



INSTITUT  
DIDEROT

Les Carnets des Dialogues du Matin

---

ETIENNE KLEIN

Les nanotechnologies  
et l'avenir de l'homme

---

Les Carnets des Dialogues du Matin

---

**ETIENNE KLEIN**

Les nanotechnologies  
et l'avenir de l'homme

---

---

# Sommaire

Avant-propos p.05

Dominique Lecourt

Les nanotechnologies  
et l'avenir de l'homme p.07

Etienne Klein

---

# Avant-propos

Les organisateurs du Dialogue du Matin consacré à l'avenir des nanotechnologies, autour d'Etienne Klein, étaient loin d'imaginer que cette séance apparaîtrait comme une manière de substitut au grand débat public décidé par le gouvernement. Grenoble, Lyon, Marseille ont vu en effet ce débat empêché par des groupes violents qui ne sont pas seulement opposés aux « nanos » mais au principe même d'une discussion publique à leur sujet.

Les premières tentatives de « démocratie participative » en la matière ont échoué. L'exposé d'Etienne Klein et les questions des participants au Dialogue ont fait apparaître en plein jour la difficulté de la situation. Les nanotechnologies sont déjà là, utilisées notamment en cosmétique ou dans les industries textiles, mais la connaissance des particules mises en jeu est insuffisante ou fautive – on ignore nombre de leurs propriétés ; on parle d'« infiniment petit », alors même que leur taille représente dix fois la taille d'un atome !

Etienne Klein apporte ici cette connaissance avec précision, élégance et pondération. Il fait remarquer que les avantages offerts par l'utilisation de ces particules sont évidents pour les consommateurs aussi bien que pour les industriels – ce qui les distingue des OGM – sans cacher que d'éventuels risques aujourd'hui non avérés ne sont pas à exclure...

---

L'auteur analyse fort bien la portée philosophique générale de l'empoignade dont les nanos font l'objet.

Allons-nous modifier la condition voire la nature humaine sans le savoir ? Ou sera-ce en toute connaissance de cause et de gaïté de cœur comme le proposent les « transhumanistes » liés aux milieux industriels américains ?

Comment les citoyens peuvent-ils ne pas être dessaisis de leur destin par une expansion technologique apparemment irrésistible parce qu'immaîtrisable ? La question reste ouverte, mais Etienne Klein ouvre quelques pistes pour une réponse qui fasse appel à l'intelligence collective.

Dominique Lecourt  
Directeur général de l'Institut Diderot

---

# Les nanotechnologies et l'avenir de l'homme

---

Je veux d'abord remercier chaleureusement Jean-Claude Seys et Dominique Lecourt pour leur invitation à donner cette conférence sur les nanosciences et les nanotechnologies dans des conditions et un cadre aussi agréables.

Pour tout honnête homme, il y a, me semble-t-il, au moins trois raisons de s'intéresser aux enjeux des recherches qui sont menées dans ce domaine.



## Trois raisons de s'intéresser aux nanosciences

La première raison tient à ce qu'elles explorent un domaine intermédiaire entre deux mondes, celui de la physique classique dans lequel les objets ont des comportements « raisonnables », et celui de la physique quantique, où les objets obéissent à des lois qui semblent défier l'entendement : il y a de l'effet tunnel, de l'intrication quantique, de la non-localité, de l'indétermination, bref toutes sortes de phénomènes étranges, aujourd'hui parfaitement maîtrisés, mais que nous ne voyons jamais se manifester à notre échelle. Le monde des nanosciences est donc un lieu d'interfaçage théorique et conceptuel, et c'est ce qui le rend fascinant d'un point de vue fondamental, indépendamment de toutes les applications que l'on peut en espérer.

La deuxième raison vient de ce qu'elles sont, au moins pour une part d'entre elles, le lieu d'un design d'un nouveau genre. Le chercheur en nanosciences est aussi et peut-être même d'abord un ingénieur : son

---

but n'est pas de vérifier telle ou telle théorie, ni même d'obtenir une meilleure représentation de la nature, mais, dans la plupart des cas, de construire des objets artificiels possédant des propriétés désirées, dont certaines sont des propriétés « émergentes ». Les nanosciences et les nanotechnologies doivent l'engouement qu'elles suscitent au seul fait qu'on a aujourd'hui parfaitement confiance dans le socle théorique sur lequel elles s'appuient, à savoir le formalisme de la physique quantique adapté à l'échelle qui va du nanomètre à la centaine de nanomètres : dès lors que les bases scientifiques sont sûres et bien établies, on peut explorer les potentialités technologiques qu'elles suggèrent sans trop craindre de tomber sur un os conceptuel. Dans le domaine des nanosciences et des nanotechnologies, recherche fondamentale et recherche technologique tendent à se confondre. Mises en symbiose, elles englobent un ensemble d'opérations et de connaissances grâce auxquelles on peut envisager de « canaliser les forces naturelles dans le monde de l'artifice humain », pour parler comme Hannah Arendt dans *La Condition de l'homme moderne*. Les nanosciences ouvrent indiscutablement de nouvelles perspectives, qui méritent tout aussi indiscutablement d'être interrogées. Par les scientifiques, bien sûr, mais aussi par l'honnête homme auquel je faisais référence plus haut.

La troisième raison pour s'y intéresser de près, c'est ce qu'on dit des nanosciences, notamment à l'occasion du débat national qui se déroule en ce moment en France ; cette prolifération de discours qui surgissent à leur propos, cet entremêlement d'espairs et de craintes qui les entourent, cette mobilisation de l'imaginaire qu'elles suscitent ou stimulent alors qu'elles n'en sont qu'à leurs balbutiements, même si ceux-ci sont voués à des destins exponentiels. Il est utile d'entendre ces discours, de les interpréter pour percevoir à travers eux la façon dont nos rapports avec le progrès, avec l'idée de progrès, se reconfigurent.

---

## La promotion d'une échelle prometteuse, celle du nanomètre

Les nanosciences sont par essence multiformes. Elles recouvrent un vaste champ de recherches regroupées en vertu de leur appartenance à un même ordre de grandeur spatial : le nanomètre (nm), c'est-à-dire le milliardième de mètre, qui représente dix fois la taille d'un atome. Pour fixer les idées, rappelons que la taille de grosses molécules comme l'ADN est de 2 nm, celle d'un virus d'environ 70 nm, celle d'une bactérie d'un micron (soit 1000 nm), et que l'épaisseur d'un cheveu mesure environ 50 microns, soit 50000 nm. En association avec le nanomètre, on parle de « nanoparticules ». Cette appellation n'est pas très heureuse : *nano* étant un préfixe qui d'habitude marque le milliardième de quelque chose, une nanoparticule devrait être un milliard de fois plus petite qu'une particule. Or, la réalité est exactement inverse : une nanoparticule est un milliard de fois plus grosse qu'une « vraie » particule, c'est-à-dire qu'une particule élémentaire comme l'électron ou le quark. Les nanoparticules sont en réalité des *giga*-particules !

D'un point de vue technique, les nanosciences doivent leur essor à la capacité, récemment acquise (grâce notamment à l'invention, dans les années 1980, du microscope à effet tunnel), d'observer et de façonner des échantillons de matière toujours plus petits et de mieux contrôler leurs propriétés.

Les crédits massifs dont elles bénéficient depuis quelques années (notamment depuis la « National Nano-Initiative » lancée en 1999 par le Président Clinton) les désignent comme le nouvel horizon des politiques de recherche. Trente-cinq pays sont officiellement entrés dans la marche vers le « nano-monde » : non seulement des pays européens, mais aussi l'Australie, l'Afrique du Sud, le Japon, la Corée du Sud, l'Inde, la Chine, Taïwan, Israël, le Brésil... Les soutiens publics se comptent déjà en milliards d'euros

---

(ou de dollars) et ils devraient croître à un rythme élevé dans les prochaines années. Je sais bien que les mesures prises ces derniers mois pour enrayer la crise financière ont montré que le milliard d'euros n'était finalement que de la petite monnaie, mais s'agissant du monde de la recherche, on peut quand même parler d'une « déferlante » budgétaire autour des thématiques labellisées « nanos ».

### **D'où est né l'intérêt pour les nanosciences ?**

Les nanosciences consistent, nous l'avons dit, en l'étude des phénomènes et en la manipulation de matériaux aux échelles atomiques, moléculaires et macromoléculaires. Leur intérêt tient au fait qu'à ces échelles, les propriétés de la matière diffèrent significativement de celles observées à plus grande échelle. Les nanomatériaux possèdent en particulier des propriétés optiques, électriques et magnétiques fort différentes de celles de leurs homologues macro-structurés. Par ailleurs, à cette échelle, les atomes ou les molécules sont isolés, presque sans voisins, et présentent donc de larges surfaces disponibles pour entrer en interaction, ce qui les rend beaucoup plus actifs. Par exemple, une molécule aussi familière que le carbone constitue un monde nouveau, surprenant : les nanotubes n'ont pas le comportement habituel du carbone dans le diamant, le graphite ou le charbon. Quant à l'or, métal noble par excellence, il est chimiquement inerte à l'échelle macroscopique, mais il se met à devenir très réactif lorsqu'on le dispose sous forme de petites billes de taille nanométrique.

Il existe également de nombreux matériaux qui acquièrent à petite échelle des propriétés catalytiques, c'est-à-dire la capacité d'accélérer ou de ralentir une réaction chimique sans se modifier eux-mêmes. On conçoit que ces propriétés puissent intéresser un certain nombre d'industriels (par exemple ceux de la pétrochimie) désireux de disposer de catalyseurs plus efficaces (permettant donc d'économiser de l'énergie) et plus sélectifs (générant donc moins de sous-produits).

---

La plupart de ces nouvelles propriétés tiennent au fait que lorsque l'on diminue la taille d'un objet, on augmente le rapport entre sa surface et son volume. Du même coup, on accroît ses potentialités d'interactions physiques ou chimiques avec son environnement, ce qui le rend plus réactif. L'exemple des comprimés effervescents nous permet de mieux comprendre l'importance de cet effet, bien qu'il ne soit pas tiré de l'univers nanométrique : les comprimés effervescents se dissolvent dans l'eau grâce à une réaction chimique entre l'eau et les molécules présentes à leur surface. Avec un comprimé normal, la dissolution prend environ une minute et nous avons alors l'habitude de voir le comprimé s'agiter et diminuer progressivement de taille. Mais si on broie préalablement le comprimé avant de le mettre dans l'eau, bien que la quantité de matière à dissoudre ne soit pas modifiée, la dissolution ne prendra plus que quelques secondes car la surface de réaction entre l'eau et la poudre broyée sera beaucoup plus importante.

Du fait de ces phénomènes, tous les éléments chimiques classés dans le tableau périodique avec des propriétés physiques et chimiques bien connues peuvent être revisités à l'échelle du nanomètre et y exhiber de nouvelles propriétés. Cette situation, riche de promesses, est bien sûr un atout, mais elle présente aussi l'inconvénient de laisser pour l'instant sans réponses définitives le problème de la nano-toxicité : la toxicité éventuelle d'une nanoparticule ne dépend plus seulement des éléments chimiques qui la constituent, mais aussi de sa forme, de sa taille, de sa localisation, de son environnement, ce qui fait beaucoup de cas et de situations à examiner. Voilà donc un domaine où les experts disent qu'ils ne savent pas, en tout cas qu'ils ne savent pas encore, même si les choses progressent. De gros programmes de recherches ont été lancés, qui s'étendront nécessairement sur des années, compte tenu de l'ampleur et de la difficulté du problème posé.

---

---

## Des questions sur la toxicité des nanoparticules

Depuis 2003 et le premier rapport alarmant de l'ETC<sup>1</sup> (une ONG canadienne), des associations soucieuses de préserver l'environnement et la santé humaine dénoncent l'incertitude sur la toxicité, la dispersion et le cycle de vie des nanomatériaux, alors même que certains, comme le noir ou les nanotubes de carbone, sont déjà produits à l'échelle industrielle. Des syndicats ont des craintes similaires à propos des conditions de travail qu'on rencontre dans les industries produisant ou utilisant des nanotechnologies. Ainsi que nous l'avons déjà dit, l'incertitude sur la toxicité des nanoparticules est réelle ; à 10<sup>-9</sup> mètre, une substance a un comportement très différent de celui qu'on lui connaît à l'échelle micro ou macro, du fait de la surface d'exposition bien plus grande proportionnellement à la quantité de matière. Son comportement varie aussi selon la forme de la nanoparticule, ce qui n'est pas le cas à l'échelle macro et demande aux toxicologues des méthodes d'analyse spécifiques, dont certaines restent à inventer. Enfin les nanoparticules sont bien évidemment très pénétrantes ; du fait de leur taille très petite, elles peuvent traverser les membranes des tissus et des cellules. La toxicité est avérée pour certaines nanoparticules comme le dioxyde de titane (cancérogène chez la souris, classé comme cancérogène pour l'homme par l'OMS en 2006), le zinc et l'oxyde de zinc, utilisés dans les cosmétiques et l'emballage alimentaire, et des doutes pèsent sur le nano-argent, du fait de ses propriétés bactéricides et biocides.

La réglementation européenne REACH qui régit la mise sur le marché des substances chimiques paraît en l'occurrence mal adaptée, car elle ne s'applique que pour des productions supérieures à une tonne - ce qui

---

1 "No Small Matter II : The Case for a Global Moratorium", ETC, 2003. <http://www.etcgroup.org/en/node/165>.

---

n'est pas nécessairement le cas des nanoparticules. En novembre 2009, le Parlement européen a exigé un étiquetage systématique des composants nanos pour les produits de l'agro-alimentaire et la cosmétique. Ce n'est sans doute qu'un premier pas. Les progrès des connaissances en nano-toxicité conduiront sans doute à la fixation de normes d'usage et de réglementations.

### **Une tentative de classification des nanotechnologies**

Elles sont foisonnantes, je l'ai dit, mais on peut malgré tout les répartir *aujourd'hui* en trois grandes catégories. *La première catégorie* regroupe l'ensemble des procédés de synthèse des nano-objets : il s'agit de produire une substance de taille nanométrique en grande quantité avec le meilleur rendement et la plus grande pureté possible. Par exemple des nanotubes de carbone, dont je vais reparler, ou bien des fullerènes qui résistent encore mieux que le titane à la flexion, ou bien encore d'autres types de nanoparticules qu'on met dans les peintures et les vernis pour augmenter leur résistance à l'abrasion.

*La deuxième catégorie* regroupe des procédés visant l'incorporation de nano-objets dans des substances « nano-composites » : des nano-objets sont alors dispersés dans la matrice d'un solide ou à sa surface, dans un solvant ou même un gaz, pour lui donner des propriétés intéressantes. Dans ce cas, les techniques diffèrent peu de celles des additifs classiques, mais offrent un vaste champ d'innovations qui représente aujourd'hui 70% des activités en nanotechnologies et concerne tous les secteurs industriels, les plus sophistiqués comme les plus traditionnels : pièces mécaniques ultra-résistantes, revêtements pour l'aéronautique, verres autonettoyants, cosmétiques, nouveaux systèmes de motorisation comme la traction hybride ou électrique, catalyseurs pour obtenir un indice d'octane élevé dans les carburants... Les additifs les plus connus sont sans doute les

---

nanotubes de carbone, dont la structure est très stable, et qui possèdent de ce fait des propriétés physiques (notamment mécaniques) très intéressantes : cent fois plus résistants que l'acier tout en étant six fois plus légers que lui, on n'a guère envie de les jeter à la poubelle... Ils sont d'ailleurs utilisés par les fabricants d'équipements sportifs, dans des matériaux composites qui allègent sans les fragiliser certaines raquettes de tennis ou de badminton, des clubs de golf, des crosses de hockey, des cadres de vélo et, last but not least, des crampons et des piolets d'alpinistes... D'autres nanoparticules comme les dioxydes de titane, de cérium ou de zinc sont également célèbres : étant capables de filtrer les rayons ultraviolets sans pratiquement diffuser la lumière visible, on en trouve dans certains crèmes solaires, qui du coup sont quasi-transparentes. De plus, en séchant, certaines s'agglomèrent pour former une structure en réseau qui augmente la tenue de la crème sur la peau lors de l'exposition à l'eau.

L'industrie textile a elle aussi recourt aux nanotechnologies pour améliorer ses produits, pour changer leurs propriétés thermiques, empêcher la formation de plis, augmenter leur résistance à l'eau, au feu, à l'abrasion. Parfois, elle vise encore plus loin : dans le domaine du vêtement de sport, par exemple, des nanoparticules métalliques, d'argent notamment, sont intégrées aux fibres afin de donner des propriétés bactéricides au tissu et ainsi lutter contre les mauvaises odeurs (on peut enfin respirer dans les refuges de haute montagne !). Ces nanoparticules d'argent sont présentes aujourd'hui dans plus de 600 produits (électroménager, pansements, sous-vêtements...).

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, ces techniques ne sont pas vraiment novatrices. Elles ont été utilisées il y a fort longtemps, mais c'était bien sûr à la façon de Monsieur Jourdain faisant de la prose : on a récemment découvert que la dureté exceptionnelle des fameuses épées de Damas, dont le tranchant était redouté des Croisés, était dû à la présence dans leur acier

---

de nano-fibres de carbure de fer, encapsulées dans des nanotubes de carbone ; ces fibres résultaient de divers traitements thermiques d'un minerai de fer très chargé en carbone qui provenait d'Inde...

Enfin, *la troisième et dernière catégorie*, qui constitue le cœur conceptuel des nanotechnologies, consiste à modeler la matière selon des architectures précises afin de créer des systèmes miniaturisés à l'échelle nanométrique, dans lesquels seront exploitées les propriétés inédites des nano-objets. On assemble ces objets atome par atome (ou molécule par molécule), de manière à élaborer des systèmes ou des matériaux dont la fonctionnalité réponde à un besoin particulier, en vue d'applications bien identifiées. Par exemple, on peut songer à faire des transistors possédant le nombre minimal d'atomes permettant d'accomplir la fonction d'un transistor, et ainsi économiser de la matière et augmenter la densité spatiale des composants électroniques. On peut également songer à des matériaux permettant de mieux isoler les constructions ou de mieux convertir la lumière solaire en énergie, ou bien encore à des dispositifs permettant le stockage de l'hydrogène, etc.

Il arrive que, dans ces cas, on ne parte pas sans modèles. On sait en effet qu'il existe des entités biologiques qui sont naturellement nano-structurées et il peut être intéressant de les singer (c'est ce qu'on appelle le bio-mimétisme). Je ne donnerai que trois exemples :

La *nacre*, qui est constituée d'un échafaudage très ordonné de plaquettes de carbonates de calcium d'une épaisseur nanométrique. L'ensemble lui confère une résistance exceptionnelle, chaque couche étant capable d'« encaisser » une partie des chocs reçus. Les mécaniciens tentent évidemment de s'en inspirer.

Le lézard appelé *gecko*, qui parvient à grimper sur les surfaces les plus lisses et à adhérer à un plafond grâce aux milliards de nano-poils dont sont pourvus ses doigts. Ces poils se collent aux parois par des interactions électrochimiques, dites de Van der Waals, qui se

---

produisent lorsque deux molécules s'approchent à des distances de l'ordre du nanomètre. Ces interactions étant extrêmement faibles, il faut au gecko un très grand nombre de nano-poils sur chaque doigt pour pouvoir s'accrocher en toutes circonstances. Et pour se déplacer, l'animal doit rompre les liaisons des nano-poils avec la paroi : il procède pour cela par arrachement, comme on le fait quand on décolle un ruban adhésif d'un mur.

Les *feuilles de lotus*, qui ne retiennent ni eau ni poussières et restent donc toujours parfaitement propres et lisses au toucher. Il est apparu qu'elles étaient nano-structurées, hérissées de nano-pointes semi-rigides qui empêchent l'eau de former des microgouttelettes collées aux feuilles. L'eau qui tombe sur les feuilles se voit ainsi rejetée par les nano-pointes et perle à vitesse élevée, entraînant la saleté avec elle. On conçoit que cet exemple puisse être une source d'inspiration pour les fabricants de vitres autonettoyantes...

### **D'innombrables perspectives d'applications**

Il y a ce qui se fait aujourd'hui, et il y a ce qui pourrait se faire à plus ou moins long terme. Je l'ai dit : les pistes explorées par les nanosciences sont innombrables. Ne comptez donc pas sur moi pour vous proposer une liste à la Prévert de tout ce qui est aujourd'hui imaginé. Il s'agit de champs de recherche, dont certains aboutiront, d'autres non. Je vais me contenter de vous donner trois exemples particuliers, choisis presque au hasard dans trois thématiques différentes : l'énergie, les textiles, la santé.

**L'énergie** : Les véhicules électriques offrent un fort potentiel d'économie d'énergie. On estime aujourd'hui que pour être viables commercialement, ils doivent pouvoir parcourir environ 300 km avec 100 kg de batteries. Des progrès ont été réalisés dans les véhicules à traction hybride de première génération. Néanmoins, pour parcourir 300 km, il faut encore des batteries très volumineuses. Les batteries lithium-ion, utilisées pour les ordinateurs portables et les

---

téléphones mobiles, ont permis de progresser avec un meilleur stockage. Malheureusement, leur prix et leur durabilité restent incompatibles avec le marché de l'automobile. Le recours aux nanotechnologies permet d'envisager de les rendre plus performantes et abordables, notamment en associant des nanoparticules de lithium, de fer et de phosphate.

**Textiles :** Certains prévoient qu'à l'avenir le textile d'habillement deviendra multifonctionnel. Dans la fibre textile, de véritables réseaux de capteurs-actionneurs, intégrant des nano-composants, permettront de remplir certaines fonctions, par exemple l'identification de l'état physiologique de celui ou de celle qui porte le vêtement (ce pourrait être très utile pour les pompiers, les combattants, les malades, les sportifs...). Dans un avenir beaucoup plus lointain, il est envisagé de concevoir des tissus qui récupèrent l'énergie du corps humain pour la transformer en électricité. On se transformera en petite centrale électrique, ce qui permettra à chacun de recharger lui-même son portable, à condition d'être tout habillé et d'avoir pris un bon petit déjeuner...

D'une façon générale, en faisant appel aux nanotechnologies, l'industrie textile entrevoit la possibilité de couvrir des applications qui dépassent largement le vêtement et la mode. Avec une maîtrise du traitement des fibres au niveau moléculaire, les textiles de demain pourraient délivrer des médicaments ou encore contribuer à lutter contre la contrefaçon (par insertion de nanoparticules luminescentes encapsulées qui ne se révèlent que sous un éclairage particulier).

**Santé :** on peut envisager des nano-médicaments ciblant les cellules malades. L'idée est d'utiliser des nano-vecteurs qui concentreraient des molécules médicamenteuses ou des suppléments vitaminiques et pourraient atteindre spécifiquement des cellules ou des organes cibles. Pour cela, de nombreux travaux sont menés sur la façon de les intégrer à des aliments

---

dont le goût et la texture demeurent attrayants pour le consommateur, mais aussi sur les moyens de protéger les substances actives lors de leur transport vers les cibles et de permettre leur diffusion (relargage) dans l'organisme au bon moment.

### **Une prolifération de discours contradictoires...**

Du fait de leur nouveauté proclamée, les nanotechnologies donnent lieu à un foisonnement d'analyses et de commentaires. Leur seule évocation semble désormais capable d'étayer toutes sortes de discours et d'induire les scénarios les plus contradictoires : on les accole ici à d'effrayantes prophéties, là à de séduisantes promesses. Ainsi les nanotechnologies sont-elles tantôt associées à l'idée de *salut* (avec, en ligne de mire, un « homme nouveau » débarrassé des soucis liés à la matérialité du corps), tantôt à l'idée de *catastrophe*. Dans le premier cas, on clame qu'elles donneront à l'idée de progrès l'occasion d'une rédemption automatique et radicale, et on avance des arguments qui tendent à profiter et du beurre de l'enthousiasme le plus débridé et de l'argent du beurre de la caution scientifique, comme si la science et la technologie n'étaient plus des activités à l'issue toujours incertaine, mais des processus guidés par un but chargé de tous les espoirs et présenté comme certain. Dans le second cas, on avance des arguments qui tendent à profiter et du beurre de la paranoïa la plus alerte (c'est le mot) et de l'argent du beurre de la même caution scientifique, comme s'il n'y avait plus de place pour le jeu politique ou l'agir démocratique. Il arrive que ladite caution scientifique, dans un cas comme dans l'autre, soit toute relative ou présentée de façon rocambolesque. En la matière, le record mondial du syllogisme mal contrôlé appartient, je pense, à Paul Virilio qui, le 5 mars 2009 dans l'émission « Ce soir ou jamais » sur France 3, déclarait doctement devant des millions de téléspectateurs : « Ce que les scientifiques ne vous disent pas, c'est qu'en inventant le nanomètre, ils ont inventé la nanoseconde. Or la nanoseconde n'est pas une durée humaine. Donc, les nanotechnologies ne sont pas des technologies humaines ».

---

Ces deux « camps », celui du salut et celui de la catastrophe, en apparence opposés, s'accordent toutefois pour penser que les nanotechnologies seront capables de transgresser les limites corporelles et de collaborer à estomper la distinction entre nature et artifice<sup>2</sup>. Finalement, que l'on soit techno-prophète (en l'occurrence trans-humaniste) ou techno-sceptique (en l'occurrence luddite), la prémisse est la même : les nanos nous conduiraient à un monde qui n'aurait plus grand-chose en commun avec celui où nous vivons. Les esprits les plus neutres parlent simplement, eux, d'une nouvelle « révolution industrielle », ou d'une « mutation radicale » dans l'histoire des technologies. Il faut toutefois préciser le sens des mots : cette « révolution » aura des caractéristiques différentes de celles qui l'ont précédée, comme l'invention de la machine à vapeur, la diffusion du courant électrique ou la création de l'électronique et des ordinateurs. En effet, elle s'exprimera de manière diffuse et peu apparente : compte tenu de leur échelle, les nanotechnologies ne vont pas déboucher sur un ou quelques dispositifs spécifiques (comme le moteur à explosion ou l'ampoule électrique), mais vont être largement intégrées, en faible quantité, dans des produits déjà existants pour les améliorer. En ce sens, on pourrait considérer qu'elles correspondent plutôt à une simple évolution technologique. Mais les potentialités qu'elles offrent sont si vastes qu'elles déboucheront probablement, à l'image de l'informatique, sur des pratiques et des usages nouveaux qui sont aujourd'hui difficiles à prévoir.

---

2. Ce dernier point mérite un commentaire : d'un côté, on avance que les nanosciences sont révolutionnaires ; de l'autre on s'évertue à montrer que les nanoparticules ne sont pas une nouveauté, qu'on en trouve déjà dans les pigments utilisés dans les poteries arabes médiévales, dans les couleurs des vitraux des cathédrales, bref que les nanoparticules ont toujours été parmi nous... Ainsi le mouvement d'artificialisation de la nature se double-t-il d'un mouvement de naturalisation des artifices, ce qui a pour effet de brouiller les frontières.

---

---

Certains magazines américains n'hésitent d'ailleurs même plus à annoncer une percée qu'ils ont baptisée le *small bang*<sup>3</sup>, qui serait comme une réplique technologique au *big bang* dont notre univers physique est issu. Ce *small bang* adviendrait comme le résultat d'une convergence technologique généralisée, d'une symbiose détonante entre les progrès de l'informatique, des nanotechnologies, de la biologie et des sciences cognitives (BANG est d'ailleurs l'acronyme de Bits, Atomes, Neurones et Gènes). Il devrait ouvrir grandes les portes à une « post-humanité » dont nos ridicules limites humaines peinent à concevoir l'étendue des facultés, notre seule gloire étant de concourir à l'avènement de cette nouvelle espèce qui portera sur nous un regard de pitié condescendante et incrédule.

### ... et de nouvelles questions

Bien sûr, ces discours futuristes, y compris les plus enthousiastes, inquiètent une partie de ceux qui les entendent : les nanotechnologies ne vont-elles pas modifier profondément nos corps, notre environnement, notre rapport à la nature, nos relations à autrui ? N'effaceront-elles pas la frontière entre l'inerte et le vivant ? Et ne nous obligeront-elles pas à préciser bientôt ce qui, dans l'homme, doit être considéré comme intangible, et ce qui peut être amélioré ou complété ? Bien des débats traitent de ces questions, qui arrivent immédiatement et peut-être *trop immédiatement* les nanosciences au champ des valeurs. On perçoit à ce propos une différence assez nette entre les États-Unis et l'Europe. Le projet américain vise plutôt l'augmentation des performances de l'individu (*Human Enhancement*) : il s'agit de dépasser les limites que l'évolution naturelle par sélection a fixées à l'espèce humaine pour passer

---

3. Cette expression a été inventée par ETC, une ONG canadienne, dans le but d'alerter l'opinion sur les dangers potentiels des nanotechnologies.

---

à une évolution planifiée, délibérée et basée sur la technologie. Le projet européen se présente, lui, comme plus collectif, il vise la réparation des corps abimés et non l'augmentation des performances des corps sains, il dit vouloir enrichir la diversité culturelle et construire une société de la connaissance. Reste que ces différences n'ont pas d'effets très nets : en Europe comme aux États-Unis, les nanos suscitent une série d'interrogations toutes fondées sur le renversement des promesses de la convergence en visions d'horreur. Citons, sans être exhaustifs :

La remise en cause de partages immémoriaux et quasi « sacrés », comme la frontière entre naturel et artificiel (certaines associations dénonçant une artificialisation de toutes nos conditions de vie, voire de la vie elle-même par les nanos), ou entre vivant et non-vivant (des « briques » du vivant comme l'ADN étant par exemple employés dans la fabrication de puces ADN) ;

La crainte qu'une société où l'électronique devient portable et invisible ne débouche sur une société de contrôle centralisé de l'information sur la vie privée des citoyens (fin 2009, la CNIL elle-même a parlé à ce propos de « clonage mental », invoquant les phobies qui avaient dominé le débat sur le clonage autour de 2000<sup>4</sup>);

La crainte de l'invasion, voire de la colonisation du corps humain par la machine, à travers les interfaces cerveau-machine et cerveau-ordinateur promises par les neurosciences et la nano-médecine, dans un but curatif dans un premier temps. Mais qui sait ? On arrivera peut-être bientôt au *cyborg*, ou encore à un contrôle de la pensée ;

La crainte d'un monde à deux vitesses, voire à deux degrés d'humanité, les riches bénéficiant des avancées technologiques pour augmenter leurs performances

---

4. Voir le cahier d'acteur de la CNIL pour le débat public, CNIL, Cdpd, 2009,

---

physiques et intellectuelles alors que les pauvres continueront de vivre comme des *homo sapiens* non modifiés, donc « inférieurs ».

Les plus extrêmes critiques voient dans les nanos une volonté plus ou moins cachée et plus ou moins centralisée d'asservissement global des vies et des âmes, comme de l'environnement. Sans être toujours luddites, beaucoup parlent de « nano-pouvoir », comme Michel Foucault a pu parler de « biopouvoir » (dans *Surveiller et punir*). Le fait qu'en toutes ces matières, notre savoir prévisionnel reste en deçà de notre savoir technique donne à ces questions une envergure toute philosophique, et même « sociétale » comme il semble qu'il faille dire désormais.

### Les scientifiques en porte-à-faux

Cette envergure sociétale produit toutes sortes d'effets. Elle contribue notamment à faire que l'expert scientifique peut se trouver disqualifié au motif que les questions qui se posent ne sont pas des questions exclusivement scientifiques ou techniques, mais des questions auxquelles on ne peut vraiment répondre qu'en se référant à un projet de société, voire à un projet de civilisation, ou mieux encore à ce que Dominique Lecourt appelle « une vision globale de l'être humain »<sup>5</sup>. Si vous me permettez une anecdote personnelle, j'ai été très étonné de voir, dans les débats auxquels j'ai assisté, à quel point la posture du chercheur pouvait se trouver quasiment renversée par rapport à ce qu'elle a pu être : le chercheur, qui a longtemps fait figure de rebelle, de créateur libre et insoumis, incarne désormais aux yeux d'une partie du public le « système » tout entier, celui de la techno-science couplée au marché ; du moins pense-t-on qu'il l'alimente, qu'il le fait vivre et permet sa perdurance ; il participerait même, lit-on parfois, à un

---

5. Dominique Lecourt utilise cette expression dans sa présentation de l'Institut Diderot (<http://www.institutdiderot.fr/>).

---

complot généralisé visant à fliquer la société, à enrichir les capitalistes et à empoisonner les gens. L'expert a perdu beaucoup de son autorité dans ces débats : « s'il dit ce qu'il dit, ce n'est pas parce que c'est vrai, mais parce qu'il a intérêt à le dire ». On voit là les limites de la démocratie participative, lorsque l'intervenant, s'il est scientifique ou expert d'une partie du sujet en discussion, est jugé illégitime du fait même de son statut de « sachant ». Il est donc urgent de se demander « ce que devient l'autorité sous l'empire du techno-marché », pour reprendre les mots de Jean-Paul Karsenty. Le projet scientifique n'apparaissant plus enchâssé dans un projet de civilisation, toute innovation est interrogée pour elle-même, et non plus en fonction d'un horizon plus général qu'elle permettrait d'atteindre. Le mot progrès a perdu de son aura, pour toutes sortes de raisons, et il faudrait lui redonner collectivement un sens, au deux sens du terme : d'une part le redéfinir ; d'autre part l'associer à une direction globale, qui soit explicite et si possible désirable.

Comme vous le savez, le gouvernement a demandé en février 2009 à la Commission Nationale du débat public d'organiser en France un débat « large et transparent » sur les risques et les conditions de développement des nanotechnologies. Ce débat se déroule actuellement, dans d'assez mauvaises conditions, si mauvaises mêmes qu'on ne peut pas dire qu'il ait vraiment lieu. Partant des prémisses que le débat ne serait pas un vrai débat, mais un simple exercice de « pédagogie » qui ne changerait rien ou pas grand-chose aux décisions d'investissement (« les nanos sont déjà là »), les opposants radicaux l'ont à plusieurs reprises empêché de se tenir<sup>6</sup> ce qui, au mieux, est stérile, et au pire, la meilleure manière d'assurer la vérité de leurs prémisses.

---

6. Cela a d'abord été le cas lors de la réunion du débat public qui s'est tenue à Grenoble le 1<sup>er</sup> décembre 2009, et qui a dû être annulée après l'intervention bruyante d'une centaine d'opposants. Le même scénario s'est répété par la suite.

---

La question est : Pourquoi est-il si difficile de débattre calmement et de façon factuelle des nanos, alors que le besoin s'en fait sentir dans la société et jusqu'au plus haut niveau de l'État ? La réponse tient à mon avis à ce que ce débat intervient à un moment où le statut de la science dans la société apparaît foncièrement ambivalent, et cette ambivalence me semble devoir être analysée.

### **L'ambivalence du statut actuel de la science et des techniques**

En quoi consiste cette ambivalence ? Elle vient de ce que, d'une part, la science constitue, *en tant qu'idéal*, le fondement officiel de notre société, censé remplacer l'ancien socle religieux : nous sommes gouvernés, sinon par la science elle-même, du moins *au nom de quelque chose qui a à voir avec la science*. C'est ainsi que dans toutes les sphères de notre vie, nous nous trouvons désormais soumis à une multitude d'évaluations, lesquelles ne sont pas prononcées par des prédicateurs religieux ou des idéologues illuminés : elles se présentent désormais comme de simples jugements d'« experts », c'est-à-dire sont censées être effectuées au nom de savoirs et de compétences de type scientifique, et donc, à ce titre, impartiaux et objectifs. Par exemple, sur nos paquets de cigarettes, il n'est pas écrit que fumer déplaît à Dieu ou compromet le salut de notre âme, mais que « fumer tue ». Le salut de l'âme, objet par excellence du discours théologique, s'est peu à peu effacé au profit de la santé du corps qui, elle, est l'objet de préoccupations scientifiques. En ce sens, nous considérons qu'une société ne devient vraiment moderne que lorsque le prêtre et l'idéologue y cèdent la place à l'expert, c'est-à-dire lorsque le savoir scientifique et ses développements technologiques ou industriels sont tenus pour le seul fondement acceptable de son organisation et de ses décisions.

Mais d'autre part — et c'est ce qui fait toute son ambiguïté —, la science, *dans sa réalité pratique*, est questionnée comme jamais, contestée, remise en cause, voire marginalisée.

---

Elle est à la fois objet de *désaffection* (dans les pays développés, de moins en moins de jeunes s'orientent vers les études scientifiques) et de *méconnaissance effective* (on ne comprend pas ce que les experts disent). De fait, nous ne vivons pas dans une « société de la connaissance », mais dans une société de l'usage de technologies : nous utilisons avec aisance les appareils issus des nouvelles technologies mais sans presque rien savoir des principes scientifiques dont elles découlent (toutefois, je ne serai pas aussi sévère qu'Einstein lorsqu'il disait : « Ceux qui utilisent négligemment les miracles de la science et de la technologie, en ne les comprenant pas plus qu'une vache ne comprend la botanique des plantes qu'elle broute avec plaisir, devraient avoir honte », car il y a comme un « durcissement sportif » de la culture scientifique : il est devenu difficile de se faire une bonne culture à la fois sur la physique des particules, les mini-trous noirs du LHC, les OGM, le nucléaire, le changement climatique ou la virologie). Le langage de la science est une sorte de chinois, et comme le disait Lacan, « tout le monde n'a pas le bonheur de parler chinois dans sa propre langue »...

La science est également devenue la cible de multiples critiques, d'abord d'ordre philosophique, qui conduisent à une relativisation rampante du discours des scientifiques. On l'accuse d'être une simple « construction sociale », on bien d'avoir avec la vérité un lien qui n'est ni plus fort ni moins fort que celui des autres démarches de connaissance (relativisme), ou bien de mener à un arraisonnement abusif de la nature (Heidegger). Mais d'autres critiques, peut-être les plus violentes, sont d'ordre politique, et ce sont ces critiques, sans doute, qui discréditent le plus la parole scientifique lorsque celle-ci tente de sortir de son domaine strict : on considère que la science, toute enrobée d'un gigantesque halo de technoscience, est devenue l'instance directement responsable d'une grande partie des dérives du monde actuel, qu'elles soient économiques, idéologiques, écologiques, sociales ou autres.

---

Par capillarité, cette ambivalence de la science est aussi devenue celle de la technique, sa cousine, qui se trouve soumise, elle aussi, à deux forces violemment antagonistes. La première de ces forces est la technique elle-même, qui diffuse continûment dans tous les aspects de la vie quotidienne. Cette intrusion est même si intense, si ostensible, que la technologie (la *technique* associée au *logos*, c'est-à-dire ce qu'on dit à propos de la technique, sa mise en récit) semble désormais transcender la dimension de l'action individuelle de chacun d'entre nous, et même celle de l'action collective. La fonction anthropologique de la technique devient ainsi celle d'une nouvelle divinité, d'un « sacré » non-religieux, mais qui posséderait toutes les caractéristiques d'un dieu tout-puissant. La seconde de ces forces, opposée à la première, est une résistance diffuse à cette affluence-influence croissante des objets techniques : la quantité même de ces objets impressionne, ainsi que leur association au sein de réseaux qui prolifèrent et dont le contrôle n'est jamais que partiel. D'où la crainte que nous allions trop vite vers l'inconnu, ou que nous soyons même menacés de succomber à la démesure technologique : « La rapidité avec laquelle les innovations contemporaines se succèdent ne laisse aucun répit, d'où une désorientation sociale et psychologique sans précédent dans l'histoire »<sup>7</sup>, écrivait Bernard Stiegler dès 1996. Dans ce nouveau contexte, on somme les scientifiques d'éviter à tout prix non seulement la catastrophe, mais également l'ombre de toute catastrophe possible. Et c'est ainsi que le discours sur la catastrophe en vient à acquérir un pouvoir réel, en même temps qu'une véritable légitimité médiatique, même si la catastrophe en question demeure purement fictive.

Le « clash » entre ces deux forces qui chahutent le statut symbolique de la technique me semble difficilement évitable. Il est susceptible d'engendrer diverses formes de violence,

---

7. Bernard Stiegler, *La Technique et le temps*, Tome 1, Editions Galilée, 1996, p. 56.

---

ne serait-ce que d'ordre symbolique, dont les nanosciences pourraient être l'exutoire. Car les promesses exagérées (le « hype »), aussi bien que les menaces les plus terrifiantes auxquelles on les a associées, les ont médiatiquement installées en symbole suprême de la technique toute puissante. Là où il y a encore du jeu social et politique, on ne veut voir qu'une pure fatalité de la technique, qui nous mènera, selon les uns, à des réalisations révolutionnaires et tout à fait désirables, et selon d'autres à un avenir de « dictatures, de robots et de moutons », pour parler comme les membres du groupe « Pièces et Main d'œuvre » (PMO) qui s'oppose depuis plusieurs années au développement des nanotechnologies, quelles qu'elles soient.

### **Un nouvel horizon éthique**

Ces perspectives ouvrent en tout cas une sorte de nouvel horizon éthique que nous devons interroger : comment bien vivre ensemble dans un monde profondément modifié par la technique, comme arraché à la nature ? Voulons-nous demeurer dans la condition humaine ? Ou avons-nous envie de transgresser ses limites actuelles, de lui échapper autant que faire se peut, engendrer à n'importe quel âge, résister à tous les virus, vivre « éternellement » jeunes, avec des capacités cérébrales augmentées grâce à l'implantation de toutes sortes d'artefacts dans le cerveau ?

Au-delà de ces questions éthiques, les nanosciences invitent à poser des questions de gouvernance mondiale en matière d'innovation technologique. Allons-nous tolérer un agrandissement du fossé technologique entre le Nord et le Sud ? La course à l'innovation destinée à séduire les consommateurs du Nord ne se fait-elle pas au détriment de la recherche sur des problèmes sanitaires très graves qui touchent les populations du Sud (paludisme, sida, famine...)?

De toute évidence, les nanotechnologies s'insèrent dans le processus millénaire de transformation technique du milieu naturel et, à travers elle, des conditions d'existence de

---

l'homme. Avec elles, nous modifierons à coup sûr notre façon quotidienne de vivre, de communiquer, de consommer, de travailler, c'est-à-dire nos conditions de vie. Mais ne s'agit-il que d'une simple affaire de degrés ? Il se pourrait qu'à force de modifier nos conditions de vie humaine, on aboutisse à une transformation radicale de *la* condition humaine elle-même. Une telle perspective, directement associée à l'idée de Modernité, avait été anticipée par de nombreux penseurs, qui l'avaient souvent considérée très favorablement car ils la voyaient comme une contestation par l'homme de sa propre finitude. La véritable exigence de l'humanisme n'a jamais été de sacraliser une nature prétendument immuable, mais plutôt de percevoir l'« humaine condition » qui nous rattache à tout autre homme, si différent soit-il, y compris lorsqu'il diffère de nous par la technique qu'il utilise. Si les progrès des nanotechnologies devaient conduire à une rupture majeure au sein de l'histoire de l'humanité, par suite d'une transformation du corps désirée par l'homme et délibérément irréversible, signifieraient-ils pour autant l'abandon de cette exigence ? Je ne le sais pas. Mais qui le sait ? Qui peut dire qu'il est expert de cette question ? Personne ? Tout le monde ?

M. C. Roco et W. S. Bainbridge sont connus pour être les auteurs d'un rapport célèbre<sup>8</sup> publié en 2002 aux Etats-Unis, très enthousiaste à propos des nanosciences qu'ils présentent comme une « révolution pour notre civilisation » et déclinent en de multiples promesses tout à fait mirobolantes : les nanosciences permettront « une compréhension exhaustive de la structure et du comportement de la matière depuis l'échelle nanométrique jusqu'au système le plus complexe découvert à ce jour, le cerveau humain », et elles auront la capacité « d'unifier les sciences et les techniques, d'assurer le bien-être matériel et spirituel universel, l'interaction

---

8. M. C. Roco et W. S. Bainbridge, *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information technology and cognitive science*. Report of The National Science Foundation, Arlington, 2002.

---

pacifique et mutuellement profitable entre les humains et les machines intelligentes, la disparition complète des obstacles à la communication généralisée, en particulier ceux qui résultent de la diversité des langues, l'accès à des sources d'énergie inépuisables ou encore la fin des soucis liés à la dégradation de l'environnement ». En bref, on nous promet comme étant certains une connaissance vraie et définitive de l'univers, le bonheur à jamais, la paix dans le monde et l'harmonie entre les hommes. Vous pouvez compter, il ne manque rien, c'est donc le Salut avec un grand S. Ce plaidoyer somme toute assez ridicule a joué un rôle très important dans la promotion institutionnelle et symbolique des nanosciences. Mais en les associant directement à un projet métaphysique grandiloquent (et non pas seulement à un projet technologique), en les rivant à un horizon trop exagérément prometteur, Rocco et Bainbridge ont sans doute construit le piège dans lequel les nanosciences se trouvent désormais prises : on met désormais celles-ci sous le feu intense de questions qui les dépassent largement, et qu'il faudra bien traiter un jour. La question est : comment traiter ces questions ?

Je vois bien une piste, mais j'avoue ne pas savoir si elle est praticable. Elle consisterait à évaluer continûment les changements *effectifs* et très divers induits dans nos modes de vie et dans nos valeurs par les technologies nanos à mesure qu'elles se font. La tâche de l'éthique commence par départager les discours visionnaires, qu'ils soient grandiloquents ou catastrophistes, des changements concrets qui naissent de l'utilisation, par définition imprévisible, des technologies nouvelles. Indépendamment des grands discours, ces changements effectifs mobilisent ou déstabilisent l'imaginaire, comme on le voit par exemple lorsque les biotechnologies remettent radicalement en question la frontière entre ce qui est vivant et ce qui ne l'est pas, voire rendent possible une véritable ingénierie du vivant avec la biologie synthétique, ou quand l'électronique devient portable, ce qui fait de nous des porteurs d'échanges d'information où nous sommes passifs et non plus agents.

---

Le progrès technique et technologique a toujours appelé des reconfigurations de nos modes de vie, de nos valeurs, de notre imaginaire, des critiques de l'ancien comme du nouveau. Les nanotechnologies ne font pas exception à cette règle historique. Au moins conviendrait-il, avant toute chose, de ne pas se faire de ce progrès lui-même une idée imaginaire.

Mais en la matière, n'est-il pas trop tard ?



Je vous remercie de votre attention.

# Les nanotechnologies et l'avenir de l'homme

---

Le grand débat public décidé par le gouvernement se voit empêché par des groupes violents qui ne sont pas seulement opposés aux nanotechnologies mais au principe même du débat. Les premières tentatives de « démocratie participative » en la matière ont échoué. Etienne Klein fait apparaître en plein jour la difficulté de la situation alors que les nanotechnologies sont déjà là, utilisées en cosmétique ou dans le textile. Les avantages offerts par ces particules sont évidents pour les consommateurs aussi bien que pour les industriels. Il ne faut cependant pas cacher que d'éventuels risques aujourd'hui non avérés ne sont pas à exclure...

Dominique Lecourt, Directeur général de l'Institut Diderot

---



Etienne Klein



Comment les citoyens peuvent-ils ne pas être dessaisis de leur destin par une expansion technologique apparemment irrésistible parce qu'immaîtrisable ? La question reste ouverte, mais Etienne Klein ouvre quelques pistes pour une réponse qui fasse appel à l'intelligence collective.

---