulier de ceux qui font de la recherche fondamentale et qui doivent aller plus loin dans le questionnement sur les implications entre la recherche, l'innovation, les applications industrielles et sur la mise en évidence des éventuels risques face aux éventuels bénéfices.

Comme le demande l'OPECST : Ces recherches, pour répondre à quels besoins ? Qui en profitera ? Les investissements consentis sont-ils justifiés ? Qui sera responsable en cas de problème ?

Il faut souligner que cette recherche scientifique est légitime et qu'elle a une grande valeur en elle-même. La doctrine sociale de l'Église rappelle⁶ que l'Église catholique, non seulement ne s'oppose en aucune façon au progrès, mais au contraire considère que « *la science et la technologie sont un merveilleux produit du don divin de la créativité humaine ; en effet elles nous ont apporté d'extraordinaires possibilités et nous en avons tous bénéficié d'un cœur reconnaissant* »⁷.

Pour autant le travail de recherche ne saurait exclure toute interrogation. C'est dans cet esprit que, comme il se doit, le Comité national consultatif d'éthique (cf. note 2), les comités d'éthique du CNRS⁸ et de l'INSERM⁹ ont traité et traitent encore de ces questions.



Le développement des nanotechnologies constitue une grande et légitime aventure ; beaucoup de bien pourrait en résulter. Mais comme tout progrès scientifique ou technologique, il présente des risques en face desquels s'imposent une certaine prudence et une certaine sagesse. Pour ce faire, les outils dont on dispose s'appellent principe de précaution, transparence de l'information, partage des connaissances, réflexion éthique des acteurs et en particulier des chercheurs.

Ces outils étant eux-mêmes au service d'un principe fondamental : le respect qu'il convient de porter à la personne humaine.

5 Jérôme Goffette, *Naissance de l'anthropotechnie. De la médecine au modelage de l'humain*, Paris, Vrin, 2006.

6 Compendium de la doctrine sociale de l'Église, § 457. Voir aussi *Caritas in Veritate* n° 69 et suivants.

7 Jean-Paul II, Discours prononcé durant la rencontre avec les hommes de science et les étudiants de l'Université des Nations Unies, Hiroshima, 25 février 1981.

8 www.cnrs.fr/fr/organisme/ethique/comets/docs/ethique_nanos_061013.pdf

9 www.ethique.inserm.fr