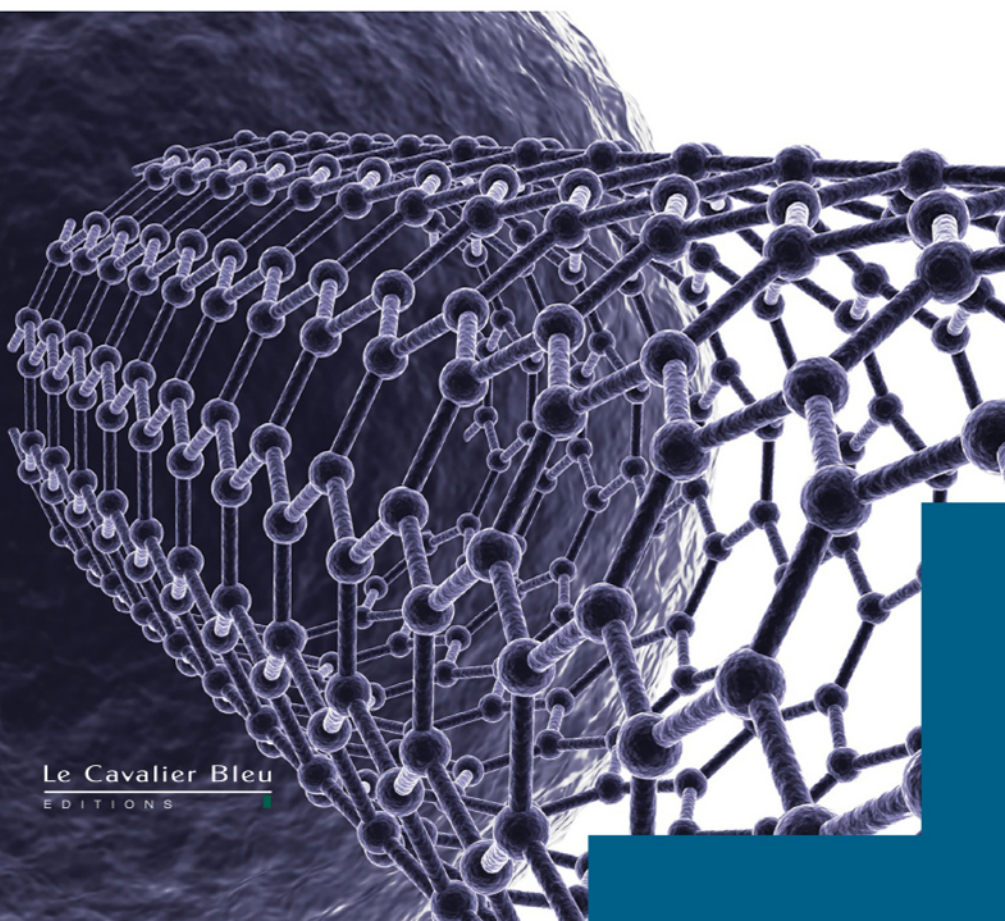


Dominique Vinck
Matthieu Hubert

Nanotechnologies l'invisible révolution

au-delà des idées reçues



Nanotechnologies l'invisible révolution

au-delà des idées reçues

Nanotechnologies l'invisible révolution

au-delà des idées reçues

Dominique Vinck
Matthieu Hubert

2^e édition revue et augmentée

Issues de la tradition ou de l'air du temps, mêlant souvent vrai et faux, les idées reçues sont dans toutes les têtes. Les auteur-e-s les prennent pour point de départ et apportent ici un éclairage distancié et approfondi sur ce que l'on sait ou croit savoir.

Dominique Vinck

Dominique Vinck est professeur ordinaire à l'université de Lausanne (UNIL) et au Collège des Humanités de l'École Polytechnique Fédérale (EPFL). Spécialiste de la sociologie des sciences et des techniques, il est membre du STS Lab (UNIL). Il dirige également la *Revue d'Anthropologie des Connaissances*.

Du même auteur

- *Ingénieurs au quotidien. Ethnographie du travail d'innovation et de conception*, PUG, 1999.
- *Pratiques de l'interdisciplinarité. Mutation des sciences, des techniques et de l'industrie*, PUG, 2000.
- *Sciences et société. Sociologie du travail scientifique*, Armand Colin, 2007.
- *L'Équipement de l'organisation industrielle. Les ERP à l'usage*, Hermès, 2008.
- *Comment les acteurs s'arrangent avec l'incertitude*, EAC, 2009.
- *Les Masques de la convergence*, EAC, 2012.
- *Ingénieur aujourd'hui*, PPUR, 2015.
- *Sciences et technologies émergentes : pourquoi tant de promesses ?*, Hermann, 2015.
- *Humanités numériques : la culture face aux nouvelles technologies*, Le Cavalier Bleu, 2016.

Matthieu Hubert

Matthieu Hubert est chargé de recherches au CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas) et membre du CENIT (Centro de Investigaciones para la Transformación) à Buenos Aires en Argentine. Il étudie le travail scientifique et les politiques de recherche et d'innovation, notamment dans le domaine des nanosciences et nanotechnologies.

Du même auteur

- *Partager des expériences de laboratoire. La recherche à l'épreuve des réorganisations*, EAC, 2014.

sommaire

Introduction. 11

Que sont les nanotechnologies ?

« Les nanotechnologies sont les technologies de l'infiniment petit. » 15

« Les nanotechnologies, c'est compliqué ; on n'y comprend rien. » 21

« Les nanotechnologies, c'est un jeu de construction avec des atomes. » 27

« Les nanotechnologies, c'est une nouvelle révolution industrielle. » 33

« Les nanotechnologies, c'est l'affaire de quelques savants fous. » 41

« Les nanotechnologies, c'est l'affaire de quelques-uns qui tirent les ficelles. » 49

À quoi servent les nanotechnologies ?

« Les nanotechnologies sont déjà là. » 59

« Avec les nanotechnologies, le bonheur est enfin pour demain. » 65

« Les nanotechnologies sont détournées à des fins militaires. » 71

« Les nanotechnologies s'imposeront inéluctablement. » . . . 77

« Les nanotechnologies sont l'avenir de la médecine. » 85

« Les nanos, moins on en parle, plus elles se répandent. » . . . 91

Des craintes fondées ?

- « Le public et les opposants ont des peurs exagérées. » 101
- « Les nanotechnologies mettent en péril
les générations futures. »107
- « Les nanotechnologies sont plus dangereuses
que l'amiante et les OGM. » 113
- « Les scientifiques manquent de conscience citoyenne. » . . . 121
- « La solution, c'est la démocratie participative. ». 131
- « Finalement, les anti-nanos avaient raison ;
il y en a partout et personne ne contrôle. » 139
- « Si on ne les fait pas, les Chinois les feront. » 151
- « Les nanotechnologies ne font que renforcer
la division entre pays riches et pays pauvres. ». 157

Conclusion.163

Annexe

- Pour aller plus loin167

définition

Nanotechnologie n. f.

Le préfixe « nano » vient du grec *nanos* qui signifie « nain ».

En science, il est utilisé pour qualifier une unité de mesure d'un milliardième (1/1 000 000 000). Le nanomètre (nm) est égal à un milliardième de mètre. Les nanotechnologies sont les technologies qui permettent de créer, manipuler, visualiser et utiliser des objets de l'ordre du nanomètre (jusqu'à 100 nm).

L'idée d'agir sur la matière à partir des atomes est ancienne en physique et en chimie. Elle vient notamment de James Maxwell lorsqu'il fait une expérience de pensée, en 1871, consistant à imaginer un démon capable de faire le tri entre des molécules de gaz. Le démon de Maxwell actionne une porte entre deux compartiments contenant du gaz, laissant passer d'un côté uniquement les molécules ayant une grande vitesse.

L'idée de transformer la matière à l'échelle nanométrique a été suggérée par Richard Feynman au cours d'une conférence en 1959, devant l'American Physical Society. Il suggérait la possibilité de réorganiser la matière atome par atome et de faire tenir le contenu de l'*Encyclopædia Britannica* sur la tête d'une épingle.

Le terme « nanotechnologie » a été utilisé pour la première fois en 1974 par Norio Tanigushi. Il fut popularisé par Eric Drexler dans les années 1980, à propos des machines et usines moléculaires.

Les nanomatériaux, eux, sont des matériaux (verre, métaux...) structurés à l'échelle nanométrique, par exemple, avec un parfait alignement de toutes les molécules sur une surface. Ils s'opposent aux matériaux amorphes où la matière est désordonnée ainsi qu'aux matériaux structurés à des échelles supérieures ou égales au micron.

introduction

Les nanotechnologies sont des technologies de pointe très récentes. Elles se développent fortement depuis une dizaine d'années. Et pourtant, elles sont déjà entourées de nombreuses idées reçues, notamment autour de leurs potentiels avantages ou inconvénients pour la société. Elles sont nouvelles. Elles sont très petites. Du coup, elles ne se voient pas vraiment. Chacun doit les imaginer et s'en faire une idée.

Cet ouvrage s'efforcera donc d'apporter quelques éclairages sur le sujet. Nous traiterons des nanotechnologies telles qu'elles se présentent dans la réalité, c'est-à-dire telles qu'elles sont voulues et fabriquées dans notre société. Nous essaierons de comprendre qui sont ceux qui font des nanotechnologies – quels chercheurs, quels industriels et quelles nations – et pourquoi le font-ils. Quelles nanotechnologies sont commercialisées ou seulement explorées, imaginées ? Pourquoi ces technologies font l'objet de débats et de tant de discussions ? Pourquoi des groupes s'opposent-ils à leur développement ? Et, au fond, que sont ces nanotechnologies ? En quoi sont-elles nouvelles ? À quoi servent-elles ? Que vont-elles nous apporter en termes de solutions ou de problèmes ?

Nous allons voir que les nanotechnologies nous accompagnent déjà au quotidien et qu'elles sont même devenues une grande affaire mondiale. Les politiques publiques s'en préoccupent et financent leur développement. Les chercheurs et les industriels se sont lancés dans une course gigantesque pour

occuper les meilleures places dans ce domaine. Des institutions et des groupes de pression essaient de définir les règles du jeu concernant leur utilisation. D'autres développent des recherches pour évaluer les possibles risques. Des groupes de réflexion de toutes sortes tentent, partout dans le monde, d'imaginer les transformations de la société et de la vie humaine permises ou provoquées par ces nouvelles technologies. Les nanotechnologies concernent aujourd'hui tout le monde parce que, en fonction de ce que nous en ferons, l'avenir de l'humanité prendra des tournures différentes. C'est notre affaire, que l'on soit citoyen, élu, chercheur, consommateur ou industriel. Il est donc utile de s'y intéresser.

Les nanotechnologies ne sont pas des choses abstraites qui n'existeraient que dans les livres de sciences. Le présent ouvrage n'a pas pour objet de faire de la vulgarisation scientifique et technique. Il parle, au contraire, de ce qui se passe dans le monde aujourd'hui, de ce qui agite les acteurs : des problèmes de politique industrielle et scientifique, de création de nouveaux marchés, de régulation par la loi ou par des comités d'éthique, de discussion et de contrôle démocratique mais aussi de débats entre scientifiques concernant les définitions (qui ne sont jamais neutres), les domaines à développer, les stratégies de recherche et les risques.

Les analyses présentées dans cet ouvrage sont nourries par les travaux de recherches en sociologie des sciences et de l'innovation que nous conduisons personnellement sur le terrain des nanosciences et des nanotechnologies. Elles le sont aussi par les positions que nous avons occupées dans des débats, dans des comités de réflexion stratégique où nous avons côtoyé des acteurs de divers horizons : chercheurs en sciences de la matière, industriels, groupes sociaux concernés et opposants, en France et à l'étranger, dans les pays du Nord mais aussi du Sud.

QUE
SONT LES NANO-
TECHNOLOGIES ?

« Les nanotechnologies sont les technologies de l'infiniment petit. »

Pourquoi ne pourrions-nous pas écrire l'intégralité des 24 volumes de l'Encyclopædia Britannica sur une tête d'épingle ?

Richard Feynman, 1959

Quand on parle de nanotechnologies, aujourd'hui, on pense, par exemple, à des poudres ultrafines que l'on incorpore dans une crème cosmétique pour arrêter les rayons UV du soleil ou aux millions de composants que l'on trouve sur un circuit électronique (microprocesseur) mesurant moins d'un centimètre carré.

En fait, « nano » fait référence à des objets vraiment très petits, un million de fois plus petits qu'un millimètre. Difficile à imaginer ! Un cheveu humain (0,1 mm d'épaisseur), c'est déjà 100 000 nanomètres (nm) ; le fil d'araignée entre 25 000 et 70 000 nm. Un globule rouge, c'est 700 nm de diamètre. Les virus, par contre, sont des objets nanométriques ; ils mesurent quelques dizaines de nanomètres. La molécule d'ADN est un fil qui peut mesurer plusieurs mètres de long quand il est déplié, mais seulement 2 nm de large.

« Nano » est un préfixe qui, dans les sciences, signifie une fraction d'un milliardième ($1/1\,000\,000\,000$) – comme « milli » signifie un millième ($1/1\,000$) et « micro » un millionième ($1/1\,000\,000$). Cela dit, quand on parle de « nano » aujourd'hui, on sous-entend « nanomètre » (nm) – un milliardième de mètre (pas nanogramme, ni nanoseconde). Le terme

est utilisé pour qualifier des objets ou des phénomènes de cet ordre de grandeur. C'est l'échelle des atomes, qui passionnent les physiciens, et celle des molécules sur lesquelles travaillent les chimistes et une partie des biologistes.

Une première définition consiste à dire que les nanotechnologies sont l'ensemble des connaissances et des techniques grâce auxquelles on crée, manipule, visualise et utilise des objets (matériaux ou machines) qui sont de l'ordre du nanomètre. Elles concernent la conception, la caractérisation, la production et les applications de matériaux et de systèmes à cette échelle. L'idée d'agir sur la matière à partir des atomes et de la transformer à l'échelle nanométrique a été suggérée par Richard Feynman en 1959, lors de son discours visionnaire devant l'American Physical Society.

Les nanosciences désignent l'étude scientifique des phénomènes et des objets à l'échelle nanométrique, dont les propriétés diffèrent parfois par rapport à ce qui est observé à plus grande échelle.

L'expression de « nanosciences » et « nanotechnologies » (NST) est utilisée pour parler de la diversité des recherches et des développements technologiques engagés autour des objets de taille nanométrique. Ce domaine exige de disposer d'outils de travail de très haute précision pour visualiser ce qui se passe à une échelle aussi petite et pour déplacer les atomes individuellement. Il connaît un fort développement depuis 1981 avec l'apparition d'un nouveau type de microscope (microscope à force atomique), qui rend possible l'observation et la manipulation individuelle des atomes et des molécules.

On parle de « nano » pour désigner à la fois le domaine de recherche et développement NST et les produits issus de ces développements technologiques.

Toutefois, la définition de « nanotechnologie » est un sujet controversé. Les désaccords portent sur les frontières du domaine. Quand on parle d'un objet nanométrique, de quoi s'agit-il ? S'agit-il seulement des objets mesurant environ quelques nanomètres ou ceux mesurant maximum quelques nanomètres ? Dans ce cas, il faut considérer que chimistes, physiciens et biologistes font déjà des nanosciences depuis longtemps. Les physiciens, dans le domaine nucléaire, travaillent sur les atomes depuis plus de cinquante ans, les chimistes depuis plus d'un siècle – en catalyse, pharmacochimie et chimie des polymères. De même pour les biologistes qui étudient les virus ou les interactions entre la cellule et son environnement.

Et quelle serait la limite supérieure d'un objet nanométrique ? Ici, également, les avis divergent. Beaucoup s'accordent pour considérer comme nanométrique les objets d'une taille inférieure ou égale à 100 nanomètres. Cette limite est souvent citée car en dessous de ce seuil relatif, certains types de matériaux se comportent de manière différente.

La question se pose aussi de définir quels objets sont concernés par cette limite de taille. Le problème n'est pas anodin ; il est source de nombreuses ambiguïtés. S'agit-il :

– De toutes les dimensions de l'objet ? Les nanotechnologies se limitent alors aux nano-objets, nanorobots, nanoparticules dont aucune dimension ne dépasse 100 nanomètres ;

– D'au moins une de ses dimensions ? Si les nanotechnologies sont définies comme technologies travaillant sur des objets dont une des dimensions, au moins, s'exprime en nanomètres, elles concernent alors tout objet qui peut mesurer plusieurs microns, millimètres, centimètres ou mètres de long (on parle alors de « nanotubes » ou de « nanofils ») et de

large (il s'agit là de « couches nanométriques »). Dans l'électronique, les industriels font ainsi des dépôts de matière de quelques dizaines de nanomètres d'épaisseur, puis y creusent des sillons, y appliquent de nouveaux dépôts, et ainsi de suite, pour créer des « empilements » et des circuits électroniques. Plus généralement, cela concerne toutes les surfaces « nano-structurées », c'est-à-dire les matériaux, en surface, où les particules de matière (ou « mailles élémentaires ») sont ordonnées de manière contrôlée ;

– Des dimensions d'un élément faisant partie de l'objet ? Dans le cas des microsystèmes composés de plusieurs pièces, d'aucuns parlent de nanotechnologie parce que certains éléments sont nanométriques alors que le microsysteme en lui-même est bien plus gros. Les microprocesseurs de l'industrie électronique sont de l'ordre du centimètre alors qu'ils contiennent des millions de transistors nanométriques ;

– D'aucune des dimensions externes de l'objet ? Le nanomètre concerne alors le degré de précision de fabrication de ce dernier (tolérance de taille ou maille de la structure). Dans ce cas, l'objet peut avoir n'importe quelle dimension mais ses dimensions externes ou son maillage interne sont réalisés avec une précision de l'ordre du nanomètre. Si la précision de fabrication est de ce type, elle concerne, en particulier, la miniaturisation de l'électronique mais certains considèrent que cela n'a rien à voir avec les nanotechnologies. Cette appellation serait réservée aux cas où la fonction assumée par l'objet tient sur quelques nanomètres, avec une précision de fabrication d'environ 0,05 nanomètre. Il s'agirait là du cœur des nanotechnologies et de sa recherche du nombre minimum d'atomes nécessaires pour construire une machine, atome par atome ;

– De structuration « au hasard » dans la masse d'un matériau (par exemple, une inclusion de nano-objets ou de nanofils pour le renforcer comme dans les raquettes de tennis ou les pneus) ? On parle alors de nanomatériaux. Cette définition est d'ailleurs également ambiguë car quasiment tous les matériaux (ciment, métaux, bois...) sont, naturellement ou pas, nanostructurés. Aussi, certains restreignent l'appellation de nanomatériaux à ce qui a été sciemment nanostructuré et manufacturé par l'être humain, à l'exclusion des nanoparticules « naturelles » (les fumées volcaniques, par exemple).

Les nanotechnologies, oui, sont donc bien des technologies de l'infiniment petit, mais derrière cette définition englobante se cachent des choses très différentes les unes des autres. Les experts, soucieux de ne pas tout mélanger, construisent alors des définitions plus précises mais ils ne s'accordent pas entre eux sur ces définitions, même quand il s'agit de préciser la taille des objets « nanos ».

ne permet de dire qu'il s'agit là d'une rupture technologique majeure. Il relativise le problème des risques toxicologiques et des désastres annoncés par la science-fiction.

Sargent T., *Bienvenue dans le nanomonde*, Dunod, 2006. Gros ouvrage qui explique le potentiel des nanotechnologies pour la santé, l'environnement et l'information.

Waldner J.-B., *Nano-informatique et intelligence ambiante. Inventer l'ordinateur du XXI^e siècle*, Hermès-Lavoisier, 2007. Ouvrage scientifique qui rend compte de l'évolution de l'informatique, des limites auxquelles elle se heurte et les voies envisagées pour le développement de systèmes plus puissants et d'une informatique diffuse. Il explore les changements prévisibles dans l'industrie.

Webographie

Association Avicenn, *Les enjeux des nanosciences et nanotechnologies*, www.veillenanos.fr

CNRS, Nanotechnologies et santé, dossier Sagasciences, www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosnano/accueil.htm

CPP, Nanotechnologies, nanoparticules, quels dangers ? Quels risques ?, Comité de précaution et de prévention, ministère de l'Environnement et du Développement durable, 2006, www.developpement-durable.gouv.fr/

StatNano, lancé avec l'appui de l'Iran Nanotechnology Initiative Council (INIC), <http://statnano.com/>

Thesaurus nano, <http://eng.thesaurus.rusnano.com/toc/>

Institutions auprès desquelles s'informer

CNCE (Comité national consultatif d'éthique)

www.ccne-ethique.fr/

CNIL (Commission nationale de l'informatique et des libertés)

www.cnil.fr

COMETS (Comité d'éthique du CNRS)

www.cnrs.fr/fr/organisme/ethique/comets/index.htm

ETC Group, ONG canadienne

www.etcgroup.org

Fondation Sciences citoyennes

www.sciencescitoyennes.org/

LDH (Ligue des droits de l'Homme)

www.ldh-france.org/

Ministère des Affaires étrangères, veille technologique

www.diplomatie.gouv.fr/fr/politique-etrangere-de-la-france/diplomatie-scientifique/veille-scientifique-et-technologique

NanoSafe, réseau européen. Actualité de la recherche sur les impacts des nanomatériaux

www.nanosafe.org/

Observatoire des micro et nanotechnologies

www.omnt.fr

OCDE, rapport de politique scientifique et technologique en matière de nanotechnologie

www.oecd.org/sti/nano/reports.htm

OPECST (Office parlementaire pour l'évaluation des choix scientifiques et technologiques)

www.senat.fr/opepst/