

Les nanotechnologies en discussion

Retranscription des interviews du module 4 : « L'avenir a-t-il besoin de nous ? »

Le débat sur les nanotechnologies est multiforme, car ces technologies horizontales touchent à toutes les composantes de la société et des techniques, à tous les aspects de notre quotidien. Nanotechnologies et nanosciences s'insèrent-elles dans des problématiques « classiques » : la relation sciences fondamentales et sciences appliquées, le dialogue entre scientifiques et citoyens ? Ou, au contraire, suscitent-elles de nouveaux questionnements, de nouveaux enjeux ? Quels sont leurs risques potentiels ? Quels types de précaution peut-on prendre ? Quelles questions éthiques pose le développement des nanotechnologies ?

Nous avons interrogé quatre experts sur les 3 mêmes questions : à propos des risques potentiels, des questions éthiques et du nouveau rapport science / société. Ils livrent leurs réponses indépendamment les uns des autres...



1 : Bernadette BENSAUDE -VINCENT

Directrice du Centre d'Histoire et de Philosophie des sciences. Ecole doctorale Connaissance et Culture. Membre de l'Académie des technologies. Membre du COMETS (Comité d'éthique du CNRS).

2 : Jean-Pierre DUPUY

Professeur de philosophie à l'Ecole Polytechnique et à l'Université Stanford (USA). Membre du Conseil Général des Mines et de l'académie des Technologies.

3 : Louis LAURENT

Physicien, auteur, avec Jean-Claude Petit, de : « Les nanotechnologies doivent-elles nous faire peur ? » Ed. Le Pommier, 2005.

4 : Jérôme ROSE

Chargé de recherche CNRS, Physico-chimie des interfaces, spécialisation des métaux au Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement (C.E.R.E.G.E)

Quels sont les risques potentiels des nanotechnologies ? Quels types de précaution peut-on prendre ?

BERNADETTE BENSAUDE-VINCENT : Les risques que l'on identifie aujourd'hui ne sont pas que potentiels. Je veux dire que c'est dans le futur qu'il faut travailler, certes, c'est la précaution, mais les risques sont actuels. Il y a déjà plus de 200 produits commercialisés avec des nanoparticules qui sont, pour l'instant, bien intégrés dans des combinaisons donc il n'y a pas de danger. Mais c'est vraiment une approche en termes d'écologie industrielle qu'il faut avoir. C'est-à-dire, qu'est-ce qu'elles vont devenir une fois que les produits seront déjà utilisés ? Et, à cet égard, les nanotechnologies renouvellent à mon avis la question posée par l'écologie industrielle à savoir : il faut prendre en compte du berceau à la tombe la durée de vie des produits, pour s'assurer de leur non toxicité pour la santé et l'environnement. Et là, je crois qu'il y a des démarches qui sont mises en œuvre mais que je sache, jusqu'à présent, les résultats ne sont pas encourageants, et donc une politique de précaution me semble s'imposer à cet égard.

**« On n'a pas à développer des technologies irresponsables. »
B.Bensaude-Vincent**

C'est un cas pratique pour appliquer un principe de précaution ou une démarche de précaution – le principe, on en n'a rien à faire, après tout. Mais c'est surtout un cas pratique, me semble-t-il, pour montrer qu'une démarche de recherche et développement est en même temps une démarche de précaution. La précaution n'interdit pas la recherche, au contraire, elle encourage la recherche. Et, on s'apercevra que les recherches toxicologiques sont aussi des gains de connaissance sur les propriétés des nanoparticules ou des produits intégrant des élaborations nano. Je crois que c'est de prendre conscience que le gain de connaissance d'une recherche visant à la précaution, sert aussi au développement. Ça n'est pas contradictoire. Ça ne veut pas dire que ça va arrêter le progrès de la connaissance comme le disent les adversaires du principe de précaution. On n'est pas irresponsable. On n'a pas à développer des technologies irresponsables. Et à mon avis, les dégâts risquent d'être tels que les autres pays suivront, parce qu'il ne faut pas croire que les « autres », comme on le dit tout le temps, sont des imbéciles. Ils ont les mêmes intérêts que nous et je pense qu'une démarche de précaution se généralisera sous peu.

.....

JEAN-PIERRE DUPUY : C'est vrai que lorsqu'on parle de l'évaluation morale, politique, éthique, des nanotechnologies, on ne parle pratiquement que de la question des risques. Or je crois que c'est vraiment prendre le problème par le petit bout de la lorgnette et que la question des risques est certes importante, par exemple les risques toxicologiques dus aux nanoparticules. Mais c'est vraiment l'arbre qui cache la forêt. De plus la question des risques mène presque inévitablement à des pièges. Le premier piège, c'est que lorsque vous lisez la littérature sur les risques liés aux nanotechnologies, une littérature écrite par les promoteurs des nanotechnologies, le premier risque qui est toujours mis en avant, c'est celui, pour un pays de ne pas être dans la course. Il y a déjà effectivement une course scientifique, technologique, industrielle, économique, et militaire et ne pas être dans cette course, c'est pour un pays, voire un continent, mais perdre sa place dans la division internationale du travail. Et la concurrence est très très forte actuellement entre les Etats-Unis, l'Europe, et la Chine et aussi un petit peu le Japon. Mais là, le philosophe, évidemment, il n'a plus rien à dire. Si la seule question, c'est d'être dans la course... Supposez que cette course nous mène, je ne dis pas que c'est le cas, mais supposez que cette course nous mène droit tous à l'abyme. Être dans la course, ça veut dire « être condamné à tomber dans l'abyme ».

Un second piège lorsqu'on traite l'évaluation des nanotechnologies en termes de risques... Et ce piège, lui, vient de l'autre côté, des opposants, et ces opposants sont parfois féroces comme nous le savons, et bien c'est que ces risques ressemblent à des fantasmes en quelque sorte. Il y a un risque qui est très connu puisqu'il a fait l'objet de romans, qu'il a fait l'objet de films, qu'il a fait l'objet, d'ailleurs, d'émois d'hommes d'Etat comme le Prince Charles, c'est le risque que des nanorobots dotés de la faculté d'autoréplication, se multiplient de manière sauvage et détruisent la biosphère, puisque ces nanorobots seraient, s'ils existaient, faits d'atomes de carbone. Où les trouveraient-ils pour se

reproduire ces atomes de carbone, les nanorobots en question ? Et bien dans la biosphère, là où il y a du carbone, et en particulier, chez nous. Et nous serions la proie de cette multiplication sauvage. La proie, « The Pray », c'est le titre d'un roman de l'auteur américain à succès Michael Crichton,

« La question des risques mène presque inévitablement à des pièges. »

JP. Dupuy

l'auteur de « Jurassic Park » et autres... Alors voilà, on peut considérer que ce risque-là qui s'appelle le risque de « Grey goo », de « gelée grise », la gelée grise c'est ce qui resterait, une fois que les nanorobots se

seraient multipliés ainsi et auraient mangé tout le carbone sur cette planète, ce risque est certainement de l'ordre du fantôme. Mais alors, on parle de ces choses-là, et du coup, on ne parle pas des questions vraiment importantes.

.....

LOUIS LAURENT : Du point de vue des risques réels, le plus concret c'est certainement les risques pour la santé dus aux nanoparticules. Ce sont de petits morceaux de matière d'une dizaine de nanomètres, voire plus, qui s'échapperaient de matériaux qu'on utilise, ou d'une usine pendant la fabrication, et qui pourraient être inhalés et s'accumuler dans les poumons et causer différents désagréments qui peuvent aller jusqu'au cancer dans certains cas. Actuellement, nous n'avons pas une connaissance complète de ces risques, c'est absolument clair. Par exemple en ce qui concerne les petites particules d'oxyde des nanotubes de carbone, c'est actuellement assez controversé. Il est important, compte tenu des tonnages qui vont être fabriqués, notamment dans le cas des nanotubes, de progresser dans ce domaine, de faire différentes études. Des études assez plurielles, qui soient à la fois menées par les industriels, parce que c'est eux, à la limite, qui connaissent bien leurs produits, mais aussi par des laboratoires indépendants, dans différents Etats, pour qu'il y ait

une convergence finalement des opinions sur ces risques. Le domaine à couvrir est extrêmement large. Il y a énormément d'espèces de nanoparticules, il y a également différentes voies de contamination. Il faut faire des recherches aussi sur les méthodes. Très important : Comment les mesurer dans l'atmosphère ou dans l'eau, comment les mesurer dans le corps humain. Et aussi, on a besoin de travailler sur les filtres ou les méthodes de protection. Il y a un champ à couvrir qui est assez large. Il n'y a pas encore assez de recherches mais c'est quelque chose qui est en croissance actuellement.

« Actuellement, nous n'avons pas une connaissance complète de ces risques. »

L. Laurent

Il y a un effort qui est fait actuellement en standardisation sur les méthodes de mesure. Notamment au niveau mondial, un certain nombre de groupes de travail qui sont mis en place pour se mettre d'accord simplement sur ce qu'est une nanoparticule, sur les différentes typologies... C'est très important, ne serait-ce que pour que les toxicologues qui font différentes études parlent bien le même langage et parlent bien des mêmes objets. C'est indispensable pour arriver à une conclusion claire. Ce qu'il faut faire, c'est ce qu'on ne fait pas encore à une échelle suffisante, c'est travailler sur ces risques, aussi bien sur les risques pour la santé pour la particule elle-même mais aussi sur les normes des matériaux : quel matériau est susceptible de relarguer dans l'environnement telle ou telle nanoparticule ?

Travailler sur ces risques et en même temps sur les méthodes de protection, pour arriver, lorsque la production industrielle sera mûre, à des normes sur ces matériaux type nanotubes par exemple. Si je parle de nouveaux matériaux produits en masse, il me semble indispensable avant leur commercialisation en masse, justement, d'en avoir une bonne connaissance, des fiches toxicologiques pour ces matériaux. C'est un peu comme pour la

chimie, je ne pense pas que dès qu'un matériau est nano, il soit forcément dangereux. Par contre, comme pour les produits chimiques, il y en aura. Il y en aura des dangereux, donc il est important de savoir faire le tri. Éventuellement d'en interdire certains, et puis pour d'autres d'avoir la garantie du fait qu'ils soient sans danger.

JEROME ROSE : La question est vaste malheureusement. Quand on parle de nanoparticules, ou de nanotechnologie, c'est un domaine qui est extrêmement vaste, et par exemple, on peut faire l'amalgame entre des nanomatériaux qui sont structurés à l'échelle nanométrique, donc à une échelle de toute petite dimension, et des particules qui isolément ont une taille nanométrique, qui peuvent être dispersées dans l'environnement. Donc déjà, il ne faut pas faire l'amalgame entre des matériaux nanostructurés et des nanoparticules. Les nanoparticules vont d'ailleurs majoritairement être assemblées pour former des matériaux nanostructurés. Il y aura peu d'utilisation, certainement dans le futur, de particules prises de façon dispersée. Alors ça va être le cas dans le médical, puisqu'on pense à utiliser des nanoparticules comme vecteurs de médicaments, etc... Donc, il y a quand même des possibilités que les nanoparticules soient en contact directement avec le vivant.

Quand on parle de risques, il y a deux notions, la toxicité intrinsèque des produits, et l'on se pose la question : « est-ce qu'une particule prise individuellement est plus toxique qu'une particule qui est de plus grande taille ? » et puis il y a la deuxième partie du risque qui est le contact. C'est-à-dire, le fait qu'on va avoir un contact fréquent ou non entre les particules et les êtres vivants. Donc si on veut réduire les risques, il faut déjà réduire l'exposition aux nanoparticules, c'est déjà le plus simple. C'est d'ailleurs ce que cherchent à faire les gens qui travaillent dans les nanotechnologies, qui fabriquent des nanoparticules. Il y a des projets

européens qui tournent autour des précautions à prendre pour protéger les travailleurs dans les centres qui fabriquent des nanoparticules. Et puis après, le grand public, on ne sait pas encore très bien comment il va falloir se protéger. Si on revient maintenant sur la partie toxicologie, les premiers résultats montrent que ce n'est pas parce qu'une particule est nanométrique qu'elle sera intrinsèquement toxique. Il y a des particules de petites tailles, nanométriques, toxiques et d'autres qui ne le sont pas. Ça va dépendre de facteurs qui sont la nature chimique de ces produits, la surface de ces produits, est-ce qu'ils sont protégés ou non par des molécules organiques par exemple.

Alors le risque qu'on imagine avec des particules de petite taille, c'est la pénétration dans les cellules. Et à partir du moment où elles sont de petite taille, donc de la taille d'un virus, et qu'elles pénètrent dans les cellules, elles peuvent modifier le comportement cellulaire, et donc créer des morts cellulaires, ou modifier la partie ADN aussi, donc générer des cancers, une « géno-toxicité ». Donc la plus grande interrogation, c'est la pénétration des nanoparticules dans les cellules. Certaines pénètrent, d'autres ne pénètrent pas, on ne comprend pas encore très bien pourquoi il y a des réponses différentes entre les types de cellules et les types de particules. Avec les nanoparticules, la plus grande différence, c'est que le nombre d'atomes qui est en surface de ces particules, augmente de façon très importante. Les particules inférieures à 10 nanomètres, les plus petites des

nanoparticules, ont 30 à 50% de leurs atomes en surface. Là, les propriétés physiques et chimiques des matériaux changent. On peut donc penser que,

« Je pense qu'on manque de moyens, mais l'effort existe. »

J. Rose

parce qu'elles sont plus petites, elles peuvent pénétrer plus facilement et en plus elles vont avoir des réactions un petit peu différentes. Les réactions auxquelles on pense sont des réactions de stress oxydatif vis-à-vis des cellules, et l'effet de la

lumière pourrait catalyser la création de molécules oxydantes qui sont toxiques pour les cellules donc pour les êtres vivants.

Les sommes investies pour étudier la toxicologie potentielle ne sont pas du tout en rapport avec les sommes investies pour le développement de ces produits. C'est un rapport de 1% à peu près, voire un petit peu moins. Je pense qu'on manque de moyens, mais l'effort existe, et c'est peut-être une des premières fois au niveau industriel, où l'on étudie en parallèle, me semble-t-il, le développement des matériaux et l'effet toxique potentiel. Ça n'a pas été le cas pour les OGM, par exemple, et peut-être que ç'aurait dû être le cas. Même si les sommes et le nombre de laboratoires pourraient être plus importants, il y a déjà un effort en tout cas, et peut-être qu'on est en train de tirer les leçons du passé.

Quelles questions éthiques pose le développement des nanotechnologies ?

BERNADETTE BENSAUDE-VINCENT : Les questions éthiques que posent les nanotechnologies me semblent quand même assez spécifiques. Bien sûr, il y a l'accélération du mouvement de miniaturisation, on répand des produits miniaturisés. Donc c'est apparemment purement un progrès incrémental. mais il y a quand

même des problèmes qui sont spécifiques qui sont de nature culturelle pour ne pas dire philosophique parce que c'est un gros mot. Mais je veux dire par là que quand on approche la matière à l'échelle nano, il n'y a plus aucune différence entre le vivant et la matière inerte, ni même avec l'information. Puisque, à ce niveau-là, un spin n'est plus qu'une unité

d'information, un atome peut être transformé en unité d'information. Ce que je veux dire, c'est qu'à cette échelle-là, on traite toute matière de la même manière, et que, deuxièmement, on a un rapport à la nature qui est tout à fait nouveau.

Les unités « briques élémentaires », on les traite comme des « unités fonctionnelles ». C'est-à-dire comme des dispositifs que l'on cherche à mettre à notre service. Non pas comme des êtres appartenant à la nature, et qui ont une fonction dans la nature, ou qui ont une raison d'être dans la nature, qui habitent un environnement et qui jouent un rôle dans cet environnement, mais comme des instruments à notre service. Encore une fois, on l'a déjà fait, ce n'est pas nouveau. On a utilisé des végétaux, des animaux pour les mettre à notre service. Mais justement l'agriculture ou l'élevage sont des pratiques où l'on travaille avec la nature, où l'on domestique. Et non pas, où l'on s'empare de quelque chose simplement pour le mettre à notre service. Il faudrait vraiment, je crois, se rendre compte que l'attitude, maintenant, que devraient susciter les nanos, c'est une attitude de « domestication des molécules ». Quand on domestique, on sait toujours que l'espèce qu'on essaie de domestiquer peut toujours redevenir sauvage. C'est-à-dire qu'on n'a pas toujours le contrôle, et que ça peut nous échapper. Et que cela exige encore de la précaution et d'infinies précautions, même. Ça implique une attitude de responsabilité, de coopération avec la matière et non pas de s'emparer de la matière pour la traiter en esclave parce qu'on ne la dominera jamais. Et ça, je crois qu'il faut en être bien conscient, les propriétés émergentes à l'échelle nano et surtout du fait de la convergence nano bio info, font qu'on ne maîtrisera jamais. L'idéal de contrôle, c'est une illusion.

JEAN-PIERRE DUPUY : La question éthique ou les questions éthiques se posent, à vrai dire, beaucoup plus à ce qu'on appelle la convergence de ces nanotechnologies avec d'autres technologies et essentiellement les biotechnologies, les technologies de l'information et les technologies cognitives, qu'au niveau des nanotechnologies proprement dites. Et en particulier, je pense aux nanomatériaux qui posent certainement des questions de risques ou de toxicité mais qui ne posent pas de questions éthiques fondamentalement nouvelles. En revanche, la convergence des nanos, des bios et des infos, qui peut être une triple convergence, elle, pose des questions éthiques inédites. C'est du moins la thèse que j'essaie de développer dans divers travaux.

« L'attitude que devraient susciter les nano, c'est la domestication des molécules. »

B. Bensaude-Vincent

Je pense, et je ne suis pas le premier philosophe à penser cela, que derrière tout programme scientifique et technologique, et il y a ce que Karl Popper, le grand épistémologue britannique d'origine autrichienne, appelait un « programme métaphysique de recherche ». C'est-à-dire des réponses implicites à de grandes questions qui ne sont pas des questions scientifiques, mais s'il n'y avait pas ces réponses à ces questions dites métaphysiques, il n'y aurait tout simplement pas de science ni de technologie. L'un des éléments majeur de ces idées qui propulsent la convergence nano bio info, selon moi, c'est la problématique du « design ». C'est le projet, l'ambition, quasi démiurgique, de prendre le relais de l'évolution naturelle et de l'évolution biologique, et, évolution biologique que le grand François Jacob appelait, ou disait qu'elle était faite de bricolages, de prendre le relais de ce bricolage, grâce à l'intelligence humaine et grâce au pouvoir de conception de l'humanité. Je serais incapable, moi, de dire en philosophe de la morale ou de la politique, que cette ambition, ce projet métaphysique, est bien ou mal. Je suis incapable de juger cela.

Il y a un autre projet métaphysique derrière la convergence NBIC, qui va presque à l'opposé du « design ». C'est le projet de déclencher dans la nature, des processus irréversibles que nous ne pouvons pas contrôler. Donc on est à l'opposé de la maîtrise, ici. Ce qu'on recherche ce n'est pas la maîtrise, comme Descartes l'imaginait, mais c'est la non maîtrise. L'ingénieur de demain, ne sera plus celui qui respecte un cahier des charges qu'on lui a donné, et qui fabrique un engin donc les fonctionnalités correspondent à ce cahier des charges, l'ingénieur de demain sera satisfait de son travail lorsqu'il aura créé des êtres qui échapperont à son contrôle. Donc il sera content quand il sera surpris par les propriétés de ce qu'il aura conçu. Donc le « design », ce n'est plus la maîtrise, c'est la non maîtrise. Ce qui nous permet de revenir à la question des risques. Il est évident que si l'ambition c'est vraiment de fabriquer des choses qui nous échappent, alors le mythe de l'apprenti sorcier doit être écrit en nouveaux termes, à nouveaux frais. Ce n'est pas par erreur, ou par malignité que l'apprenti sorcier déclenche des processus qui nous échappent, c'est par dessein, par « design », c'est ça l'énorme paradoxe !

Louis LAURENT : Je vois deux grands domaines. Le premier, ce sont les technologies de l'information. Il y a des questions sur les mauvais usages qui ne sont pas liées seulement à l'échelle nano. mais le fait de faire des choses plus puissantes, plus petites, plus faciles à intégrer, va amplifier ce genre de questions. Par exemple, un cas un peu emblématique qui n'est pas spécifiquement nano mais qui peut, petit à petit être amplifié par les nanos, ce sont les RFID. Ce sont donc des petits objets, des petits codes barres électromagnétiques, un petit objet qu'on intègre quelque part et lorsqu'on l'interroge avec une onde,

« Ce qu'on recherche, ce n'est pas la maîtrise, c'est la non maîtrise. »

JP Dupuy.

il vous répond en envoyant un numéro de code. C'est très pratique pour tout ce qui est logistique, identification de produits... Mais assez vite, il y a eu des mouvements d'opposition de consommateurs, parce que ce genre de petit objet pouvait permettre aussi de suivre son porteur : que ce soit à travers un objet qu'on achetait au supermarché, voire une carte quelconque de réduction de supermarché qui contiendrait un RFID intégré. La question qui se pose, c'est l'usage qu'on va faire de ces RFID... Est-ce qu'on pourra éviter qu'il y ait des risques sur la vie privée ? Le fait que les gens puissent être tracés soit dans leurs déplacements, soit dans leurs habitudes. Ça, c'est une première question d'éthique qui va se généraliser, parce que les RFID, c'est un peu emblématique, mais on peut imaginer qu'il y aura beaucoup d'objets communicants qui contiendront de l'intelligence, des capacités de communication qui pourront donc donner des informations sur la personne qui les possède. C'est assez complexe parce que l'on voit souvent le cas de l'Etat voyou ou de la multinationale qui veut faire des choses pas très claires mais ça peut être beaucoup plus subtil que ça. Ça peut être aussi un glissement de nos habitudes en ces périodes où la sécurité est à l'ordre du jour, il peut être tout à fait légitime d'implanter de nouveaux systèmes... Une société tout à fait démocratique peut décider d'utiliser ces systèmes. Il y aura alors un choix à faire finalement entre la sécurité que chacun aura,

« Il y a aura un choix à faire entre la sécurité et la protection de la vie privée. »

L. Laurent

et la protection de sa sphère privée. Là-dessus, les avis d'un individu à l'autre sont très variés et c'est une vraie question de société. Les nanotechnologies, ce n'est pas le grand Satan dans cette affaire-là, mais il se trouve que ça ouvre de nouvelles possibilités, donc ça ouvre de nouvelles questions sur la façon d'utiliser ces possibilités.

Deuxième question d'éthique, c'est lié à la convergence entre les nanotechnologies, les biotechnologies et la santé. Notre corps fonctionne à l'échelle nanométrique, c'est très clair, ce qui veut dire qu'on peut aussi en utilisant ces sciences et technologies, tirer plus d'informations sur notre corps. On développe déjà des systèmes d'analyses très performants qui permettent de dépister des maladies, voire un jour d'optimiser les traitements. Immédiatement lorsqu'on a une meilleure connaissance du corps humain, c'est quelque chose qui peut être très positif pour la santé publique, mais se posent alors de nouvelles questions. Lorsqu'on apprend que tel individu peut avoir une maladie, ça, avant, c'était un renseignement finalement qui était non accessible. Le fait d'avoir ce renseignement peut poser de nouvelles questions. Est-ce qu'il faut faire un dépistage automatique ? Comment être sûr que le secret sera bien gardé ? Doit-on même le dire à l'individu lui-même ? Ça pose de nouvelles questions qui existent déjà en médecine, mais qui vont être amplifiées.

Côté applications militaires, il y a effectivement un certain nombre de possibilités. Avant même de parler de ça simplement, on peut imaginer des progrès sur les blindages, sur les munitions... Mettre de l'intelligence dans les armes, c'est déjà fait, mais on peut aller plus loin et faire des petits projectiles qui pourraient être guidés. A la limite, plus efficaces. Ça, c'est du court terme, c'est utiliser ce qu'on fait en technologies de l'information et en matériau. À plus long terme, on peut envisager de fabriquer, non pas des nanorobots, mais des microrobots, des systèmes autonomes. Ça pose également des questions d'éthiques sur « est-ce que ça doit être assimilé à de nouvelles armes qu'il faut interdire ? », par exemple. Ce sont des questions qui pourraient être tout à fait d'actualité très bientôt ! Il y a aussi eu des recherches dans ce domaine, pour

**« On rejoint les questions éthiques des biotechnologies »
J Rose.**

fabriquer des hybrides entre des animaux et des systèmes d'informations... Faut-il interdire ça ? Ce sont des questions d'éthique réelles.

Les nanotechnologies impliquent peut-être un supplément de réflexion, de réfléchir quand on fait un objet, finalement, aux contre-mesures à mettre au point en même temps mais ça, ça n'est pas vraiment quelque chose de radicalement nouveau.

.....

JEROME ROSE : C'est vrai que du fait que les nanoparticules puissent être introduites dans un corps, un organisme vivant et même un corps humain – puisque c'est prévu dans le cadre du traitements de cancers – on peut imaginer que ces nanoparticules puissent aller se balader un petit peu dans tout le corps humain et qu'il puisse y avoir des pénétrations intracellulaires et des modifications peut-être du génome, alors là peut-être qu'il faut se poser des questions. À l'heure actuelle, au niveau médical, ce sont des traitements de cancers qui vont être ciblés, donc des gens qui sont déjà dans des conditions difficiles ; les traitements actuels sont peut-être déjà plus toxiques que ne le seront les nanotechnologies, ou les nanoparticules. Donc, bien sûr, il faut se poser des questions éthiques, au niveau médicamenteux. C'est peut-être plus au niveau manipulations biotechnologiques, et donc là, on rejoint les questions éthiques des biotechnologies, la nano étant un développement ultime soit de la manipulation génétique soit des organismes vivants. Mais ça reste dans le cadre des biotechnologies.

Pour tout ce qui est industrie chimique, tout le monde de l'énergie, de la microélectronique, souvent les matériaux sont utilisés lorsqu'ils sont assemblés. Les nanoparticules en tant que telles seront associées les unes aux autres, alors je ne sais pas s'il y a vraiment des questions éthiques à se poser. La toxicité, oui, c'est sûr, maintenant est-ce qu'il faut bloquer le développement technologique en amont ? Je pense que c'est un petit peu violent comme réponse.

Quelles nouvelles relations entre Sciences et Sociétés impliquent les recherches et controverses autour du développement des nanotechnologies ?

BERNADETTE BENSAUDE-VINCENT : Le couple science/société ne fonctionne pas de manière très idyllique. Mais certainement, les nanos sont un terrain d'expérimentations sociales à mes yeux. Et je crois que la décision de réfléchir, en amont, par une démarche proactive et non pas réactive, sur les impacts sur l'environnement, sanitaire, les impacts sociaux et les impacts culturels, est une très bonne démarche. Ça ne veut pas dire que l'on résoudra tous les problèmes, ça ne veut pas dire que ça va fonctionner et que ça ne sera pas récupéré par les industriels ou par les milieux scientifiques pour aller de l'avant. Il y a des risques de ce côté, j'en suis bien consciente, mais c'est une démarche dans laquelle on doit s'engager. Et je crois que la science en sortira plus riche et plus responsable, mais la démocratie aussi. Car un des problèmes à mes yeux de la démocratie aujourd'hui, est le désintérêt des questions publiques, aussi bien au niveau politique que de l'avenir technique. Les nanos sont un lieu pour recréer du débat social et pour régénérer la démocratie à travers des systèmes participatifs.

Dans la plupart des pays industrialisés qui se sont lancés dans l'aventure nano, il y a déjà de multiples initiatives. Soit le modèle « *technology assessment* », c'est-à-dire évaluation technologique, à la manière des Pays-Bas, qui est une recherche académique, en amont, sur les scénarios possibles de développement. Et ça, c'est quelque chose que l'on contrôle bien, c'est nécessaire, mais ça n'est pas suffisant. Une deuxième façon, c'est la façon britannique, qui est le « *public engagement in science* », c'est-à-dire de s'efforcer de faire participer la société civile aux choix technologiques. Et les Anglais vont très loin dans ce domaine et je crois que beaucoup

d'organisations non gouvernementales sont décidées à participer. C'est bien et ça commence en France. Et puis je pense qu'il y a peut-être un troisième registre, qui est plus de démarches proprement citoyennes au sens individuel, c'est-à-dire que chaque citoyen se sente, dans sa vie quotidienne en tant que consommateur de produits, de gadgets, responsable de ce que cela implique pour la société. Quand on jette une pile, quand on achète un nouveau téléphone portable, trois, quatre fois dans sa vie, etc... Qu'est-ce que cela implique ? ou quand on achète toute nouveauté qui passe ; on a la liberté d'intervenir aussi par notre comportement de consommateur. Ça, c'est une prise de conscience assez lente, mais qu'on ne peut pas éviter, qu'on ne pourra pas éviter. Me semble-t-il en tout cas. C'est vraiment important, il n'y a pas que des protocoles, des procédures à mettre en œuvre, il y a vraiment aussi une prise de conscience personnelle, individuelle.

Le problème aujourd'hui, c'est que tous les efforts de vulgarisation qui sont faits avec les meilleures intentions du monde, par des grands organismes

comme la commission européenne, par exemple, ou d'autres grands organismes, ça n'est pas de la vulgarisation, c'est de la propagande ! Et c'est proprement scandaleux ! On utilise l'imaginaire ou les préventions du public et l'on y répond par des démarches marketing au lieu de faire un effort d'information suscitant la réflexion. Et là, je crois qu'il faut en découdre, pour une fois, avec cette démarche qui a connu ses beaux jours avec la chimie dans les années 1930, le nucléaire dans les années 1960, qui est non pas de vulgarisation, mais de propagande sur les sciences. Si on refait pareil avec les nanos, on est fichu ! Parce que le public est plus exigeant aujourd'hui, et il n'acceptera pas

« Réfléchir en amont sur les impacts est une très bonne démarche. »

B. Bensaude-Vincent

de se laisser manipuler comme il s'est fait manipuler autrefois.

JEAN-PIERRE DUPUY : En France, il y a une coupure totale entre la culture, la philosophie et les sciences. Je ne vais pas être gentil avec mes collègues philosophes français, mais la plupart n'ont aucune connaissance scientifique, encore moins de connaissances technologiques, techniques ou d'ingénierie – et d'ailleurs beaucoup d'entre eux affectent de mépriser la science, la technique et l'ingénierie. On peut peut-être faire remonter ça à Sartre... Enfin, ça n'a pas toujours été le cas. Les grands philosophes du 17^{ième} siècle, ou du 18^{ième}, étaient aussi bien des savants – on peut penser à Pascal, à Descartes – des physiciens, des mathématiciens que des philosophes. Mais au 20^{ième} siècle, il s'est passé quelque chose qui fait que la culture « tout court », la culture philosophique et la culture scientifique se sont séparées.

Alors je crois qu'on paie, aujourd'hui, en termes d'accès à une démocratie technique cette double coupure. Je crois que pour changer la situation en France, et certainement pas seulement en France, il faudrait que toutes les parties prenantes fassent des efforts considérables. Et ça, ça va demander du temps – et peut-être que le temps presse. Le grand public d'abord. Il faudrait que le grand public s'intéresse plus à la science et à la technique qu'il ne le fait. Et pour ça, il faudrait lui en faciliter le passage. Ça commence aussi par l'école, bien évidemment. Ça commence par la séparation radicale, à un moment très jeune dans une carrière d'élève et d'étudiant en France. Il faut choisir entre les lettres et les sciences par exemple. Et nous savons tous qu'il y a une désaffection de plus en plus forte des étudiants français pour les sciences et l'ingénierie. C'est en soi un problème considérable. Il faudrait que les médias, à commencer par la télévision qui est le média le plus accessible heureusement ou malheureusement, fasse un effort considérable. Pas besoin d'entrer

dans les détails pour dire ce que tout le monde sait à savoir qu'il n'y a pratiquement pas d'émissions à la télévision qui traitent de ces sujets. Il y a quand même des efforts qui sont faits, en particulier les musées, les expositions.

Il faudrait aussi que les scientifiques changent et que les scientifiques acceptent de ne pas se retrancher dans leur tour d'ivoire et acceptent précisément de dialoguer avec le public dans des forums. Mais ça aussi, ça commence par l'éducation

« Pour changer la situation en France, il faudrait que toutes les parties prenantes fassent des efforts considérables »

JP. Dupuy

scientifique. Il faudrait que les scientifiques, dans leur éducation scientifique, pas à côté, aient une formation très forte, en histoire, sociologie et philosophie des sciences, qu'ils ne soient pas incultes. Il faudrait que les politiques soient différents de ce qu'ils sont, qu'ils ne considèrent pas la science et la technique comme des domaines dans lesquels ils sont condamnés à ne rien comprendre, et donc, qu'ils ne se livrent pas pieds et mains liés à l'establishment scientifique et technologique. Etc., etc. Je ne dis pas que ces changements sont impossibles, mais il faut s'y mettre et sans tarder !

LOUIS LAURENT : Dans le passé, il y a eu des erreurs, des choses qui n'ont pas marché comme on voulait. On parle souvent de l'amiante, du DDT, de l'essence au plomb... Il y a eu des produits qu'on a lancés dans la nature, on s'est rendu compte après que ce n'était pas parfait. Personne ne peut prétendre qu'une nouvelle découverte est sans danger, que tout ira bien, qu'il n'y a pas de questions à se poser... Je pense que c'est très important au contraire d'accompagner les recherches – quelles qu'elles soient – d'une réflexion.

Il y a deux niveaux d'intervention. Il y a tout d'abord de la recherche simplement. En même temps que les connaissances augmentent, il faut améliorer les connaissances sur les risques. C'est le cas de la santé par exemple. On progresse sur les matériaux, les nanoparticules, en même temps il faut progresser sur la connaissance de leurs effets sur le corps. De même pour les technologies de l'information, en même temps qu'on progresse en informatique, il faut progresser dans le domaine du droit, avoir une réflexion sur les implications dans ce domaine. Accompagner la recherche, d'une recherche autour sur les risques, les conséquences et les parades. Premier domaine.

Et, deuxième chose, je crois qu'il est absolument indispensable, ça a toujours été vrai, mais peut-être plus qu'avant ne serait-ce que parce que l'information circule plus vite et que le recherche s'accélère, je pense que des expositions, des débats publics, des ouvrages de vulgarisation et d'autres ouvrages, les médias, tout le monde doit jouer un rôle important parce que la recherche n'appartient pas qu'au simple chercheur. Le premier client, les premières personnes concernées avant tout, c'est d'abord le public, les Etats, tous les citoyens. Il faut que cette recherche soit partagée ainsi que la réflexion sur « comment utiliser ces connaissances ». La plupart du temps, dans tous les exemples que je vous ai cités, on ne peut parler d'une recherche malfaisante ou dangereuse. La vraie question qui se pose, qui a toujours été vraie depuis des siècles, c'est : on a des nouvelles connaissances, on développe de nouveaux produits, comment doit-on implanter ça dans notre société pour que ce soit bénéfique au plus grand nombre ?

Je vois de plus en plus de chercheurs qui s'impliquent dans ces débats, dans ces actions de

« La recherche n'appartient pas qu'au simple chercheur. »

L. Laurent

communication. Ça me paraît très important. Je pense aussi que c'est quelque chose qui doit faire partie de la formation des jeunes chercheurs de plus en plus parce que les conséquences de la science deviennent de moins en moins négligeables. Je pense que tout chercheur qui est formé à la recherche, doit en même temps être formé à apprendre à réfléchir aux conséquences de ce qu'il fait. Même si dans la plupart des cas, un chercheur n'a pas l'impression de faire quelque chose qui aura des conséquences énormes. Je pense qu'il doit apprendre à avoir une culture générale pour aller largement au-delà de ce qu'il fait, pour être capable de s'interroger finalement sur sa discipline en général et sur la science ; être capable de s'interroger pour lui-même mais aussi de discuter avec le public.

.....

JEROME ROSE : La relation entre le public et la science au niveau des nanotechnologies, j'ai l'impression qu'elle évolue. C'est-à-dire que le public a l'air de s'emparer de ces questions. Il s'en est déjà emparé dans le cadre des OGM, donc c'est un bon exemple. Et il a l'air de le faire très vite maintenant avec les nanotechnologies. C'est à mon avis un bon point parce que le développement technologique scientifique n'a de sens que s'il apporte des réponses positives pour la société. Donc c'est normal que les gens se posent des questions sur les effets néfastes. Comment cette relation évolue ? C'est un problème de communication. C'est un problème de dialogue entre les scientifiques qui ne sont pas très forts pour simplifier le discours et le grand public. Je crois que les scientifiques ont des efforts à faire pour améliorer le dialogue, augmenter notre participation à des séminaires grand public, à des cafés des sciences, ...

Ce qui est vrai aussi, c'est que le meilleur média actuellement, ou celui qui touche le plus grand nombre, c'est la télévision. Ce n'est pas forcément le média qui développe le plus les questions

scientifiques, donc peut-être qu'il va falloir aussi réfléchir là-dessus. J'espère que les nanotechnologies permettront en tout cas à la fois au public et aux scientifiques d'améliorer leur communication. Ces questions-là arrivent aussi après une crise que nous avons eu en France entre la science et le monde politique qui a finalement permis de montrer au public l'état de la science. Peut-être que cette sensibilisation permettra d'avoir un meilleur dialogue, plus constant, plus fréquent, entre nos deux mondes.

On est au service de la société, sinon ça n'a pas de sens. Le retour du public peut permettre d'orienter un petit peu aussi les recherches, ça c'est certain. Parce qu'il y a des questions qu'on ne se pose peut-être pas, qu'on oublie, parce qu'on est un petit peu dans notre milieu fermé parfois. Mais surtout ça permet d'aborder les questions un peu différemment et de proposer des réponses aussi un peu différemment, c'est-à-dire dans nos résultats, il va falloir qu'on se pose aussi des questions, à savoir,

« On manque parfois de recul sur nos expérimentations »

J. Rose

comment ce résultat pourra être divulgué dans le grand public ? et quelles seront les précautions qu'il faudra qu'on prenne aussi, nous ? Parce que les résultats sont souvent difficiles à interpréter de façon simple ; on a souvent des résultats contradictoires. Est-ce qu'il faut tout de suite les divulguer, est-ce qu'il faut au contraire essayer de mieux les interconnecter pour comprendre ce qui se passe ? Les mécanismes toxiques des nanoparticules sont très complexes. On est au cœur

de la matière, au cœur du vivant, donc c'est très compliqué de faire des liens entre les différentes expérimentations. C'est à nous de faire passer le message mais en ayant une vue d'ensemble de nos expérimentations. Ça, c'est la plus grande des difficultés. La science, comme la société, va de plus en plus vite, et l'on manque parfois de recul sur nos expérimentations. Je

crois que communiquer avec le grand public n'a de sens que si nous, on a déjà une vision plus globale de nos expérimentations et de confronter nos résultats avec des collègues d'autres disciplines.