



Journée du 28 août 2008

IN NANO VERITAS...

Intervenants :

Claude Birraux, député de Haute-Savoie, Président de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques

Jean-Frédéric Clerc, directeur du CEA-DPSE

Christian Colette, directeur R&D, Arkema

Benoît Croguennec, chef de projet à l'AFNOR

Alain Fontaine, directeur de l'institut NEEL, directeur de recherche au CNRS Grenoble

Alain Grimfeld, président du Comité consultatif national d'éthique

Paul Jacquet, administrateur général Grenoble INP

Paul Lannoye, cofondateur Grappe ASBL

Jean-Claude Mialocq, chercheur en chimie moléculaire, CEA

Giulio Prisco, dirigeant de Metafutures S.L.

Animateur : Jacques Hébert, journaliste et conseil en communication

In nano veritas...

Dans les années cinquante, le physicien américain Richard Freeman ouvre la voie à un domaine de recherche jusqu'alors inexploré, l'infiniment petit. Il sera un jour possible, disait-il, d'écrire l'intégralité de l'Encyclopædia Britannica sur une tête d'épingle.

Pour ne prendre qu'un exemple, douze années plus tard, la société Intel crée le premier microprocesseur qui révolutionne l'informatique avec 2 300 transistors. Aujourd'hui, le dernier microprocesseur d'Intel renferme 820 millions de transistors...

Les nanotechnologies : la quatrième révolution industrielle

Paul Jacquet, administrateur général Grenoble INP

Paul Jacquet compare l'avènement des nanotechnologies, qui sont la manipulation contrôlée des atomes, à celui de l'électricité qui est en quelque sorte la manipulation contrôlée des électrons. Comme l'électricité, la nanotechnologie pénètre un ensemble de technologies existantes et pourrait conduire à de nouveaux marchés.

Les cabinets de prospective estiment à 15 % le volume de produits manufacturés qui sera impacté par les nanotechnologies d'ici à 2014 (0,5 % en 2006), ce qui représente un marché de l'ordre de 2,6 milliards de dollars.

Dans le concert mondial, la France occupe la cinquième place en matière de publications (5 % de la production mondiale), ainsi qu'en matière de financements publics de la R&D. En revanche, elle est nettement déficitaire en pourcentage pour ce qui concerne les dépôts de brevets (1,5 % de la production mondiale en 2006).

Pour rester dans le lot des pays qui comptent dans ce domaine, la France doit consentir un effort important sur la formation et sur la recherche technologique. Il faut adapter le modèle international au contexte français. Ce modèle s'appuie sur trois caractéristiques :

- des centres d'excellence de stature internationale ;
- des pôles de compétitivité qui sont des écosystèmes d'innovation avec un tissu industriel important ;
- la mise en réseau national et européen de ces centres.

- La difficulté de penser grand avec des matériaux tout petits

Alain Fontaine, directeur de l'institut NEEL, directeur de recherche au CNRS Grenoble

Pour illustrer le thème de l'atelier, « penser grand – le saut créatif », Alain Fontaine fait référence à Albert Fert et à Peter Grünberg qui ont pensé « géant ». En 1988, ils ont découvert la magnétorésistance géante qui a permis de fabriquer de nouvelles têtes de lecture dès 1998. Aujourd'hui, il s'en produit près d'un milliard par an !

Considérer l'électron comme une boussole, avec un spin permettant de manipuler de l'information a constitué une vraie rupture. Cependant, il convient de rester modeste. L'homme n'est pas capable de penser « très grand » et reste bien en dessous de ce qu'il peut prévoir lorsque de telles ruptures se produisent.

À ce titre, il cite l'exemple de trois « prédicateurs » : John Watson (fondateur d'IBM) qui, en 1943, avait prédit qu'il n'y aurait pas plus de cinq grands computers dans le monde ; Ken Olson (fondateur de DEC) qui pensait que personne n'aurait besoin d'un ordinateur à la maison ou encore Bill Gates (fondateur de Microsoft) qui estimait que 640 Ko étaient suffisants... Aujourd'hui, une clé USB fait 2 Go, c'est-à-dire que la capacité de ces clés a été augmentée d'un facteur 50 000, ce qu'aucun de ces trois spécialistes n'avait imaginé !

Sans négliger les risques ni les problèmes éthiques, il faut expliquer les bienfaits des nanotechnologies et des nanosciences qui offrent des perspectives très importantes. Le dialogue avec la société est essentiel, car ce sont des outils très utiles, notamment dans des domaines majeurs comme l'énergie ou la santé.

Quelques exemples d'applications industrielles des nanomatériaux

Christian Colette, directeur R&D, Arkema

Les nanotechnologies trouvent des applications dans différents domaines autres que l'électronique, notamment dans les matériaux et la chimie.

Christian Colette explique qu'Arkema est porteur d'un très grand projet visant à créer une filière matériaux nanostructurés en France. Ce projet, soutenu par OSEO (anciennement l'Agence de l'innovation industrielle), fédère une quinzaine de partenaires industriels et universitaires. Il s'agit de maîtriser, à l'échelle de quelques nanomètres, la structuration ou l'organisation du matériau. De là, vont découler des applications qui ne sont pas nouvelles, mais dont les propriétés sont assez remarquables.

Christian Colette en citera trois :

- un élastomère autocicatrisable destiné à la fabrication des semelles de chaussures ou encore de pneumatiques automobiles ;
- une fibre réalisée par des nanotubes de carbone qui lui confèrent une très grande ténacité, puisqu'un filet constitué de ces fibres est capable d'arrêter une voiture en pleine course ; il se déforme, mais ne rompt pas, car il absorbe l'énergie de l'objet ;
- un plexiglas permettant une économie substantielle de poids par rapport au verre, qui conserve sa transparence quelle que soit la température et avec une très grande capacité de résistance aux chocs. Ce plexiglas trouve son application par exemple dans l'automobile (toits panoramiques) ou dans le photovoltaïque.

Sur les 2,6 milliards de dollars que représente le marché des nanotechnologies, une partie est consacrée à leur intégration dans les produits manufacturés. Ce qui signifie qu'il faudra associer les nanotechnologies à d'autres connaissances, en particulier liées aux produits, pour assurer une véritable valorisation.

Jean-Frédéric Clerc, directeur du CEA-DPSE

Pour Jean-Frédéric Clerc, ce n'est pas une bataille qui va se mener avec un ou deux « champions ». La véritable réussite des nanotechnologies va dépendre de la capacité d'un nombre multiple d'acteurs à travailler ensemble : entreprises du privé spécialisées dans le marché des produits manufacturés, chercheurs et ingénieurs du domaine public, dont certains devront posséder des compétences complémentaires et multidisciplinaires. Pour une meilleure efficacité et parce que 2014, c'est demain, il est indispensable de revoir le modèle français de collaboration entre la recherche et l'industrie.

Le président Sarkozy ambitionne de positionner la France sur la scène internationale de la recherche et du marché des nanotechnologies. En début d'année, il a confié une mission très importante à trois personnes fameuses dans le domaine des micro et nanotechnologies :

- Dominique Vernay, patron du pôle System@tic (Paris – Île-de-France) ;
- Jean Therme, directeur de la recherche au CEA de Grenoble ;
- Alain Costes qui, pendant plusieurs années, a été le directeur de la technologie au ministère de la Recherche.

Un rapport sera rendu à l'automne 2008 qui comportera quelques éléments déjà débattus avec les industriels. Parmi ces éléments, le plus important est de permettre à une entreprise, quelle que soit sa taille, de faire venir dans son projet des ingénieurs et des chercheurs appartenant à des laboratoires de la sphère publique. Ceci, afin de constituer des équipes projets qui, en deux ou trois ans, tenteront de rattraper le retard pris par rapport à des pays qui ont déjà appréhendé le problème sous l'aspect de l'innovation.

Quel lien entre l'évolution d'Internet et l'évolution des nanotechnologies ?

Giulio Prisco, dirigeant de Metafutures S.L.

Giulio Prisco axe son intervention autour des questions posées dans le cadre de cet atelier.

Les hommes sont-ils des apprentis sorciers ? Depuis des milliers d'années, les hommes sont des apprentis sorciers. Ils ont inventé le feu, développé plusieurs technologies, dont la nanotechnologie.

Faut-il banaliser l'usage des nanotechnologies ? Toute technologie a pour vocation d'être banalisée et les nanotechnologies n'échappent pas à cette règle. À ses débuts, dans les années quatre-vingt, Internet était quelque chose de magique. Aujourd'hui, pour les nouvelles générations, Internet est tellement banalisé qu'il fait partie de leur vie.

Quelle éthique ? Pour lui, la définition de l'éthique est simple : si elle permet d'améliorer la vie, une technologie est éthique et il faut l'utiliser. Si ce n'est pas le cas, il faut l'abandonner.

L'Europe a-t-elle le désir et les moyens de devenir leader mondial en la matière ? En tant que citoyen, Giulio Prisco voudrait que l'Europe soit un leader mondial en la matière. L'Europe en a les moyens, elle a les cerveaux et l'argent, mais il semble qu'il manque la volonté politique.

La nanotechnologie va-t-elle changer les règles économiques ? On dit qu'il y a deux choses que l'on ne peut pas éviter : les impôts et la mort. La nanotechnologie ne changera pas les règles de l'économie, elle ne permettra pas d'éviter les impôts, mais peut-être pourra-t-elle éviter la mort...

Comment encadrer le développement des intelligences artificielles ? Les cerveaux synthétiques assureront-ils la survie de l'espèce humaine ? Ces questions relèvent plutôt de la science-fiction. L'humain est une machine biologique, et plus précisément une machine nanobiologique. Le corps et le cerveau fonctionnent grâce à la nanotechnologie.

Une fois que le développement de la nanotechnologie permettra la réparation et l'amélioration des machines nanobiologiques, elle donnera à l'individu la possibilité de se réparer lui-même et de s'améliorer en tant qu'espèce. Cela donnera lieu à un changement profond de la nature biologique de l'espèce avec la possibilité peut-être d'une prolongation de la vie, avec une possibilité peut-être d'éviter la mort.

L'homme pourra-t-il le faire un jour ? La question reste posée...

Les nanomatériaux

Jean-Claude Mialocq, chercheur en chimie moléculaire, CEA

Jean-Claude Mialocq rappelle que l'étude prospective, Technologies Clés 2010, mise en œuvre par la Direction générale des entreprises a décrit 83 technologies clés, dont les nanotechnologies qui constituent un secteur de recherche stratégique.

On trouve des nanotechnologies un peu dans tous les produits de grande consommation : les articles de sport, les articles de ménage, l'industrie alimentaire, l'habillement, les cosmétiques, les filtres solaires, etc.

Avec les nanotechnologies, on est à la frontière entre la physique quantique et la physique classique, ce qui permet de nouvelles applications. Elles conduisent à mettre en œuvre de nouveaux concepts comme l'électronique moléculaire et quantique, la chimtronique, l'électronique de spin.

Deux techniques de fabrication sont utilisées :

- le « bottom-up » qui assemble les nano-objets à partir d'atomes ou de molécules par synthèse chimique ou par autoassemblage ;
- le « top-down » qui est utilisé en microélectronique et qui réduit la taille d'un matériau jusqu'à l'échelle nanométrique.

Les nanomatériaux sont plus solides et, du fait d'une grande flexibilité, ils résistent mieux aux tremblements de terre, aux incendies, aux inondations et à la corrosion. En outre, ils assurent une meilleure protection contre l'eau, les microbes et les bactéries. Ils sont utilisés comme films ou revêtements pour les équipements médicaux, les emballages alimentaires et les vêtements.

L'intérêt de la nanoparticule réside dans le rapport surface/volume. On parle souvent des nanoparticules, mais peu des nanopores qui ont des propriétés très importantes liées aux interfaces qui conduisent à des propriétés catalytiques.

Jean-Claude Mialocq cite quelques exemples de nanoparticules :

- les agrégats d'argent qui ont des propriétés antimicrobiennes et antibactériennes et que l'on retrouve dans l'industrie alimentaire (emballage) et l'industrie vestimentaire ;
- les nanotubes de carbone qui, derrière le diamant et le graphite, constituent un troisième état du carbone ;
- la famille des fullerènes ou C60, que l'on retrouve dans de nombreuses applications, en fait partie ;
- les nanoparticules de zinc, de silice, de dioxyde de titane ou encore d'oxyde de cérium qui, ajoutées au diesel, réduisent les émissions d'oxyde d'azote et augmentent l'efficacité des moteurs.

Toutes ces nanoparticules présentent des avantages, mais elles ont aussi des inconvénients non négligeables qui, parfois, font craindre un plus grand développement pour les applications. Ce sont les risques notamment toxicologiques, mais les organismes de recherche et les industriels participent tous à cette réflexion et travaillent sur les problèmes de nanotoxicité pour en définir les limites d'utilisation.

La normalisation des nanotechnologies en France, en Europe et dans le monde

Les nanotechnologies offrent des perspectives enthousiasmantes, mais elles peuvent aussi générer des craintes qui, parfois, peuvent être paralysantes. L'enjeu est donc d'encadrer le développement des nanotechnologies pour bénéficier de tous les avantages en se prémunissant contre des risques potentiels.

Benoît Croguennec, chef de projet à l'AFNOR

On parle aujourd'hui de quatrième révolution industrielle. Toutes les révolutions qui ont précédé, rappelle Benoît Croguennec, ont donné lieu, à un moment ou à un autre, à des drames humains. D'un point de vue international, le sentiment est que l'on dispose aujourd'hui de suffisamment de recul pour pouvoir encadrer cette nouvelle révolution industrielle en évitant de répéter les drames du passé, en accompagnant ces nouvelles révolutions. À ce titre, la normalisation intervient à deux niveaux :

- fluidifier les relations client/fournisseur par des activités de terminologie et de caractérisation pour l'émergence d'un marché mature (rôle historique de la normalisation) ;

- permettre des consensus internationaux sur des aspects pouvant aller jusqu'à l'éthique. Dans ce cadre, il s'agira de développer des documents qui permettront d'encadrer le développement des nanotechnologies pour éviter une distorsion de concurrence entre différentes zones géographiques, mais aussi pour éviter leur remise en cause du fait de certaines dérives.

Les travaux internationaux prennent extrêmement au sérieux la notion de risque. Les différents groupes de travail ont la volonté de favoriser un développement harmonieux et en toute transparence. Leur objectif est également de s'assurer que le public peut percevoir les nanotechnologies comme un potentiel et non un risque.

La normalisation fonctionne à l'échelle française avec la commission de normalisation AFNOR, à l'échelle européenne au CEN et à l'échelle internationale avec l'ISO. La commission française réunit aujourd'hui un certain nombre d'industriels impliqués dans le développement des nanotechnologies. Elle est appelée à défendre les positions françaises pour que les documents en préparation à l'ISO ou au CEN puissent être en cohérence avec les intérêts français.

Les travaux internationaux mettent en exergue des différences culturelles importantes. Il apparaît en effet que les scientifiques européens ont une volonté d'aborder la science de la manière la plus large possible, sans toujours penser à la finalité, c'est-à-dire le produit. En revanche, les scientifiques asiatiques ont la volonté très nette de se polariser sur des applications qui auront des débouchés sur le marché.

Par ailleurs, la problématique des OGM a rendu méfiants certains industriels européens et plus particulièrement français. Craignant les risques pour la clientèle, ils pointent du doigt les nanotechnologies en disant qu'il faut lutter contre. Les Britanniques sont en train d'instaurer un label « no nano », alors qu'en Asie, certains développent un label « nano inside » qui n'a pas grande signification, mais des vertus marketing très fortes. Quant aux États-Unis, ils sont à mi-chemin entre les deux.

L'écologie et les nanotechnologies sont-elles compatibles ?

Le mot qui vient à l'esprit après les différentes interventions est « fascination ». Les auditeurs ne peuvent être que fascinés par les propriétés extraordinaires des nanoparticules et des nanomatériaux. Cela étant, la fascination conduit souvent à oublier l'esprit critique.

Paul Lannoye, cofondateur Grappe ASBL

Un orateur a dit que la nanotechnologie devait être un potentiel, pas un risque. Pour Paul Lannoye, la nanotechnologie, c'est à la fois un potentiel et un risque.

Les propriétés extraordinaires qui ont été évoquées s'accompagnent de risques importants, dont certains ne sont pas négligeables. Il est en effet extrêmement préoccupant de penser que les nanoparticules sont capables de traverser la barrière hémato-encéphalique qui protège le cerveau. Par ailleurs, leur capacité d'accroître leur potentiel de réaction implique des risques plus importants de réactions inattendues et non voulues.

Ces deux éléments sont suffisamment sérieux pour que l'on ne se précipite pas « tête baissée » dans l'utilisation des nanotechnologies dans des produits de consommation disséminés et qui, par conséquent, donnent lieu à un contact direct avec l'organisme humain. Or, c'est le cas aujourd'hui avec les cosmétiques, dans le secteur alimentaire et dans le secteur textile.

Il faut tirer des leçons des erreurs commises dans le passé avec l'amiante, le fréon ou les antibiotiques utilisés comme additifs dans l'alimentation du bétail. Malgré des signaux précoces de grands risques, le problème a été pris bien trop tard et l'utilisation de ces produits a généré de très nombreuses victimes.

Il ne faut pas reproduire de telles erreurs avec les nanotechnologies. D'ailleurs, un certain nombre d'organismes et d'institutions éminemment respectables se sont prononcés à propos des nanotechnologies en termes extrêmement prudents :

- la Royal Society du Royaume-Uni ;
- le Comité scientifique sur les risques pour la santé émergents ou nouvellement identifiés (SCENIHR), qui est un organisme européen ;
- l'Institute of Food Science & Technology, organisme britannique indépendant ;
- la Food & Drug Administration aux États-Unis.

Le Comité national d'éthique pour les sciences de la vie et de la santé en France s'est également prononcé de façon très critique. En septembre 2007, l'INRS a appelé à une prévention accrue sur les lieux de travail concernés par la production et la manipulation de nanoparticules et de nanomatériaux. Enfin, très récemment, l'Afsset a estimé que les nanomatériaux présentaient un risque potentiel pour les travailleurs exposés et a préconisé la mise en place de systèmes de confinement dans les industries.

Ancien parlementaire européen, Paul Lannoye déplore l'absence totale de législation spécifique pour la mise sur le marché de nanomatériaux et de produits qui en contiennent. Il regrette également le manque d'information du consommateur.

Enfin, il plaide pour la responsabilité des entreprises et des politiques, mais aussi pour qu'un débat public soit réellement organisé sur ces questions, et en particulier sur la convergence des technologies évoquée par Giulio Prisco, car on s'aventure là sur un terrain où la frontière entre le vivant et l'inanimé devient floue.

Les enjeux éthiques des nanotechnologies

Alain Grimfeld, président du Comité consultatif national d'éthique

Alain Grimfeld explique que le premier fait préoccupant au plan éthique dans les sciences de la vie et de la santé, c'est le caractère particulièrement intrusif des nanoparticules à l'échelle moléculaire et même potentiellement souvent à l'insu de l'individu lui-même.

Il y a très peu de connaissances sur les actions biologiques de ces nanoparticules et nanomatériaux, notamment pour ce qui concerne l'effet surface qui est très différent des molécules que l'on peut utiliser actuellement en termes de diagnostic ou de soins. Pour le Comité consultatif national d'éthique (CCNE), il est donc impératif de comprendre avant de commercialiser.

On sait que les effets de l'amiante étaient connus depuis un certain temps, mais il a surtout été mis en avant les effets bénéfiques avant de connaître les effets délétères sur la santé humaine et, de manière générale, sur le vivant. Cela conduit à aborder le concept de convergence qui comprend quatre lettres majuscules dans l'acronyme :

N nanotechnologies ;
B biothechnologies ;
I sciences de l'information ;
C sciences cognitives.

Cela a été souligné, il est théoriquement et maintenant aussi pratiquement possible de créer une vie artificielle, de construire des cellules artificielles et de mettre en place une interface entre l'homme et la machine dont on ne connaît pas du tout les tenants et les aboutissants.

Dans l'application des nanotechnologies au service de la vie et de la santé, il y a un balancement entre le projet et la crainte. Comme l'a dit Jean-Pierre Dupuy dans l'un de ses articles, c'est la possibilité de créer l'imprévisible, tout en souhaitant le moment venu pouvoir le maîtriser. Cela confine au scientisme et c'est une présomption humaine qui n'est absolument plus acceptable, notamment pour ce qui concerne les nanotechnologies.

Les conséquences imprévisibles de l'application des nanotechnologies, notamment dans les sciences de la vie et de la santé, font mettre en avant ce que certains dénigrent ou dénie : le principe de précaution. Pour une fois que l'on a conscience des potentiels de risques sans la fascination du fantasme, à côté des progrès immenses que peuvent conférer les nanotechnologies, il faut faire en sorte que l'on prenne en compte et que l'on subventionne l'évaluation des risques en même temps que l'on accompagne les progrès de la connaissance.

Alain Grimfeld propose un certain nombre de recommandations :

- l'information suffisante des professionnels et de la population ;
- une nanométrie suffisante ;
- des stratégies de réflexion éthique au niveau de ce que l'on appelle le « triangle des connaissances » entre recherche, formation et transfert, notamment pour ce qui concerne la R&D ;
- une responsabilité du financement de la recherche par l'industrie en collaboration avec la recherche publique ; aujourd'hui, en France et en Europe, les financements publics sont effectivement au rendez-vous, mais ce n'est pas le cas des financements privés ;
- des mesures de protection des travailleurs, notamment pour ce qui concerne les femmes enceintes ;
- une transparence et une diffusion continues des acquis scientifiques avec des textes législatifs qui soient applicables aux nanoparticules et aux nanomatériaux ;
- une information en réseau des agences de sécurité sanitaires ;
- des vrais débats citoyens ;
- une vigilance extrême concernant la préservation des libertés individuelles, notamment dans les nanoneurosciences.

Il s'agit en définitive de mettre face à face l'intérêt de la santé et de l'évolution du vivant et, d'autre part, les intérêts industriels et commerciaux, le tout bien compris d'un côté et de l'autre.

Le rôle de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques

Claude Birraux, député de Haute-Savoie, Président de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques

Claude Birraux explique que l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) qu'il préside a été créé il y a 25 ans. Composé de dix-huit députés et de dix-huit sénateurs, il a pour mission d'informer le Parlement français des conséquences des choix de caractère scientifique et technologique afin d'éclairer ses décisions.

À cette fin, les parlementaires recueillent eux-mêmes les informations, ils mettent en œuvre des programmes d'études et procèdent à des évaluations. C'est une caractéristique typiquement française qui constitue un atout considérable. En effet, l'expérience montre que, quelles que soient la couleur politique du rapporteur et celle du moment, les conclusions et les recommandations sont en général mises en œuvre par le gouvernement ou par les organismes.

L'Office parlementaire a réalisé plusieurs études qui ont suivi l'évolution de la microélectronique. En 2003, la microélectronique a basculé dans la nanoélectronique, lorsque le trait du graveur est passé en dessous de 90 nanomètres. L'Office s'est alors intéressé à la nanoélectronique parce que c'est une technologie clé et qu'il s'intéresse aux progrès de la science et de la technologie. En outre, avec le temps, il est devenu l'interlocuteur principal des organismes scientifiques, voire des scientifiques.

Il y a des progrès fantastiques, mais il ne faut pas se lancer inconsidérément. Parallèlement au développement des nanotechnologies, il faut développer la science pour en caractériser l'évolution dans l'environnement, la toxicité, l'écotoxicité, organiser des débats en toute transparence, connaître d'abord ce que sont ces nanoparticules, leurs propriétés, y compris de toxicité avant d'engager un débat éthique.

Pour faire la synthèse entre l'enthousiasme des uns et la prudence des autres, Claude Birraux cite le Dalai-Lama :

Doutez, car le doute incite à la recherche, et la recherche est la voie qui conduit à la connaissance.