



LA NANOTECHNOLOGIE

Daniel Brassard
Geneviève Smith
Division des sciences et de la technologie

Le 14 mai 2002

PARLIAMENTARY RESEARCH BRANCH
DIRECTION DE LA RECHERCHE PARLEMENTAIRE

La Direction de la recherche parlementaire de la Bibliothèque du Parlement travaille exclusivement pour le Parlement, effectuant des recherches et fournissant des informations aux parlementaires et aux comités du Sénat et de la Chambre des communes. Entre autres services non partisans, elle assure la rédaction de rapports, de documents de travail et de bulletins d'actualité. Les attachés de recherche peuvent en outre donner des consultations dans leurs domaines de compétence.

**THIS DOCUMENT IS ALSO
PUBLISHED IN ENGLISH**

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
QU'EST-CE QUE LA NANOTECHNOLOGIE?	2
HISTOIRE DE LA NANOTECHNOLOGIE	2
AVANTAGES POSSIBLES DE LA NANOTECHNOLOGIE	4
INVESTISSEMENT DE L'ÉTAT DANS LA NANOTECHNOLOGIE	5
QUESTIONS PRÉOCCUPANTES	6
OBSTACLES TECHNIQUES	8
CONCLUSION	9
ANNEXE : AUTRES APPLICATIONS POSSIBLES DE LA NANOTECHNOLOGIE	



CANADA

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

LA NANOTECHNOLOGIE

INTRODUCTION

D'entrée de jeu, la nanotechnologie a été présentée comme la technologie qui pourrait « tout révolutionner » et avoir un impact énorme sur presque toutes les disciplines scientifiques et les techniques humaines. Elle a frappé l'imagination des scientifiques et des décideurs, parce qu'elle intervient au niveau où sont définies les propriétés électroniques, chimiques et biologiques de base des matériaux⁽¹⁾. Bien qu'elle en soit encore à ses premiers pas, la nanotechnologie, selon plusieurs, sera à l'origine de la prochaine révolution industrielle⁽²⁾. Les gouvernements du monde entier, y compris celui du Canada, consacrent des centaines de millions de dollars chaque année au financement de la recherche et du développement dans le domaine de la nanotechnologie. Reste à voir si les promesses que fait miroiter cette technologie qui fait tant de bruit se réaliseront.

QU'EST-CE QUE LA NANOTECHNOLOGIE?

Pour une discipline dans laquelle on a tant investi, la nanotechnologie demeure singulièrement difficile à définir. Essentiellement, il s'agit de la technologie à l'échelle du nanomètre. Un nanomètre (1 nm) est une unité qui équivaut à un milliardième de mètre (10^{-9} m); à titre d'illustration, un nanomètre représente la largeur de 10 atomes d'hydrogène

(1) P. Alivisatos, M.C. Roco et R.S. Williams (dir.), « Introduction to Nanotechnology for Nonspecialists », in *Nanotechnology Research Directions: IWGN Workshop Report: Vision for Nanotechnology R&D in the Next Decade*, National Science and Technology Council, Committee on Technology, Interagency Working Group on Nanoscience, Engineering and Technology (IWGN), septembre 1999, p. xxv-xxx.

(2) *Nano: the new buzzword in science and technology*, CORDIS Focus, n° 162, 20 novembre 2000, p. 4-5.

alignés⁽³⁾. Le diamètre d'un globule rouge est d'environ 800 nm, alors que celui d'un cheveu humain oscille autour de 200 000 nm⁽⁴⁾. Ces dernières années, cependant, le préfixe « nano » est devenu à ce point populaire (certains ont fait valoir que le préfixe nano pourrait devenir aussi « dangereux » que le suffixe .com)⁽⁵⁾ que son sens exact a été quelque peu occulté. Dans certains cas, il ne s'agit pas de « nanotechnologie » mais de « microtechnologie », une échelle mille fois plus grande⁽⁶⁾. Dans d'autres cas, il ne s'agit pas vraiment de technologie mais plutôt de recherches fondamentales à l'échelle nanométrique⁽⁷⁾.

On peut néanmoins définir en gros la nanotechnologie comme la création de matériel, de dispositifs et de systèmes utiles par la manipulation de la matière à l'échelle nanométrique et l'exploitation des propriétés et phénomènes nouveaux produits à cette échelle⁽⁸⁾. C'est à ce niveau, entre l'infiniment petit et le monde macroscopique, qu'existe « l'échelle moyenne », l'univers où la matière est régie par un ensemble complexe de lois relevant de la mécanique quantique et de la physique classique, un monde unique qu'on ne fait que commencer à comprendre⁽⁹⁾. Puisque l'échelle nanométrique englobe non seulement les ensembles d'atomes individuels, mais aussi de plus grosses structures comme les protéines et toutes les entités intermédiaires, la recherche dans ce domaine table sur les connaissances acquises en chimie, en physique, en science des matériaux et en biologie moléculaire, et acquiert ainsi une dimension vraiment multidisciplinaire.

HISTOIRE DE LA NANOTECHNOLOGIE

Alors que la science spéculait depuis des siècles sur les atomes, ce n'est que depuis peu que nous disposons des outils nécessaires pour les examiner. En 1959, le physicien Richard

(3) Le préfixe « nano » vient d'un mot grec qui signifie nain. Selon le Système international d'unités (SI), il correspond à une unité un milliard de fois plus petite que l'unité de base, ou à un ordre de grandeur neuf fois inférieur (http://www.bipm.fr/fra/3_SI/si-prefixes.html).

(4) « Nanotechnologie et nanosciences », Conseil national de recherches du Canada (http://www.nrc.ca/nanotech/about_f.html).

(5) Ian Sample, « Small Visions, Grand Designs », *New Scientist*, 6 octobre 2001, p. 31-37.

(6) Gary Stix, « Little Big Science », *Scientific American*, vol. 32, septembre 2001, p. 32-37.

(7) *Ibid.*, p. 34.

(8) Alivisatos, Roco et Williams, p. xxv.

(9) Michael Roukes, « Plenty of Room, Indeed », *Scientific American*, vol. 32, septembre 2001, p. 48-57.

Feynman a donné un exposé au California Institute of Technology intitulé « There's Plenty of Room at the Bottom » (Il y a beaucoup de place au fond). Cet exposé souvent cité devait devenir un tournant dans l'histoire de la nanotechnologie. « Je ne crains pas de considérer la question finale de savoir si, en bout de ligne – dans le futur – nous pourrions manipuler les atomes de la façon dont nous voulons : les *atomes* eux-mêmes, jusqu'à l'élément le plus petit! Qu'arriverait-il si nous pouvions manipuler les atomes un par un, à notre guise? »⁽¹⁰⁾ Il aura fallu attendre 15 ans avant qu'un chercheur de l'Université de Tokyo ne crée le mot « nanotechnologie », mais le discours de Feynman est considéré en général comme la première discussion scientifique sérieuse sur le sujet⁽¹¹⁾.

Richard Smalley et son équipe à l'Université Rice ont fait en 1985 la découverte la plus connue en nanotechnologie. En vaporisant du carbone et en le laissant se condenser, les chercheurs ont remarqué que les atomes de carbone s'étaient disposés selon une structure cristalline extrêmement stable. La forme de cette structure de 60 atomes ressemblait à celle des dômes géodésiques inventés par l'architecte R. Buckminster Fuller, d'où le surnom de « buckminsterfullerènes », remplacé bientôt par celui de « buckyballs »⁽¹²⁾. Smalley et ses collègues devaient plus tard mériter le Prix Nobel de 1996 en chimie. Des travaux plus récents ont mené à la découverte des nanotubes de carbone. Ces structures, semblables aux fullerènes, sont des feuilles d'atomes de carbone, recouvertes de milliers d'atomes sur leur longueur et roulées pour former un cylindre. Selon la façon dont ils sont enroulés, ces minuscules tubes peuvent se comporter comme des métaux, des semiconducteurs ou une combinaison des deux⁽¹³⁾. D'après des chercheurs de la NASA, les nanotubes sont 100 fois plus résistants que l'acier, mais leur poids ne s'élève qu'à un sixième de celui de ce métal. Bien que leur production industrielle ne soit pas pour demain, les nanotubes laissent entrevoir la possibilité qu'on puisse un jour produire des ordinateurs et des vaisseaux spatiaux légers et super-efficaces⁽¹⁴⁾.

(10) Richard P. Feynman, « There's Plenty of Room at the Bottom: An Invitation to Enter a New Field of Physics » (traduction), texte complet disponible à <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>.

(11) « Nanotech Executive Summary », *Technology Review*, 12 octobre 2001 (<http://www.technologyreview.com/articles/nanotech101.asp>).

(12) *Ibid.*

(13) *Ibid.*

(14) Margaret Munroe, « Small Miracles », *National Post*, 21 janvier 2002.

C'est un des grands paradoxes du développement de la nanotechnologie que l'ouvrage qui devait populariser ce domaine devait également nuire le plus à sa réputation comme science crédible. *Engines of Creation*, publié en 1986 par Eric Drexler, chercheur au Massachusetts Institute of Technology, demeure à ce jour l'un des livres les plus controversés sur la nanotechnologie⁽¹⁵⁾. Bien que de nombreux universitaires aient ridiculisé ce contrôle presque divin de la matière envisagé par l'auteur, *Engines of Creation* et les nombreux ouvrages de science-fiction qui s'en sont inspirés ont éveillé l'intérêt du public envers la nanotechnologie, intérêt dont les chercheurs continuent de bénéficier⁽¹⁶⁾. Cet intérêt s'est accentué en 1990, lorsque des chercheurs de la société IBM ont surpris le monde en épelant le sigle de leur entreprise à l'aide d'atomes de xénon sur une surface de nickel. C'était la première fois qu'on avait réussi à construire quelque chose en manipulant délibérément des atomes individuels.

AVANTAGES POSSIBLES DE LA NANOTECHNOLOGIE

La nanotechnologie pourrait avoir un retentissement énorme sur presque toutes les facettes de l'activité humaine, notamment l'industrie automobile et aéronautique, l'électronique et les communications, les produits chimiques et la production de matériaux, les produits pharmaceutiques, les soins de santé, les sciences de la vie, l'industrie manufacturière, la protection de l'environnement, les technologies énergétiques, l'exploration de l'espace et la sécurité nationale. Voici quelques-unes des applications particulières possibles :

- matériaux renforcés par des nanoparticules qui sont plus forts mais plus légers que les matériaux existants;
- amélioration de la capacité de stockage des données et de la vitesse de traitement des ordinateurs par un facteur de plusieurs milliers à plusieurs millions;
- catalyseurs qui augmentent l'efficacité énergétique d'usines de produits chimiques et améliorent l'efficacité de combustion (réduisant ainsi les émissions de polluants) des moteurs de véhicules;
- nouveaux médicaments dotés d'une nanostructure;

(15) « Nanotech Executive Summary » (<http://www.technologyreview.com/articles/nanotech101.asp>).

(16) Stix, p. 36-37.

- systèmes d'administration de gènes et de médicaments dans des sites spécifiques du corps;
- remplacements biocompatibles de parties et de liquides de l'organisme;
- matériau pour la régénération des os et des tissus;
- photosynthèse artificielle pour obtenir une énergie propre;
- stockage sûr de l'hydrogène utilisé comme combustible propre;
- pièges miniaturisés (nanostructures) pour enlever les polluants des effluents industriels;
- véhicules spatiaux légers;
- systèmes de robotique ultra-petits et performants;
- détecteurs et agents de désintoxication de produits chimiques et biologiques.

Les progrès de la recherche à l'échelle nanométrique ont déjà permis aux scientifiques d'améliorer le stockage de données des ordinateurs, les piles solaires, les batteries rechargeables, les lasers et la tête des disques magnétiques⁽¹⁷⁾. Les scientifiques ajoutent à leur « boîte d'outils » nanotechnologiques de nouveaux instruments comme des pinces composées de nanotubes de carbone qui peuvent saisir des particules individuelles⁽¹⁸⁾. En empruntant les moteurs moléculaires qu'utilisent les cellules pour actionner leurs propres fonctions, les chercheurs franchissent le premier pas vers l'alimentation de dispositifs à l'échelle nanométrique⁽¹⁹⁾.

INVESTISSEMENT DE L'ÉTAT DANS LA NANOTECHNOLOGIE

En janvier 2000, le président américain Bill Clinton a annoncé la création de la National Nanotechnology Initiative (NNI), un programme auquel participent plusieurs agences et

(17) Robert F. Service, « Atom-Scale Research Gets Real », *Science*, vol. 290, n° 5496, 24 novembre 2000, p. 1524-1532.

(18) Chad A. Mirkin, « Tweezers for the Nanotool Kit », *Science*, vol. 286, n° 5447, 10 décembre 1999, p. 2095-2096.

(19) Pour y arriver, on a manipulé l'ATPase, le moteur cellulaire le plus répandu dans les formes de vie, qui fait tout, du transport de charges au fléchissement de muscles et à la copie de l'ADN. Robert F. Service, « Borrowing from Biology to Power the Petite », *Science*, vol. 283, n° 5398, 1^{er} janvier 1999, p. 27-28.

qui vise à financer la recherche en nanoscience dans un vaste éventail de disciplines scientifiques. Le gros des fonds a été affecté à la National Science Foundation, au département de la Défense et au département de l'Énergie⁽²⁰⁾. Le budget de l'année financière 2001 prévoyait donc 422 millions de dollars au titre de la nanotechnologie, ce qui représentait une augmentation de 56 p. 100 par rapport à l'année précédente⁽²¹⁾. Le budget de l'année 2002 adopté par le Congrès comportait une augmentation additionnelle de 43 p. 100, réservant 604 millions de dollars à la nanotechnologie, ce qui contrastait grandement avec la majorité des propositions budgétaires de l'administration Bush visant les agences fédérales qui financent la recherche et le développement⁽²²⁾. Partout dans le monde, les gouvernements investissent de façon énergique dans la nanotechnologie; le Japon, la Chine, Israël, l'Australie, la Corée du Sud, le Royaume-Uni et la Russie injectent chaque année près de 1 milliard de dollars dans la recherche et développement en nanotechnologie⁽²³⁾.

En août 2001, les gouvernements du Canada et de l'Alberta ont annoncé la création de l'Institut national de nanotechnologie, un nouveau centre national voué à la recherche et au développement en nanotechnologie qui sera situé à l'Université de l'Alberta. Le gouvernement fédéral et celui de l'Alberta ont promis d'investir 60 millions de dollars chacun au cours des cinq prochaines années. Par cette initiative, le Canada cherche à emboîter le pas aux États-Unis, à l'Europe et à l'Asie dans la création de centres de recherche en nanotechnologie⁽²⁴⁾.

QUESTIONS PRÉOCCUPANTES

Les progrès rapides de la nanotechnologie ont incité un certain nombre de chercheurs et de gouvernements à se pencher sérieusement sur ses conséquences possibles.

(20) National Science and Technology Council, Committee on Technology, Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering and Technology, *National Nanotechnology Initiative: The Initiative and its Implementation Plan*, juillet 2000, p. 15 (<http://www.nsf.gov/home/crssprgm/nano/nni2.pdf>).

(21) National Nanotechnology Initiative, *National Nanotechnology Investment in the FY 2002 Budget Request by the President*, 5 février 2002 (<http://www.nano.gov/2002budget.html>).

(22) Stix, p. 33.

(23) Jack Uldrich, « Why Nanotechnology Will Arrive Sooner than Expected », *The Futurist*, vol. 16, mars-avril 2002, p. 19.

(24) Gouvernement du Canada, Gouvernement de l'Alberta, « Un nouvel institut national de 120 millions de dollars à l'Université de l'Alberta fera du Canada un chef de file mondial en nanotechnologie », communiqué, 17 août 2001 (http://www.nrc.ca/corporate/français/media/nouvelles/nano01_f.pdf).

Comme on s'attend à ce qu'elle ait un retentissement d'une grande portée et qu'elle influe sur tous les domaines, de la médecine à l'activité manufacturière, à l'environnement et à la sécurité, il ne fait aucun doute que l'incidence de la nanotechnologie sur l'ensemble de la société sera profonde⁽²⁵⁾. Ses répercussions les plus difficiles à entrevoir sont les effets non intentionnels que pourrait avoir son application⁽²⁶⁾. En outre, il faut réfléchir sérieusement aux applications dangereuses, involontaires ou non, de la nanotechnologie. Comment faudra-t-il suivre et réglementer l'utilisation de produits issus de cette technologie tels que les nano-armes, les dispositifs de collecte de renseignements ou les virus artificiels contre lesquels l'être humain est sans défense⁽²⁷⁾?

Il faut également songer à l'acceptation de ces applications par la population. Par exemple, bien que l'idée de machines miniaturisées qui peuvent être injectées dans le corps pour réparer des dommages au niveau cellulaire puisse apparaître merveilleuse, d'aucuns pourront hésiter à faire office de « cobayes pour la nanomédecine »⁽²⁸⁾. Dans ce domaine, l'éducation du public contribuera grandement à prévenir les réactions négatives. La nanotechnologie peut également soulever des questions plus abstraites, qui remettent en question les concepts de propriété et de responsabilité. Si un robot, par exemple, peut s'autorépliquer, le droit de propriété s'étend-il aux générations suivantes⁽²⁹⁾?

La nanotechnologie risque également d'avoir de graves retombées sur les industries et les techniques existantes, rendant certaines d'entre elles non rentables ou désuètes. Il sera extrêmement important dans les années à venir de prévoir quelles industries seront marginalisées par l'application de la nanotechnologie et de déterminer la façon dont la société devrait intervenir. Par exemple, l'impact sur l'industrie manufacturière devra être sérieusement pris en compte, car il est probable que cette industrie se dirigera de plus en plus vers une main-d'œuvre constituée d'un petit nombre de personnes très qualifiées, ce qui contribuera à

(25) Mihail C. Roco et William Sims Bainbridge (dir.), *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*, National Science Foundation, mars 2001, Arlington (Virginie), p. 1.

(26) *Ibid*, p. 10-11.

(27) Richard H. Smith, « Social, Ethical, and Legal Implications of Nanotechnology », dans Roco et Bainbridge, p. 203-211.

(28) Michael Brooks, « Thanks But No Thanks », *New Scientist*, 6 octobre 2001, p. 33.

(29) Mark C. Suchman, « Envisioning Life on the Nano-Frontier », dans Roco et Bainbridge, p. 211-216.

exacerber une tendance existante⁽³⁰⁾. Si les nanosystèmes permettent de produire des combustibles susceptibles de remplacer les combustibles fossiles, qu'advient-il des secteurs pétrolier et gazier, dont le rôle est si important dans les économies mondiales? Et si la nanotechnologie peut avoir un impact positif sur les pays en développement, elle peut également creuser l'écart entre les riches et les pauvres, puisque la différence entre ceux qui auront accès aux nanotechnologies et ceux qui n'y auront pas accès risque d'être très marquée⁽³¹⁾. Il est essentiel que l'État et la population commencent à songer aux conséquences possibles de la nanotechnologie pour qu'on puisse s'attaquer directement aux problèmes qu'elle peut poser et être bien préparés.

OBSTACLES TECHNIQUES

Malgré les progrès vertigineux de la nanotechnologie au cours des ans et les grandes attentes que nourrissent de nombreux chercheurs, un certain nombre d'obstacles importants restent à surmonter. Tout d'abord, le problème de la manufacturabilité continue d'entraver le développement de la nanotechnologie. S'il est vrai qu'un grand nombre de d'applications technologiques sont possibles en théorie, plusieurs demeurent à l'état de projet, puisque les chercheurs n'ont pas encore trouvé le moyen de les réaliser. De plus, il n'est pas facile d'établir un pont entre le monde nanométrique et le monde macroscopique : on peut bien construire des nanomachines, mais il est difficile de les relier de façon à pouvoir les utiliser à l'intérieur de structures macroscopiques⁽³²⁾. Un obstacle important à l'usage de nanodispositifs implantables est que notre corps repousse ou attaque les éléments de la taille d'une cellule, ce qui fait que toute structure qu'on veut y introduire doit échapper à la détection par le système immunitaire⁽³³⁾. Des recherches récentes ont également mis l'accent sur la notion d'« autoassemblage », suivant laquelle les molécules sont conçues et construites de façon à adopter automatiquement la configuration souhaitée. Ce phénomène est courant dans la nature; l'ADN est souvent donné comme le parfait exemple d'autoassemblage. Un tel système pourrait

(30) M. Meyer, « Socio-Economic Research on Nanoscale Science and Technology: A European Review and Illustration », dans Roco et Bainbridge, p. 217-241.

(31) Smith, p. 204.

(32) Service, « Atom-Scale Research Gets Real », p. 1524-1532.

(33) Brooks, p. 33.

mener à des structures complexes autorépliquables⁽³⁴⁾. Certains chercheurs craignent toutefois que les nanomachines autorépliquables puissent facilement échapper à tout contrôle, fabriquant un nombre infini de copies d'elles-mêmes et créant ainsi une « bouillie grise » qui envahira la Terre⁽³⁵⁾.

CONCLUSION

La nanotechnologie est devenue l'un des domaines de recherche scientifique les plus captivants et les plus prometteurs, qui permet d'imiter certains des systèmes naturels les plus complexes et de manipuler la matière à l'échelle où ses propriétés de base sont définies. Les attentes sont énormes et bien que le « nanofutur » puisse ne pas correspondre exactement à ce que l'on imagine, il modifiera certainement en profondeur toutes les facettes de la vie humaine.

D'aucuns ont soutenu que les investissements faits par les gouvernements dans la recherche et le développement en nanotechnologie contribueront à la croissance de nouveaux domaines et de nouvelles industries de la même façon que le financement énergétique des programmes spatiaux de la NASA aux États-Unis dans les années 1950 et 1960 a aidé à promouvoir l'industrie de l'informatique et de l'électronique. Seul le temps nous dira si les répercussions de la nanotechnologie seront aussi profondes et révolutionnaires que bien des gens le prévoient. Il est toutefois certain que les investissements faits par les gouvernements du monde entier dans ce domaine redoreront le blason des sciences physiques en général.

(34) « Nanotech Executive Summary » (<http://www.technologyreview.com/articles/nanotech101.asp>).

(35) George M. Whitesides, « The Once and Future Nanomachine », *Scientific American*, vol. 32, septembre 2001, p. 78-83.

ANNEXE

AUTRES APPLICATIONS POSSIBLES DE LA NANOTECHNOLOGIE

- Superordinateurs à l'échelle moléculaire de la taille d'un grain de sable
- Écrans de visualisation ultra-plats
- Ordinateurs portatifs plus rapides, plus puissants et plus petits
- Nouvelles générations de lasers utilisant des matériaux semiconducteurs à l'échelle nanométrique
- Nanotubes superconducteurs à la température ambiante, soit à une température bien supérieure à la température maximale de -143 °C requise à l'heure actuelle
- Molécules conçues pour débusquer et détruire les tumeurs cancéreuses
- Systèmes de transport de gènes et de médicaments dans des sites spécifiques du corps
- Dispositifs implantables qui surveillent les taux d'hormones et en fabriquent au besoin
- Nouvelles méthodes de manipulation de l'expression des gènes
- Nouveaux procédés et outils pour manipuler la matière à l'échelle de l'atome
- Ingénierie de précision fondée sur de nouvelles générations de microscopes et de techniques de mesure
- Métaux et câbles se réparant eux-mêmes
- Surfaces autonettoyantes et autostérilisantes
- Outils de forage et de coupe super-durs et résistants
- Nouvelles applications pour des « laboratoires sur une puce », comme des capteurs améliorés
- Nouveaux types de batteries
- Économies d'énergie grâce à l'utilisation de matériaux plus légers et de circuits plus petits
- Voyages dans l'espace plus sûrs et moins coûteux grâce à l'utilisation de systèmes sans équipage qui se servent de la nanotechnologie pour construire de nouvelles pièces à partir de matières brutes ou qui cannibalisent les anciennes machines
- Membranes sélectives pour filtrer les contaminants dans l'eau
- Synthèse moléculaire d'aliments
- Possibilités accrues de recyclage
- Systèmes de surveillance miniaturisés
- Tissus qui peuvent changer de couleur pour le camouflage
- Tissus qui peuvent durcir pour former des attelles d'urgence pour les membres fracturés
- Biens de consommation qui peuvent s'autoassembler