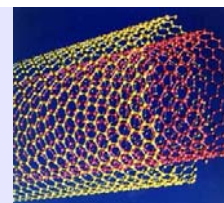


Nanotechnologies : le point sur la situation

I. Introduction : les nanotechnologies, un champ de recherche en croissance

Selon les dernières estimations, près de mille produits actuellement sur le marché utiliseraient des nanomatériaux.¹ Des batteries aux textiles, en passant par des cadres de vélos et des vitamines, la liste ne cesse de s'allonger. Annoncées comme une véritable révolution scientifique, les technologies issues des nanosciences ont fait une entrée discrète dans la vie courante. Depuis 1974, date de la fameuse conférence de Richard Feynman « There is Plenty of Room at the bottom² », et les avancées récentes dans la microscopie électronique, les découvertes se sont succédées à un rythme croissant : les fullerènes (buckminsterballs et nanotubes), ces allotropes du carbone aux propriétés étonnantes, les nanomatériaux inorganiques tels que l'argent et les points quantiques, ou encore ceux, hybrides, à surface fonctionnelle³, laissent entrevoir un potentiel énorme dans les domaines médicaux, électroniques, environnementaux, commerciaux, voire militaires – avec les risques y afférents – en concentrant du même coup toute l'attention de la recherche, des industriels et du public en un débat novateur, complexe et souvent tendu. Ces nouvelles applications et leurs possibles retombées économiques commandent des programmes de recherches aux budgets colossaux. La législation reflète quant à elle une certaine tension à l'égard de ces technologies génériques : entre un désir d'émergence et un désir de contrôle.⁴ Et l'éthique a pour sa part donné lieu à cette nouvelle discipline, la « nanoéthique », qui possède ses propres instituts, ses chercheurs et ses publications.

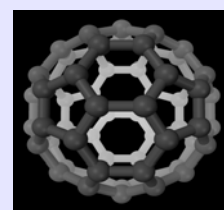
Dans ce dossier, nous tenterons de faire le point sur la situation actuelle des nanotechnologies, et de son écho dans la société civile, les instances gouvernantes et l'éthique.



Nanomètre :
un milliardième de mètre.

Nanotechnologie :
étude et le contrôle de la matière à des dimensions d'environ 1 à 100 nm, où des phénomènes uniques permettent de nouvelles applications.

Nanoscience :
science du comportement et des réactions de la matière à l'échelle nanométrique.



Nanomatériaux (ou nano-objets) : matériau dont une, deux ou trois dimensions sont à l'échelle nanométrique.

- 1 La liste de ces produits est consultable sur le site : <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/>
Liste des nanomatériaux actuellement sur le marché :
http://www.nanowerk.com/phpscripts/n_dbsearch.php
- 2 R. Feynman, « There is plenty of room at the bottom », *Journal of Microelectromechanical Systems*, 1959, pp. 60-66.
- 3 Une définition de ces nanomatériaux a été proposée par *Milieu Ltd* et *Risk and Policy Analysts Ltd* dans un rapport de septembre 2009 destiné à la Commission Européenne : « Information from Industry on Applied Nanomaterials and their Safety ». <http://www.nanomaterialsconf.eu/documents/Nanos-Task1.pdf>
- 4 « Enjeux éthiques des nanosciences et des nanotechnologies », CNRS, 12 octobre 2006, p.10.
http://www.cnrs.fr/fr/organisme/ethique/comets/docs/ethique_nanos_061013.pdf

A. Pourquoi les nanotechnologies?

À l'origine du développement et du succès rapide des nanomatériaux : leurs étonnantes propriétés physiques et leur très haute efficacité, surpassant de loin les matériaux classiques dans de nombreux domaines de pointe. Entre autres facteurs expliquant ces propriétés, on peut relever :

- la proportion élevée d'atomes présents à la surface d'un nano-objet (ratio volume/surface) qui assure une plus grande interaction avec son environnement et une plus grande efficacité : (0,006% des atomes à la surface pour une sphère de 100 microns, 6% pour une sphère de 10nm).⁵
- l'absence d'imperfection dans la structure cristalline qui augmente la rigidité⁶, mais aussi les conductivités thermique et électrique théoriques.⁷ Suivant leur chiralité⁸, les nanotubes de carbone peuvent soit montrer une conductivité électrique 1000 fois supérieure à celle du cuivre ou de l'argent, soit se comporter en semi-conducteurs. Leur exceptionnelle conduction balistique (transport des électrons) minimise la production de chaleur et leur ouvre ainsi un vaste champ d'application dans la fabrication des microprocesseurs.⁹

| Matériau | Densité spécifique | Module de Young |
|-----------------------------|--------------------|-----------------|
| Multiwall Nanotubes (MWCNT) | 1,3-1,4 | 1,1 TPa |
| Acier HC | 8 | 0,2 TPa |
| Diamant | 2,8 | 1 TPa |

Aperçu de l'extrême rigidité des nanotubes en comparaison à d'autres matériaux.¹⁰

- la possibilité d'ajuster leurs propriétés électroniques et optiques. Certains points quantiques (Quantum Dots), ces nano-objets à 0 dimension tels que le sélénide de cadmium (CdSe), changent de couleur à mesure que leur taille varie (de 2 à 5 nm), suivant un effet dit de « confinement quantique ». Cette propriété leur ouvre tout un champ d'application dans l'imagerie médicale.

5 F. Allahoff, P. Lin, D. Moore, *What is Nanotechnology and why does it matter ?* Chichester, Wiley-Blackwell, 2010, p. 10.

6 Le Prix Nobel de Physique 2010 a été décerné à André Geim et Konstantin Novoselov pour leurs travaux qui portaient sur le graphène, ce nanomatériau organique à deux dimensions, 200 fois plus résistant que l'acier.

7 Idem, p. 57. Voir aussi : Min-Gen Yu *et al.*, « Strength and Breaking Mechanism of Multiwalled Carbon nanotubes under Tensile Load », *Science*, 287. 5433, 2000, pp. 637-640.

8 La chiralité est une importante propriété d'asymétrie dans diverses branches de la science. Un objet ou un système est appelé chiral s'il constitue l'image miroir d'un autre objet ou système avec lequel il ne se confond pas. De tels objets se présentent alors sous deux formes, qui sont l'image miroir l'une de l'autre.

9 Leonor Chico *et al.*, « Quantum Conductance of Nanotubes with defects », *Physical Review B*, 54.4, 1996, p. 210.

10 D'après F. Allahoff *et al.*, *What is Nanotechnology and why does it matter ?*, p. 42.

| Matériau | Application principale |
|-----------------------------|---|
| Nano-argent | Cosmétiques, revêtements antimicrobiens, peintures, emballage, médecine. |
| Noir de carbone | Caoutchouc, pneus. |
| Fullerènes | Matériaux de structures (polymères, céramiques, composites), électronique, aéronautiques, automobiles. |
| Nanosilice | Electronique, construction, industrie alimentaire (additif et packaging). |
| Nanotitane | Cosmétiques, peintures, packaging. |
| Oxyde de Zinc | Packaging, revêtements antimicrobiens. |
| Nano-argile | Polymères, composites. |
| Oxyde de Cérium | Catalyseurs. |
| Nanofer | Purification et traitement des sols et des eaux. |
| Organique | Traitements thérapeutiques « ciblés », vitamines, industrie alimentaire (antioxydants, arômes, conservants), cosmétiques. |
| Autres (métalliques ou non) | Hautes technologies, imagerie, sécurité. |

Liste des principaux nanomatériaux actuels et de leurs applications industrielles.¹¹

Il convient enfin de signaler que des nanoparticules sont naturellement présentes en grande quantité dans notre atmosphère : de 10⁴ à 10⁹ par mètre cube d'air. Les nanomatériaux fabriqués le sont, quant à eux, soit accidentellement par l'activité humaine (noir de carbone, alumine, dioxyde de titane), soit intentionnellement par le marché.¹² D'autre part, toutes les nanotechnologies ne sont pas récentes. L'industrie automobile utilise depuis plus de cent ans le noir de carbone pour renforcer les pneus, tandis que le procédé de durcissement par précipitation, qui repose sur la production de nanoparticules imparfaites mais capables de stabiliser certains matériaux comme les alliages métalliques, date quant à lui de 1906, même s'il n'a pu être expliqué théoriquement que plus tard.¹³

11 D'après Aitken RJ et al., « A Multidisciplinary Approach to Identification of Reference Materials for Engineered Nanoparticle Toxicology », *Nanotoxicology* 2(2), pp. 71-78.

12 A. Prost, « Nanosciences et nanotechnologies : bilan d'étapes des actions du gouvernement britannique », Ambassade de France au Royaume-Uni. Service Science et Technologie, Avril 2007, p. 3.

13 F. Allahoff et al., *What is Nanotechnology and why does it matter?*, p. 7-8.

B. Les promesses des nanotechnologies

Les exemples abondent où les nanotechnologies permettraient des applications révolutionnaires dans les domaines médicaux, informatiques, environnementaux, énergétiques, mais aussi militaires ou de surveillance des personnes.

- L'une des applications des nanomatériaux qui génèrent le plus d'attentes concerne les technologies de l'information. La célèbre « Loi de Moore¹⁴ », qui prédisait la multiplication par deux de la puissance de calcul des ordinateurs tous les 24 mois devrait y trouver un nouvel élan. En substituant aux procédés photo-lithographiques de conception des composants un procédé nanométrique (*bottom-up*), rassemblant les macromolécules entre elles pour construire des architectures complexes, les technologies informatiques s'assureront dans un futur proche un matériel plus performant, plus petit et à moindre coût. L'ingénierie nanomorphique est le domaine qui tente de calquer le fonctionnement des ordinateurs de demain sur celui de notre cerveau. De plus, le développement et l'emploi de la computation quantique, qui utilise directement les propriétés quantiques de certains nanomatériaux (points quantiques), permettrait d'envisager à terme un développement exponentiel des capacités de calcul des outils informatiques. La fameuse thèse de David Deutsch évoque d'ailleurs la possibilité, pour de grands ordinateurs de 300 qubits et plus, de simuler le comportement de l'univers.¹⁵
- Tout aussi attendu, le développement des applications novatrices en médecine, avec le diagnostic et le traitement ciblé des maladies, ou la régénération des tissus endommagés.¹⁶ La nanomédecine fait actuellement l'objet d'un développement rapide, principalement dans la lutte contre certaines maladies dégénératives comme le cancer. Le nanodiagnostic, qui permet l'élaboration et le développement des tests *in vitro*, *in vivo*, voire *in utero*, de détection précoce et de surveillance plus efficiente des maladies grâce, notamment, à la nanoimagerie et à des dispositifs implantables, représenterait un marché à très forte croissance, passant de 10 millions d'euros actuellement à 1 milliard d'euros d'ici 2025.¹⁷ En outre, ce développement des tests au moyen des nanotechnologies pourrait accélérer la découverte, les essais et la commercialisation de nouveaux médicaments, par exemple en analysant directement l'ADN, et en réduisant de façon drastique les coûts de recherche et développement. Aux États-Unis, la croissance de ce secteur est estimée à 17% entre 2010 et 2014, et la demande pourrait passer de 34 milliards de dollars actuellement à 150 milliards d'ici 2019.¹⁸ Plus que dans tout autre domaine, la question des risques occupe l'attention des chercheurs. Le comportement des nanoparticules et leur capacité à franchir la barrière placentaire et hémato-encéphalique, ainsi qu'à interférer avec le matériel génétique et les processus de régulation divise la recherche en nanotoxicologie.

14 G.E. Moore, « Cramming more Components into Integrated Circuits », *Electronics*, 38, 1965, p. 56-59.

Pour plus de détails sur les promesses de croissance exponentielle du potentiel informatique :

F. Allahoff et al., *What is Nanotechnology and why does it matter ?*, p. 65.

15 D. Deutsch, *The Fabric of Reality*, Penguin Ed., New York, 1997, p 194.

16 Cf. Le programme de l'assemblée générale de l'European Technology Platform Nanomedicine à Milan, le 14 et 15 octobre 2010.

17 Cf. « ETPN Expert Report 2009 », *European Technology Platform Nanomedicine*, p.12. Disponible en ligne.

18 Cf. Le rapport disponible en ligne : <http://www.freedoniagroup.com/brochure/26xx/2622smwe.pdf>

- Souvent évoqués parallèlement à la nanomédecine, bien qu'ils n'y trouvent pas leur unique application, les nanobots (ou nano-robots), conçus au départ de nanomatériaux, pourraient assurer des tâches dans des environnements aussi difficiles que l'espace interstellaire ou le système circulatoire humain. Ils pourraient accéder directement à l'intérieur des cellules, de manière à contrer certaines de leurs déficiences ou améliorer leur fonctionnement. Selon les estimations, si la miniaturisation continue d'avancer au rythme actuel dans les 10 prochaines années, la recherche sera capable de loger 2500 transistors dans une cellule vivante.¹⁹ Les chercheurs conçoivent également la possibilité théorique de nanobots capables de s'auto-répliquer.²⁰
- Si la nanomédecine et les nanobots n'en sont encore qu'à leurs débuts, les micro-puces intégrées au corps humain et contenant toutes sortes de données permettant d'identifier la personne voire de connaître son état de santé sont déjà une réalité : RFID (Radio Frequency Identification), VeriChip™, mais aussi prothèse visuelle, voire hippocampe artificiel capable de restaurer ou d'augmenter la faculté de mémoire.²¹ La rencontre entre les nanotechnologies et les technologies de l'information et de la communication (ICT) permettent d'envisager de nouvelles possibilités en termes de prothèses cérébrales et nerveuses, mais aussi de systèmes de sécurité, de surveillance et d'identification personnelle. Les ICT sont considérées comme une priorité par le 7ème programme-cadre de la recherche de l'Union Européenne, et comme génératrices à la fois de croissance, de productivité et d'innovation.²² Avec un budget de 9,1 milliards d'euros, soit 64% du budget total du programme-cadre 2007-2013, elles représentent de loin le programme spécifique de recherche le plus important pour cette période.
- L'environnement, le traitement des sols et des eaux, la prévention de la pollution ainsi que les énergies vertes constituent un autre débouché important pour les nanotechnologies.²³ Les SAMMS (Self-Assembled Monolayers on Mesoporous Supports), par exemple, utilisent une structure de silicium dont les pores peuvent, suivant leur agencement, capter les particules de plomb, de mercure, d'arsenic ou même les radioéléments présents dans un environnement pollué, en utilisant leur ratio volume/surface élevé et la réactivité de leur surface.²⁴ Un autre exemple concret concerne l'énergie. Les actuelles ampoules à incandescence ont une efficacité d'environ 2,5%, tandis que la technologie LED, qui utilise des matériaux semi-conducteurs, présente une efficacité théorique de près de 50%.²⁵ Ces économies d'énergie, appliquées à différents domaines et produits industriels, pourraient s'avérer importantes à grande échelle. Ces deux exemples sont cependant susceptibles d'être davantage appliqués dans les pays développés, qui dégagent des moyens conséquents pour la recherche et présentent aussi de

19 Cf. <http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=15292.php>

20 F. Allahoff *et al.*, *What is Nanotechnology and why does it matter?*, p. 67.

21 TW. Berger *et al.*, « Restoring Lost Cognitive Functions », *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine* 24(5), October 2005, p. 30-44.

22 « Work Programme 2011-2012 », *Information and Communication Technologies*, European Commission, 2010.

23 L. Li *et al.*, « Synthesis, Properties, and Environmental Applications of Nanoscale Iron-Based Materials : A review », *Critical Review in Environmental Science and Technology*, vol. 36, n°5, 2006, p. 405-431

24 W. Yantasee, « Nanostructured Electrochemical Sensors Based on Functionalized Nanoporous Silica for Voltammetric Analysis of Lead, Mercury and Copper », *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 5.9, 2005, pp. 1537.

25 F. Allahoff *et al.*, *What is Nanotechnology and why does it matter ?*, p.166.

meilleurs débouchés, que dans les pays en développement, qui sont pourtant de plus en plus touchés par les problèmes d'énergie et de dégradation de l'environnement. Les nanotechnologies permettraient à terme la mise sur le marché de surfaces photovoltaïques plus performantes (fullerènes et polymères), facilitant notamment l'accès à l'électricité dans certaines communautés rurales du Sud, et augmentant son stockage grâce à de nouvelles batteries (nanotitane). Mais la question du coût de ces technologies demeure un problème. En outre, malgré ces nouvelles et prometteuses applications, la toxicité des nanomatériaux ainsi que leurs possibles effets sur l'environnement (cycle de vie) restent encore mal connus.

- L'efficacité exponentielle promise par les nanotechnologies peut aussi trouver un terrain d'application inattendu : celui de l'humain. Ici, la frontière entre le thérapeutique et l'amélioration des capacités est parfois ténue. Du développement des respirocytes, ces globules rouges artificielles qui agissent comme des réservoirs d'oxygènes²⁶, aux implants oculaires avec vision nocturne et télescopique, les nanotechnologies annoncent l'intégration de l'électronique et de l'humain. Les appareils que nous utilisons tous les jours comme les ordinateurs, les téléphones portables ou les GPS pourraient à terme se retrouver insérés dans notre corps : en économisant ainsi temps et énergie, et en augmentant notre propre efficacité.²⁷ De manière générale, l'amélioration de nos capacités physiques et mentales par la cybernétique n'appartient plus au domaine de l'imaginaire, et s'annoncerait même comme le débat le plus important de la science au 21^{ème} siècle.²⁸ Ces découvertes intéressent évidemment le domaine militaire. Ainsi, aux États-Unis, le Département de la Défense consacre par an plus de 400 millions de dollars à l'exploration des applications militaires des nanotechnologies.²⁹

II. La régulation des nanotechnologies

A. Au niveau européen

Le débat sur les risques et les enjeux sociétaux des nanotechnologies a pris une ampleur considérable à travers le monde ces dix dernières années. En Europe, la Commission lança dès 2003 le réseau thématique des nanoforums qui, en 2004, proposa un débat sur les aspects éthiques, légaux et sociétaux, ainsi que sur les bénéfices et les risques des nanotechnologies. L'idée qu'aux nouvelles possibilités ouvertes par ces technologies devait aussi correspondre un cadre législatif n'en était pas absente. Ce dernier se donnait pour but non seulement de prévenir les risques sanitaires et environnementaux en établissant de nouvelles procédures de contrôle et de tests mieux adaptés aux produits, mais aussi de réguler le problème des brevets, des accords commerciaux internationaux, et d'éviter une répartition inégale de la prospérité issue des nanotechnologies. Le 6^{ème} programme-cadre de la recherche (2002-2006) ne consacrait pas moins de 1,3 milliards d'euros aux nanotechnologies, et stipulait explicitement la

26 R. Freitas, « Exploratory Design in Medical Nanotechnology : A Mechanical Artificial Red Cell », *Biotechnology* 26, 1998, pp. 411-430.

27 K. Warwick *et al.*, "On Linking Human and Machine Brains", *Neurocomputing*, Vol.71, Issues 13-15, 2008, pp.2619-2624.

28 F. Allahoff *et al.*, *What is Nanotechnology and why does it matter?*, p. 238.

29 Cf. <http://www.nano.gov/html/res/pdf/DefenseNano2007.pdf>

nécessité d'une recherche sur leurs impacts éthiques, légaux et sociaux (ELSA).³⁰ Une communication de la Commission qui reprenait ces exigences fut envoyée au Parlement et au Conseil le 12 mai 2004.³¹ Elle contenait en germe l'idée d'un code de conduite, idée consacrée le 7 juin 2005 avec l'adoption par la Commission d'un plan d'action pour les nanotechnologies.³²

Deux ans plus tard, le 1^{er} juillet 2007, entré en vigueur le règlement REACH³³, dont le contenu vise à encadrer l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et la restriction des produits chimiques, et qui représente, au niveau européen, l'un des textes les plus importants de ces 20 dernières années. Mais ce texte de 849 pages, considéré aussi comme le plus complexe de la législation de l'Union, est dépourvu de toute référence spécifique aux nanomatériaux. Si une extension logique de la définition de « substance » ainsi que du principe de précaution peut certes suffire à couvrir une série d'aspects relatifs aux nano-objets (notion de « particules fines ») beaucoup d'autres, dont la mention explicite de la taille de ces matériaux ou celle des connaissances sur leur toxicité échappent totalement à ces définitions.

Les insuffisances de REACH, notamment au niveau des tests et de l'évaluation des risques liés aux nanotechnologies, sont d'ailleurs reconnues explicitement dans une communication³⁴ adressée le 17 juin 2008 au Parlement et au Conseil, mais également soulignée par d'autres organisations extérieures, dont la Royal Commission on Environmental Pollution, au Royaume-Uni, dans un rapport intitulé : « Submission of Written Evidence to the Study of Novel Materials ».³⁵

Le 7 février 2008, la Commission publie une recommandation « concernant un code de bonne conduite pour une recherche responsable en nanosciences et nanotechnologies », qui décline une série de principes à l'attention du public, des politiques et de la recherche, énonçant entre autres que les nanotechnologies doivent servir le bien-être des personnes et de la société, et rappelant l'attache au principe de précaution : « *Étant donné le manque de connaissances concernant les retombées potentielles des nano-objets sur l'environnement et sur la santé, les États membres appliquent le principe de précaution afin de protéger non seulement les chercheurs, qui seront les premiers au contact des nano-objets, mais également les professionnels, les consommateurs, les citoyens et l'environnement, dans le cadre des activités de recherche en nanosciences et nanotechnologies.* »³⁶ L'absence, dans ce code de bonne conduite, de toute référence à une institution de contrôle des nanomatériaux nouvellement mis sur le marché, en restreint cependant la portée.

L'importance, déjà évoquée en 2004, d'étudier les aspects éthiques, légaux et sociétaux des nanotechnologies (ELSA) sera une nouvelle fois rappelée dans un rapport de la Commission le 1^{er} octobre 2008. Ce rapport met l'accent sur la part importante du budget et sur les projets consacrés à ces études, au sein du 7^{ème} Programme-Cadre de la recherche (2007-2013). Sur les 50 milliards d'euros dont est doté ce Programme-Cadre, environ 3,5 milliards d'euros seront spécifiquement alloués aux nanotechnologies, soit

30 « Benefits, Risks, Ethical, Legal and Societal Aspects of Nanotechnology », 4th Nanoforum Report, June 2004, p. 204.

31 COM (2004) 338.

32 COM (2009) 607.

33 REACH, EC 1907/2006.

34 COM (2008) 366.

35 Disponible en ligne : <http://www.rcep.org.uk/reports/27-novel%20materials/documents/HSE.pdf>

36 COM (2008) 424.

près du triple par rapport à la période précédente. La part dédiée aux recherches ELSA est elle aussi en augmentation.³⁷

Le 30 novembre 2009, l'Europe adopte un nouveau règlement sur les produits cosmétiques et les aliments qui prend en compte le développement et l'utilisation des nanomatériaux, et qui impose désormais d'en informer le consommateur. Il s'agit d'un des premiers textes du genre. La plupart des dispositions de ce règlement ne devrait cependant pas entrer en application avant le 11 juillet 2013.³⁸

B. Au niveau belge

La Belgique a pour sa part, lancé plusieurs débats sur les nanotechnologies. En juin 2005, l'Institut Samenleving & Technologie (anciennement viWTA) propose un échange entre scientifiques, politiciens et public qui entend présenter l'état de la recherche ainsi qu'un aperçu des éventuels problèmes de régulation. À cette époque, les scientifiques se plaignirent qu'un excès de discussions risquait d'entraver le développement des nanotechnologies en Belgique et en Europe.³⁹

Le 28 mai 2009, une proposition de résolution relative aux nanosciences et nanotechnologies, déposée par Mme Avontroodt (Open Vld) est adoptée par la Chambre des Représentants.⁴⁰ Peu précis quant à leur formulation, et parfois en décalage avec la réalité de la recherche et du marché, les douze points (A-L) de cette résolution ont tout de même le mérite d'apporter un écho aux discussions européennes sur le sujet et de définir le cadre général d'une éventuelle politique fédérale, même si leur portée demeure tout à fait symbolique du fait de leur caractère non-contraignant. Le préambule du texte met largement en avant le potentiel économique que représentent les nanotechnologies. Il rappelle la stratégie de Lisbonne et la volonté de développer une « économie de la connaissance » qui soit « la plus compétitive et la plus dynamique du monde », et en même temps la nécessité de contrer les conséquences de la crise bancaire afin d'éviter une récession économique. La priorité de la recherche s'établit clairement à l'aune du rendement économique mesurable (H). Seuls deux des dix points que compte le préambule, évoquent des préoccupations autres que la simple compétitivité économique en se référant notamment aux notions de convergence scientifique (2) et de risques toxicologiques (6). Il convient cependant de relever que, dans son ensemble, la résolution s'efforce davantage de réunir que d'opposer développement durable et développement économique, et souhaite « veiller à un développement responsable des nanotechnologies répondant aux attentes de la population, afin, nuance-t-elle toutefois, de préserver et d'accroître la confiance du public et des investisseurs dans les nanotechnologies » (E).

De manière générale, ce texte ne se borne pas à articuler simplement les dispositions européennes déjà prises sur les nanotechnologies : en évoquant le code de bonne conduite de 2008 et le 7^{ème} Programme-Cadre (J), il émet aussi le souhait de dresser un inventaire des recherches menées dans l'ensemble de l'Union Européenne, à commencer par la Belgique. Il prévoit en outre la tenue d'un rapport annuel au Parlement

37 « European activities in the Field of ethical, legal and social aspects (ELSA) and governance of nanotechnology », 2008, p. 12.

38 Regulation EC 1223/ 2009.

39 Benefits, Risks, Ethical, Legal and Societal Aspects of Nanotechnology », 4th Nanoforum Report, 2, 2005, p. 224.

40 « Résolution relative aux nanosciences et aux nanotechnologies », 28 mai 2009.

fédéral sur le développement, les budgets et les mesures prises quant à la gestion des risques relatifs aux nanotechnologies (L).

Mais du fait de son caractère non-contraignant et de la présence de certaines lacunes, notamment sur la forme, que devrait adopter cette collaboration entre chercheurs (pluridisciplinarité, multidisciplinarité ou interdisciplinarité?⁴¹), et entre ces derniers et la société civile, cette simple déclaration, si elle a le mérite de poser un horizon à une future régulation de la recherche et à la mise sur le marché des nanotechnologies, demeure tout à fait provisoire. Du fait aussi qu'elle se heurte à la réalité du fédéralisme belge, et souffre d'une certaine méconnaissance de la part du public, cette résolution risque bien de ne pas dépasser le stade de la simple déclaration de principes, si du moins un travail de responsabilisation et d'information plus détaillé, en partenariat avec la société civile et les entités fédérées n'est pas entrepris.

Sur ce point, la France a certes montré l'exemple, avec le lancement par la Commission Nationale de Débat Public (CNDP) d'une vaste campagne de discussions et d'information au public, dès octobre 2009, dans plusieurs villes du pays. Mais ces débats se sont heurtés très tôt à de vives contestations de la part d'opposants qui en ont chahuté la tenue, considérant l'initiative comme une « officine vouée à l'acceptabilité des nanotechnologies ».⁴²

III. Aspects éthiques des nanotechnologies

Avant de proposer un bref exposé des enjeux éthiques nouveaux induits par les nanotechnologies, une clarification s'impose. Celle-ci a trait à deux notions couramment employées dans les discussions de la « nanoéthique » : le risque et le principe de précaution.

A. Le risque

Le risque est généralement évoqué en rapport au manque de connaissances et de données précises quant à une éventuelle toxicité des nanomatériaux, ou au peu d'études effectuées avant leur mise sur le marché et leur application. Ainsi, la communication de la Commission européenne du 17 juin 2008 assure que « globalement, on peut en conclure que la législation actuelle couvre dans une large mesure les risques relatifs aux nanomatériaux et que ces risques peuvent être gérés à l'aide du cadre législatif existant. »⁴³ Du côté belge, la résolution relative aux nanosciences et nanotechnologies mentionne au point (F) la nécessité d'une analyse des risques dans le cadre de la législation sur la protection du travail.

Il va de soi que le risque évoqué dans ces deux cas est un risque quantifiable, susceptible d'être évalué par un calcul de probabilité et de servir à une analyse des coûts-bénéfices. Les philosophes des sciences Bernadette Bensaude-Vincent, Jean-Pierre Dupuy et Jacques Bordé ont tour à tour dénoncé l'étroitesse de cette notion dès lors qu'elle est employée unilatéralement pour penser l'impact des nanotechnologies. Le

41 Anthony Bochon, « La résolution du 14 mai 2009 adoptée par la Chambre des Représentants de Belgique relative aux nanosciences et nanotechnologies : quelques commentaires à propos d'un texte passé inaperçu ». Disponible en ligne.

42 Cité par D. Quinio, La Croix, 5 Février 2010.

43 COM (2008) 0366, p. 4.

chercheur Jacques Bordé, à l'origine de l'auto-saisine puis de l'Avis⁴⁴ du COMETS (Comité d'éthique du CNRS) sur les nanotechnologies, publié en 2006, rappelle d'ailleurs ce qui à première vue pourrait passer pour une évidence : « la question du risque est très différente de celle de l'éthique. L'éthique est qualitative, le risque, au contraire, est une notion quantitative ».⁴⁵ Le problème avec les nanotechnologies, affirme de son côté Bernadette Bensaude-Vincent⁴⁶, « c'est qu'on n'est pas en présence de risques mais qu'on a affaire à des incertitudes », voire des rêves. Pour Jean-Pierre Dupuy, on ne peut parler de nanoéthique tant qu'on en reste à une « éthique conséquentialiste », une « analyse coût-avantage », qu'on aligne « les risques de risques tout en nous affirmant qu'ils ne sont rien face aux avantages phénoménaux que l'humanité tirera des progrès de la science ».⁴⁷

À travers ces mises au point, il n'en va pas seulement d'une simple question de discours : en rabattant un sens sur l'autre on en vient à penser scientifiquement un problème éthique, ou au contraire à interférer avec une démarche nécessairement scientifique. Aussi essentielle soit-elle, la question des risques sanitaires et environnementaux est à distinguer clairement d'une réflexion plus générale sur la vision de l'humain et de la société envisagée à long terme. Cette distinction évite nombre de confusions et ne paraît aller à l'encontre ni de la recherche scientifique et des possibilités extraordinaires qu'elle nous offre, ni d'un bien-être économique et humain auquel toute société aspire.

Aussi la réflexion éthique sur les nanotechnologies demande-t-elle de penser plus loin que sous l'angle, par ailleurs fort limité, du risque. À ce titre, la célèbre analyse de Sven Ove Hansson sur le risque⁴⁸, si elle a le mérite de souligner la complexité de cette notion en y distinguant pas moins de cinq sens différents : risque comme événement non-voulu, comme cause de cet événement, comme sa probabilité, sa valeur statistique ou comme décision éclairée par cette connaissance (seuls les deux premiers sens ne sont pas strictement quantitatifs), nécessite d'être complétée par une réflexion plus générale sur la poursuite d'un projet de société qui ne se limite pas à la performance humaine ou économique. Les nanotechnologies, de par la convergence inédite qu'elles inaugurent entre sciences de l'information, sciences du vivant, sciences cognitives, chimie et physique peuvent ainsi servir de catalyseur pour une réflexion plus radicale sur l'opportunité des applications de la recherche pour le développement de la société à long terme. Reste qu'une des premières tâches qui incombe à l'éthique dans ce domaine reste sans aucun doute une tâche critique, celle de faire le départ entre une perception « humaine » des enjeux des nanosciences et l'évaluation « économique » de leur développement et de leur application, tant la question du risque a imprégné l'entièreté du débat sur les nanotechnologies.

44 « Avis : Enjeux éthiques des nanosciences et des nanotechnologies », CNRS, 12 octobre 2006. Disponible en ligne.

45 Interviewé par Sagascience en août 2006.

Disponible en ligne : www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosnano/decouv/04/04_3/00_1.htm

46 Cf. D. Sergeant, La Croix, 15 décembre 2009. Voir aussi B. Bensaude-Vincent, *Les vertiges de la technoscience. Façonner le monde atome par atome*, Paris, Editions La Découverte, 2009.

47 J.-P. Dupuy, « La Nanoéthique existe-t-elle? », *Les Cahiers du Comité Consultatif National d'Ethique*, n°52, 2007, p. 44.

48 Sven Ove Hansson, « Philosophical Perspectives on Risk », *Techné*, 8.1, 2004, p. 10.

B. Le principe de précaution

Une autre tentation serait de vouloir palier les défauts d'une analyse des risques quantifiables par la notion du principe de précaution.

Ce principe est rappelé dès l'entame du code européen de bonne conduite sur les nanosciences et les nanotechnologies : « *La Commission a adopté en février 2000 une communication concernant le recours au principe de précaution, qui vise à établir un accord sur la manière d'évaluer, d'apprécier, de gérer, et de communiquer les risques que la science n'est pas en mesure d'évaluer pleinement*⁴⁹ ». Ainsi que nous l'avons souligné un peu plus haut, ce principe occupe une place importante dans le code européen de bonne conduite : « *Étant donné le manque de connaissances concernant les retombées potentielles des nano-objets sur l'environnement et sur la santé, les États membres appliquent le principe de précaution (...)*⁵⁰ ». Mais ce principe est encore au centre du règlement REACH⁵¹, et nous avons vu qu'il permettait l'extension de ses dispositions aux nanomatériaux, qui, comme tels, en étaient explicitement absents.⁵²

Contrairement à une approche uniquement fondée sur le risque, dont on vient de souligner toutes les insuffisances, ce principe insisterait davantage sur une élaboration à plus long terme des applications et de l'usage des produits de la recherche, et une plus grande participation de l'opinion publique. Si l'on se réfère à la Communication du 2 février 2000 à laquelle il est fait mention dans le Code de bonne conduite sur la recherche en nanosciences et nanotechnologies de 2008, il ressort en effet que : « *La dimension du principe de précaution dépasse les problématiques associées aux risques à un horizon de court ou de moyen terme. Elle concerne également des concepts dont la portée temporelle est davantage le long terme et le bien-être des générations futures*⁵³. »

Autrement dit, là où le risque se bornait à une approche quantifiable, et visait des objectifs à court terme, le principe de précaution adopterait une perspective plus générale et à plus long terme. Cette approche optimiste doit cependant être nuancée pour deux raisons : d'une part, il existe une multitude de définitions du principe de précaution : Dans la charte mondiale pour la nature, adoptée par l'assemblée générale des Nations Unies en 1982, il est évoqué comme *l'abstention* d'entreprendre des activités dont les effets nuisibles ne sont pas connus.⁵⁴ L'article 15 de la Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement de 1992 adopte une formulation quelque peu différente : « l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard *l'adoption* de mesures effectives visant à prévenir la dégradation de l'environnement. » Cette double négation revient au final à dire le contraire de la précédente citation. Enfin, la communication de la Commission du 2 février 2000 sur le recours au principe de précaution, déjà citée plus haut, constate l'absence de définition fixe pour ce principe, et se borne à renvoyer aux instances juridictionnelles le soin d'en définir les contours et la portée. Rien ne s'oppose ainsi à ce que son sens « soit influencé par les valeurs sociales et politiques prévalant dans une société. »⁵⁵ Est-ce à dire, en postulant par exemple une

49 C (2008) 424, p. 2.

50 C (2008) 424, p. 10..

51 Voir, par exemple, le considérant 9 de ce règlement.

52 Encore que la question du principe de précaution pose problème, Cf. S. F. Hansen et al., « Chemicals regulation and precaution : does REACH really incorporate the precautionary principle », *Environmental Science & Policy*, Vol. 10, 5, August 2007, p.395-404

53 COM (2000) 1, p. 7.

54 Charte Mondiale pour la nature, A/RES/37/7, 28 octobre 1982 (considérant 11b).

55 COM (2000) 1, p. 9.

société imaginaire où les valeurs sociales et politiques prépondérantes **seraient** la compétitivité économique et l'efficacité technique, que le principe de précaution s'établirait donc à l'aune de ces deux valeurs ?

La seconde raison qui appelle une lecture critique de ce principe, est le lien étroit qu'entretient ce dernier avec l'analyse des risques au sens où nous l'avons définie plus haut. Aussi peut-on lire un peu plus loin dans la même Communication sur le recours au principe de précaution : « *La Commission estime que les mesures appliquant le principe de précaution s'inscrivent dans le cadre général de l'analyse de risque, et plus particulièrement dans la gestion du risque*⁵⁶ ». Autrement dit, la différence entre le risque tel que nous l'avons examiné dans le paragraphe précédent et le principe de précaution tel qu'il est ici envisagé, se rapporterait tout au plus à une subordination du second au premier, et à une différence de perspective temporelle : à court terme pour le risque, à long terme pour le principe de précaution. Reste qu'ils apparaissent tous deux *in fine*, comme faisant partie intégrante de la même approche. En fait, il semblerait qu'il ne puisse en être autrement. Le risque 0 n'existant pas, si le principe de précaution adoptait la forme d'une abstention pure et simple dès qu'émergeait la probabilité même infime d'un événement risqué, aucune décision ne serait possible : « si le principe de précaution devait faire autre chose qu'une analyse coût-bénéfice, il deviendrait alors paralysant.⁵⁷ »

Ces éclaircissements sur les notions de risque et de principe de précaution, si elles ne peuvent prendre ici la forme que d'ébauches, visent cependant à montrer que ces notions ne sont pas aussi évidentes qu'il semblerait de prime abord. Fonder uniquement un projet de société sur ces deux principes, ainsi que le Code de bonne conduite sur les nanotechnologies tendrait à le faire, reviendrait au mieux à assurer un minimum de responsabilité à la recherche et au marché, au pire à tromper l'opinion publique sur les risques réels encourus.

C. Des enjeux éthiques pluriels

Les deux paragraphes précédents n'ont pas pour but de détourner la réflexion éthique des risques afférents aux nanotechnologies, mais d'indiquer qu'en plus de dénoncer ceux-ci, cette réflexion doit surtout s'attacher à poser les bases d'un questionnement sur l'opportunité de la course à la compétitivité scientifique et économique, et à rendre au public les moyens de décider en toute objectivité de l'importance d'engager l'avenir de la société dans une voie plutôt qu'une autre.

La nature des nanotechnologies, à la convergence des sciences biomédicales, de la chimie, des sciences cognitives et des technologies de l'information, offre un visage diversifié qui réclame en retour une approche plurielle de la part de la réflexion éthique. Où établir la frontière entre thérapeutique et transhumanisme dans la nanomédecine?⁵⁸ Comment s'assurer que les implants ICT (information and communication technologies) respectent l'intégrité de la personne et sa vie privée? Quelle est le but recherché et la vision à long terme de l'usage, peu discriminatoire au niveau de leurs effets, des nanomatériaux par le marché? Une meilleure productivité, une efficacité accrue et à moindre coût, en vue non pas d'un développement harmonieux pour l'humain mais de

56 COM (2000) 1, p. 13.

57 F. Allhoff *et al.*, *What is Nanotechnology and why does it matter?*, p. 91.

58 « Ethical Aspects of ICT implants in the human body », *European Group on Ethics in Science and New Technologies in the European Commission : Opinion*, 20, 2005, p. 65.

profits accrus pour l'industrie, à laquelle une analyse rationnelle des risques suffirait à donner bonne conscience? Et que dire du respect du vivant, menacé par une technologie qui s'introduit jusqu'aux tréfonds de l'ADN sans doute pour dévoiler et supprimer les risques de maladies génétiques, mais peut-être aussi pour débarrasser un jour l'humain de toute imperfection, voire pour lui conférer des facultés jusque là inaccessibles? En outre, si comme en témoignent les budgets colossaux consacrés à la recherche, les débouchés sont certes très prometteurs pour les régions du monde qui ont fondé leur développement sur la connaissance, et qui jouissent déjà de très haut niveau de vie, qu'en est-il pour les nations qui n'ont pas les moyens de soutenir cette course aux découvertes scientifiques, ni d'avoir accès aux technologies les plus utiles? Sans parler de l'information au public et aux décideurs, qui ne s'énonce pas uniquement en des termes propices à la polémique, c'est-à-dire qui fasse l'effort de se départir d'une approche en termes d'analyse des risques et de coût-bénéfice.

Les recherches de types ELSA entreprises par l'Union européenne, et le travail de responsabilisation des chercheurs initiés par le COMETS (CNRS), les débats avec la société civile du CNDP en France – même s'ils laissent peu de marges au public – les multiples publications et les sites d'informations aux États-Unis, ainsi que les tentatives de légiférer⁵⁹ dans ce domaine, constituent déjà des avancées notables. Mais pour saisir le renversement à long terme annoncé par les technologies, et affronter la complexité de ses champs d'application, il faudra aussi se départir d'une éthique sur mesure et adopter une approche sectorielle.⁶⁰ Une éthique mieux adaptée à chaque domaine de compétences et pourtant concentrée vers un même objectif : celui d'être attentif aux besoins fondamentaux de l'humain qui, au-delà de ce que peuvent lui fournir les promesses démesurées du marché et les potentialités exponentielles de la médecine, lui offrent aussi une chance de réexaminer, avec une vue qui ne soit ni grossissante ni déformante, son rapport à lui-même, aux autres et à l'environnement.

Dossier réalisé par **Johan COLLARD**

Institut Européen de Bioéthique
205 Chaussée de Wavre – B-1050 Bruxelles
secretariat@ieb-eib.org

www.ieb-eib.org



59 Cf. S. Lacour, S. Desmoulin-Canselier, « Le droit à l'épreuve des nanotechnologies ou les nanotechnologies à l'épreuve du droit », *Nanosciences 4 : Nanotoxicologie, Nanoéthique*, 2010.

60 Entretien avec Jacques Bordé, 11 octobre 2010.