

# Les nanotechnologies, par-delà l'« indéfinissabilité »

(extrait d'article à paraître dans la revue *Philosophia Scientiae*)

par Thierno Guèye

[thiernog@gmail.com](mailto:thiernog@gmail.com)

**Les premiers spécialistes, tant en sciences humaines qu'en physique et en chimie, se sont vite rendus à l'idée selon laquelle chacun pourrait avoir sa définition des nanotechnologies. Ils s'inscrivent ainsi dans ce que nous considérons comme une culture des « faits alternatifs » plutôt répandue dans les sciences contemporaines. Ce texte est une note critique autour de la difficulté à définir précisément ce qu'il faut entendre par nanosciences et nanotechnologies. Dans sa première partie, nous faisons ressortir la prolifération des définitions, liée aux luttes économiques, aux enjeux stratégiques et aux intérêts hétérogènes des acteurs. Nous cherchons à dépasser ce relativisme en nous focalisant sur les outils qui permettent l'accès à l'échelle nanométrique et sur les changements de propriétés inhérents à l'échelle quantique.**

[...]

## Deux contraintes et quatre paramètres pour une définition

Peut-on se contenter d'un tel relativisme dans la définition d'un champ scientifique ? Nous pensons que la confusion orchestrée par les intérêts hétérogènes des acteurs et les grands enjeux autour des nanos ne sauraient avoir raison des projets de définitions dépassionnées de ce nouvel espace technoscientifique. C'est pourquoi nous avons jugé utile, d'une part, de mettre en cause toute situation favorable à la confusion afin de proposer une définition basée sur l'histoire de l'avènement des nanos. D'autre part, nous pensons qu'une définition crédible doit se démarquer de ce qui existait déjà avant l'avènement des nanos, notamment les microsciences et les microtechnologies qui ont révolutionné la miniaturisation au milieu du 20<sup>e</sup> siècle. En définitive, on ne devrait pas confondre miniaturisation et nanotechnologie. Puisque, ce qui est inouï, et que n'omettent pas de souligner Schmidt et al [2003, 15-16] dans les définitions 5-6 et les Ratner, c'est qu'« inversement, la nanofabrication *ascendante* consiste à construire une nanostructure à partir d'atomes individuels. » [Ratner 2003, 14]. À ce propos, Christian Joachim [2008] parlera de « monumentalisation ».

Nous savons qu'il y a deux éléments déterminants dans l'avènement des nanotechnologies. Le premier est un évènement historico-technologique : la création du microscope à effet tunnel par Gerd Binnig et Heinrich Rohrer en 1981, qui leur a valu le prix Nobel de physique en 1986. Le second est la localisation des propriétés de la matière, à cette échelle, au cœur des lois de la mécanique quantique. De ce fait, toute définition désireuse d'échapper au piège des enjeux doit, à notre sens, tenir compte de ces deux dimensions pour les raisons suivantes que nous tenons pour des contraintes :

1. La mise au point de ce microscope à effet tunnel nous a permis d'avoir le premier contact matériel qui soit avec des objets à cette échelle, jusqu'ici chasse gardée de la mécanique et de la physique quantique. C'est le début, non seulement de l'observabilité des nano-objets, mais c'est aussi ce qui ouvre l'ère de leur manipulation plus ou moins directe par l'humain ainsi que leur contrôlabilité.
2. L'accès à ce niveau de la matière ouvre un nouvel angle de l'univers quantique à la science et à la technologie avec les effets d'échelle propres à cette dimension qui conforte l'idée selon laquelle, « ce qui est à l'échelle nanométrique n'est pas simplement tout petit, c'est aussi et surtout quelque chose de différent dans la manière d'être tout petit. » [Ratner 2003, 8].

Si nous tenons compte de ces deux points, nous pouvons proposer de définir les « nanotechnologies », ce concept nous paraissant moins approprié que nanotechnosciences, comme *toute activité scientifico-technologique visant, par la manipulation contrôlée, à connaître ou à fabriquer des objets plus ou moins complexes dont le moyen exclusif d'y parvenir, dans l'état actuel de nos connaissances et de nos moyens technologiques, est un microscope de la génération des microscopes à effet tunnel ou les technologies de nanofabrication automatisées, en développement*. Par conséquent, faire œuvre de nanotechnoscience requiert la réunion de ces quatre paramètres : l'« observabilité », la manipulabilité, la contrôlabilité, et le changement de propriétés à l'échelle atomique et/ou moléculaire. En effet, la seule chose qui fait que la taille compte, ce n'est en aucun cas l'observabilité, mais le changement de propriétés à l'échelle nanométrique. Autrement, rien ne distinguerait les nanotechnologies des microtechnologies ni même des macrotechnologies. Ce qui les inscrirait *de facto* dans la dynamique d'évolution, de la miniaturisation plutôt que dans une révolution. Il n'y aurait aucune rupture, mais seulement une conversion d'unités de mesure qui pourrait se faire du micro au nano ou au pico, voire à une échelle encore inférieure. L'histoire du microscope de Savile Bradbury [1967] apporte une démonstration très éloquente de l'observabilité à ces échelles, dès les années 1960, notamment dans *The Evolution of Microscope*. En effet, on savait déjà accéder aux échelles de l'angström (comparable nano), bien avant les années 1960 comme en atteste le tableau ci-dessous auquel nous avons ajouté la conversion en nanomètre :

Table 5. Some electron microscopes and their approximate resolving power

Date Instrument	Approximate resolving power
1934 Ruska	ca. 500 Å [50nm]
1934 Driest and Müller	ca. 400 Å [40nm]
1936 Marton et al., E.M.I	better than 1 μ (micron)
1939 Siemens first commercial model	100 Å [10nm]
1940 RCA type "B"	25 Å [2,5nm]
1940 Siemens	25 Å [2,5nm]
1944 RCA type EMU ca.	20 Å or better [2nm]
1945 Metro-Vick E.M.2	100 Å or better [1nm]
1950 Metro-Vick E.M.3	average 35 Å; best 25 Å [3,5nm] à [2,5nm]
1953 Siemens ÜM100 e	10 Å [1nm]
1954 Siemens Elmiskop I	ca.9 Å [0,9nm]
1956 A.E.I. E.M.6	Prototype 10 Å [1nm]; later improved to ca. 5 Å [0,5nm]
1964 A.E.I. E.M.6B	3 Å [0,3nm]. [Savile Bradbury 1967, 31]

### L'apport des nouveaux outils qui nous ont ouvert le champ des nanotechs

Parmi les outils les plus connus pour observer et mesurer les nanostructures, les microscopes à balayage sont des premiers instruments à avoir été utilisés en nanosciences la spectroscopie qui est l'étude du spectre des rayonnements lumineux émis, absorbés ou diffusés par un milieu matériel, est bien plus ancienne que les techniques des nanoscopes à balayage ; l'électrochimie, moyen par lequel on transforme des processus chimiques en courant électrique ou inversement, on produit des réactions chimiques à partir de courant électrique. À cette énumération, il faut ajouter le microscope électronique qui remplace la lumière utilisée en optique classique par des flux d'électrons. En vérité, les premiers instruments à balayage réellement efficaces qui ont été développés sont les *Scanning Tunneling Microscopes (STM)* ou nanoscopes à effet tunnel dont nous avons parlé plus haut. Cette découverte a permis le déplacement des atomes de xénon un par un et de les arranger sur une surface de nickel pour dessiner le sigle IBM.

Afin de lever une équivoque, il n'est pas superflu de préciser que le choix du concept « nanotechnologies » plutôt que celui de « nanosciences » tient au fait que dans le champ des nanos on manipule pour comprendre à défaut de voir, tel que le précise Lafontaine:

Contrairement à la conception courante de l'instrument comme simple prolongement des sens, l'instrumentation utilisée en nanotechnologies est indissociable d'une logique de contrôle et de manipulation. Puisque l'observation physique d'un atome est impossible, seules la manipulation des atomes et la modélisation informatique permettent de visualiser le phénomène. Le rapport fusionnel qui s'instaure entre perception et manipulation à l'échelle nanométrique participe d'une épistémologie proprement technoscientifique qu'on peut résumer par l'expression « voir, c'est faire ». [Lafontaine 2010, 82].

Ainsi, les limites des capacités de visualisation et de contrôle des acteurs en salle blanche sont liées à celles des mêmes instruments qui leur permettent d'accéder à l'information à cette échelle. Du coup, toutes les propriétés ne sont effectivement pas contrôlées, puisque de l'aveu de ce chercheur en génie physique, « on ne peut pas les voir. » [Lafontaine 2010, 82]. Ainsi, on fait pour connaître et pour connaître il faut faire. Cette exigence liée à la nature même de l'objet nanométrique justifie l'étroite proximité entre science et technologie. Ce qui fait que :

La primauté épistémologique accordée à la manipulation atteste du développement d'un modèle technoscientifique où le faire a préséance sur le connaître. De fait, il n'est pas surprenant de constater que les frontières entre sciences et technologies sont, à l'échelle du nanomètre, fluides et changeantes. [Lafontaine 2010, 83].

C'est pourquoi, en plus d'être enchevêtrées, nanosciences et nanotechnologies ont des frontières quasi plastiques difficiles, voire impossibles, à circonscrire. Alors, très souvent, le terme nanotechnologie est synonyme de celui de nanoscience, car l'activité nanoscientifique est inséparable du nanotechnologique, le « voir » est toujours assujéti à la manipulation et au « faire ». Dans ce contexte, parler de « nanotechnoscience » ne serait pas qu'un simple jeu de mots. Si une ligne de démarcation devait subsister, on la trouverait en aval de la pratique nanotechnologique, autrement dit, dans les résultats. Ce qui constituerait une forme de conséquentialisme, tel qu'une activité de recherche aboutirait à une application technologique ou une explication scientifique. On pourra donc utiliser ce résultat comme critère de démarcation a posteriori afin de distinguer les deux domaines de recherche et retrouver ainsi, avec une certaine contrariété certes, nos repères traditionnels de clivage entre science et technologie. C'est dans la perspective de cette perturbation que Jean-Louis Pautrat prédisait, dans une plus large mesure, que « la société, elle, sera inévitablement perturbée par l'introduction des technologies de miniaturisation. » [Pautrat 2002, 17]. En vérité, depuis leur naissance, les nanos n'ont fait que bousculer nos us scientifico-technologiques, à un tel point que certains parlent de seconde « révolution industrielle » et d'autres évoquent même l'idée d'une « révolution scientifique ». L'examen de ces questions ne constitue pas l'objet du présent article, même si, nous pensons qu'elles méritent plus d'attention de la part des chercheurs.

### **Effets d'échelle et changements de propriétés**

Nous pouvons, à présent, introduire notre second argument qui consiste à dire que l'une des nouveautés ayant accompagné l'avènement des nanotechnologies, c'est l'entrée dans l'univers quantique, qui obéit à des lois différentes de l'échelle microscopique. De ce fait, tant qu'on ne fait qu'exploiter les propriétés de l'univers quantique dans l'optique des technologies du tout petit, on peut considérer que l'on est toujours dans le cadre de la miniaturisation que nous connaissions déjà avant l'avènement des nanos, ainsi que les microtechnologies savaient déjà le faire avec succès.

Afin d'illustrer notre propos, référons-nous de nouveau à l'ouvrage *Les nanotechnologies : la révolution de demain* où, s'appuyant sur les propriétés de l'or, les auteurs nous fournissent l'illustration suivante :

Imaginons, nous disent-ils, un lingot d'or de 1m de côté. Découpons-le de moitié en largeur, hauteur et longueur. Cela donne huit petits cubes faisant chacun 50 cm de côté. Les propriétés de ces huit morceaux sont les mêmes que celles du cube initial : ils sont en or, jaunes, brillants et lourds, en métal ductile, conducteur d'électricité et avec le même point de fusion.

À présent, découpons de nouveau de moitié chaque nouveau morceau obtenu, cela donne huit petits cubes de 25 cm de côté. Rien n'a encore fondamentalement changé. Continuons l'opération de découpage pour obtenir des sections de l'ordre du centimètre, puis du millimètre, et enfin du micron : chaque minicube obtenu, invisible à l'œil nu (il faut recourir à des instruments d'optique), a toujours les mêmes propriétés chimiques que le cube de 1 m de côté. À l'échelle macroscopique, les propriétés chimiques et physiques d'un matériau, quelle que soit la matière (or, fer, plomb, plastique, glace ou cuivre), ne dépendent que de sa taille.

En revanche, à l'échelle nanométrique, tout change, même la couleur de l'or, son point de fusion et ses propriétés chimiques. Cela tient aux interactions qui, dès lors, s'effectuent entre les atomes constitutifs de l'or. Si celles-ci se neutralisent (en s'équilibrant) et annulent leurs effets au sein d'un morceau massif de métal, il en va différemment pour un morceau de taille nanométrique du même métal. [Ratner 2003, 14].

La question qui se pose est celle de la légitimité d'une définition des nanotechnologies qui ne tiendrait pas compte des observables ci-dessus évoqués. En tout état de cause, toute définition qui ne prend pas en considération ce dépassement de l'univers de la physique classique ne saurait tirer ses fondements des propriétés intrinsèques de la matière qu'elle se prévaut d'étudier. Car, à l'instar de Wautelet, nous savons que :

Du macro au nano on traverse deux limites physiques. Le problème est compliqué par le fait que : 1) ces limites ne sont pas abruptes ; 2) elles dépendent de l'effet considéré ; 3) elles sont fonction du ou des matériaux impliqués. Un prérequis à tout travail sur les nanotechnologies demande donc de comprendre comment les propriétés varient avec l'échelle des dimensions. Pour cela, le recours aux lois d'échelles est d'une grande utilité. [Michel Wautelet, 9].

Une telle assertion rend bien compte de la complexité de la tâche. C'est pourquoi, quand on parle de physique macroscopique, il ne faut pas omettre le fait que quelques-unes des propriétés macros peuvent être interprétées par la physique quantique et s'expliquer dans la mécanique quantique. Mais, les microtechnologies n'interviennent pas directement au cœur du « nanomonde », au niveau où les interactions se font selon l'électromagnétisme qui caractérise la taille nano, c'est-à-dire  $10^{-9}$ . Les nanoscopes qui doivent composer avec les effets d'échelle, par contre, le permettent. C'est pourquoi, pour Louis Laurent :

Les lois de la physique s'appliquent à toutes les échelles, mais leur importance relative dépend de la taille des objets considérés. À l'échelle macroscopique, c'est la physique classique qui domine. Les effets de la mécanique quantique, qui gère le comportement des particules élémentaires, sont alors imperceptibles (bien qu'ils existent puisque des phénomènes comme la conductivité électrique en dépendent). À l'échelle subatomique, c'est le contraire : la mécanique quantique prend le pas sur la physique classique. Or les objets nanométriques se situent en quelque sorte à la « frontière » entre

ces deux échelles. C'est pourquoi, des effets dûs (sic) à la mécanique quantique se font parfois très présents... et surprennent notre intuition forgée dans le monde macroscopique. [Laurent 2007, 35-36].

La *National Nanotechnology Initiative (NNI)*, par la voix de Mihail Roco, dit que « le nanomètre (un milliardième de mètre) est un point magique de l'échelle des dimensions. Les nanostructures se situent entre ce que l'homme peut fabriquer de plus petit et les plus grandes molécules du monde vivant. » [Ratner 2003, 9].

Cependant, la démarche définitionnelle des communautés scientifiques que rapportent, de façon précise et fort à propos, Lafontaine, Loeve et Vinck nous semble poser un problème épistémologique, voire éthique (aspect non traité ici), qui mérite un peu plus d'attention de la part des spécialistes des questions scientifiques en sciences humaines. Une des conséquences de cet amalgame est qu'experts et dilettantes en arrivent à insérer dans la définition de cette discipline une autre qui, dans le fond, n'a probablement qu'un seul lien avec celle-ci, la miniaturisation. C'est ce que l'on pourrait penser, à la lecture de Pautrat [2002] dont nous avons exposé la définition plus haut.

Si l'on en croit ce dernier, « nanotechnologies » rimerait avec « microtechnologies » et les premières ne seraient que l'aboutissement des dernières. Ce qui implique la continuité de nos savoir-faire qui, par une sorte d'évolution naturelle, ont atteint une étape importante dans leur développement, mais non cruciale ni révolutionnaire. Cette vision évolutionniste des nanos, même si elle ne nie pas la manifestation de nouvelles propriétés à cette échelle, ne la considère pas comme « démarquante ». En cela, elle tranche d'avec celle de ceux qui considèrent ce basculement des technologies de l'infiniment petit vers la physique quantique, comme capital voire essentiel, pour comprendre le caractère radicalement nouveau de ce qui se joue autour des nouvelles technologies du lilliputien. Le problème ici, comme nous pouvons le constater, c'est que l'on accepte de définir les nanotechnologies comme une partie des microtechnologies ou à en faire, purement et simplement, un synonyme. C'est l'un des mélanges de genres que nous avons voulu mettre en évidence dans ce texte tout en essayant de le juguler en proposant une démarche qui nous paraît plus appropriée, épistémologiquement parlant, afin de contourner le problème des lois sociologiques qui prévalent dans la construction d'une définition des nanotechnologies fondée sur les acteurs.

### **Conclusion**

En définitive, la recherche des budgets ainsi que leur prolifération dans certains secteurs de la recherche académo-scientifique est en train de modifier durablement le paysage académique et d'installer une nébuleuse conceptuelle qu'exploitent tous les chercheurs en mal de financement et suffisamment réactifs pour saisir l'opportunité des finances privées dans les laboratoires. Du coup, l'offre marketing l'emporte sur l'honnêteté et la rigueur des chercheurs. Dominique Vinck parle de « marchandisation » qu'il définit comme l'« appropriation privée de la connaissance par la protection industrielle du dépôt de brevets, contrats spécifiant les termes d'un transfert ou d'un partage de connaissance et son espace de confidentialité » [Vinck 2005, 73-91]. Le financement devient l'une des préoccupations essentielles des laboratoires de recherche avec son pendant moins péjoratif, la valorisation qui prend le sens de « création de valeur économique ».

Ce qui se joue derrière ces querelles définitionnelles, c'est la réalité d'une mutation de plus en plus perceptible dans nos univers académiques avec le développement de stratégies de survie ou d'expansion des équipes de recherches qui se répandent, avec en ligne de mire la poursuite ou l'initiation de certaines recherches scientifiques qui n'auraient pu se poursuivre ou avoir lieu sans ces stratagèmes des chercheurs relativement à la disponibilité des financements et les projets pour lesquels ceux-ci sont octroyés. Ainsi, ces derniers ne dépendent plus exclusivement des projets

scientifiques, mais ce sont ceux-ci qui se mettent au service des projets industriels civils et/ou militaires qui offrent les meilleurs budgets. D'où ce constat de Lafontaine sur la recherche canadienne :

L'engouement suscité par la maîtrise de l'infiniment petit à l'échelle internationale a donné lieu à un repositionnement des secteurs de recherche afin qu'ils puissent bénéficier de la manne des subventions. Presque exclusivement dépendants des fonds publics, les chercheurs québécois et canadiens participent activement à ce redéploiement afin de s'assurer une place au soleil du nanomètre. [Lafontaine 2010, 23].

Du coup, outre le caractère fédérateur des nanotechnologies, un certain nombre de recompositions des équipes de recherche et/ou la redéfinition de leurs domaines d'activité pourraient avoir un impact sur la configuration intrinsèque des équipes académiques. Cette reconfiguration à l'intérieur des sciences est l'un des aspects importants de la révolution scientifico-technologique annoncée. Pour Lafontaine, « au-delà de leurs multiples applications réelles ou virtuelles, les nanotechnologies annoncent non seulement une nouvelle façon de concevoir et de manipuler la matière, mais aussi un nouveau mode d'organisation de la recherche et du rapport entre science, économie et société. » [Lafontaine 2010, 10].

Enfin, contrairement au Monsieur Jourdain, dans *Le Bourgeois gentilhomme*, on ne fait pas de la nanotechnologie sans le savoir. Dans le but d'éviter toute équivocité de notre définition liée aux facteurs que nous avons exposés dans ce texte, nous avons décidé de mettre en relief deux critères plus fiables et plus stricts. Le premier se base sur les instruments spécifiques qui nous permettent d'accéder à l'objet des nanotechnologies (nous n'en parlons pas ici, mais nous pensons que le terme « nanotechnoscience » serait plus approprié) et qui n'existaient pas avant 1981, date de la découverte du microscope à effet tunnel. Et, le second se base sur les propriétés intrinsèques de l'échelle  $10^{-9}$  dont Roco dit qu'elles se trouvent à un niveau intermédiaire entre la taille des atomes ou des molécules isolées et celle des matériaux macroscopiques. Les nanotechnologies peuvent donc être définies selon ces deux caractères dont le premier permet l'« observabilité » haptique ou l'accessibilité à l'objet nanométrique rendue possible par les nouveaux instruments d'observation et de manipulation. Ce qui implique une prise en compte et une maîtrise des propriétés de la matière à cette échelle, d'où la contrôlabilité indissociable des changements de lois au niveau quantique.

Tout compte fait, est-il encore pertinent de parler de nanotechnologie plutôt que de « nanotechnoscience » quand on connaît l'enchevêtrement *sui generis* entre science et technologie à l'échelle du nanomètre ? Telle est la question qui pourrait faire suite à la présente analyse critique de l'indéfinissabilité des nanotechnologies à laquelle un certain nombre d'acteurs impliqués dans ce domaine semblent se résigner. À ce sujet, Loeve [2010, 15] ouvre une perspective tout à fait intéressante qu'il n'exploite pas jusqu'au bout malheureusement, lorsqu'il affirme : « *Nanotechnology is a true techno-logy in the sense of knowledge of technical operations. The knowledge developed in its practices cannot be reduced to scientific knowledge. Molecular machines are not simply useful objects, although they might become that in the future. They can certainly generate applications, but they leave open other possibilities of constructing meaning and finality in their eventual uses.* »