

CR débat 9 mars 2006 - Cycle NANOMONDE – VIVAGORA-CIUP 2006**Nanodéfis pour l'énergie :
quels développements durables et équitables ?**

Dorothee Benoit-Browaey (*intro*)

Que peuvent apporter les nanotechnologies en matière de solutions énergétiques et solutions environnementales : production d'énergie (photovoltaïque, piles à membrane), économies d'énergie (progrès de l'isolation, verres à couche mince), piégeage des polluants (membranes, filtration plus efficace pour retenir les virus par exemple, procédés moins polluants, cycle de vie des matériaux (durabilité...), etc.

Qui sont les acteurs ? Comment l'innovation technique est-elle pilotée ? Les demandes sociales sont-elles entendues ? Comment peuvent-elles être « métabolisées » ?

1 – Tour d'horizon : l'apport des nanotechnologies pour la production, le stockage, les économies d'énergie ?

Un participant, informaticien, demande quelles sont les principales découvertes, les applications majeures dans le domaine de l'énergie qui utilisent les nanotechnologies ? Quelle est l'ambition la plus grande aujourd'hui ?

Michael Graetzel considère qu'il faut être très prudent quand on utilise le mot « nano » parce que c'est à la mode et que cela peut rapporter des financements. On renomme des choses déjà connues comme la catalyse des piles à combustibles. Les catalyseurs accélèrent une réaction chimique. Ce sont des nanoparticules (des particules de platine par exemple pour les piles à hydrogène) mais le phénomène est connu depuis longtemps. Autre catégorie : dans le domaine des cellules photovoltaïques au silicium amorphe. Le mot « nano » y est apparu par pur opportunisme : les cellules micromorphes, sont devenues nanomorphes.

En revanche des travaux exploitent véritablement la nanodimension. Ainsi en est-il du développement de cellules solaires nanocristallines, qui utilisent des matériaux nanoscopiques pour développer des structures qui peuvent absorber la lumière du soleil, avec un très haut rendement, en utilisant des chromophores (des composés colorants) qui sont greffés à la surface des nanoparticules et augmentent l'absorption. Avec les chromophores qui utilisent la lumière, on peut parler de nouvelles propriétés : c'est la nanodimension qui fait marcher le système. Là, c'est une révolution parce que les nanos ont permis de faire émerger de nouveaux systèmes de conversion de l'énergie solaire. De même, dans le domaine des batteries et des piles secondaires.

Selon **Hervé Arribart**, on peut distinguer trois grandes catégories d'applications. Dans la première catégorie, on peut ranger des produits déjà industrialisés comme les catalyseurs, les vitrages à couches extrêmement minces (quelques nanomètres) d'argent métallique, mis sur le marché dans les années 1990. Ces matériaux restent transparents, réfléchissent l'infrarouge vers l'extérieur de sorte qu'il fait moins chaud en été, vers l'intérieur quand fait froid, et induisent donc des économies d'énergie.

La deuxième catégorie concerne la nanoélectronique qui possède sa « feuille de route » de développement : la loi de Moore – qui toutefois cessera bien d'être valide un jour - prévoit que tous les 18 mois, le nombre d'unités individuelles actives sur une puce électronique (en gros, le nombre de transistors) est multiplié par deux, d'où l'augmentation des performances des ordinateurs. Les gravures se font aujourd'hui à une dimension de 100 nm pour l'instant ; mais dans cinq ans, on devrait être à 10 nm.

Enfin, il y a la troisième catégorie des choses vraiment nouvelles comme les fullerènes et leurs applications en biologie et les nanotubes de carbone. Ce sont des fibres de carbone de quelques nm de diamètre. Le carbone fascine les physiciens parce qu'on peut le trouver à l'état solide sous des formes très diverses : diamant, graphite et maintenant nanotube. A partir d'une structure donnée, on peut calculer l'ensemble de ses propriétés physiques et de ses propriétés chimiques. Les nanotubes ont de nombreuses applications potentielles dans des domaines très différents. Le stockage de l'hydrogène (l'une des principales difficultés techniques de la filière hydrogène) en est une.

Selon Yves Le Bars, « *la structuration du domaine de l'énergie comporte trois aspects : production, stockage, consommation* ». Dans le domaine des économies d'énergie, les nanotechnologies associées aux technologies de l'information (capteurs, objets communicants...) peuvent être utilisées pour optimiser les flux et les usages de l'énergie, la production, la distribution, l'habitat, le transport (réduction du poids des TGV, des avions notamment par les nanotubes de carbone). Côté production et stockage, Yves le Bars se dit en revanche sceptique, en particulier quand à l'usage des nanotubes de carbone pour stocker de l'hydrogène : la meilleure façon d'associer l'hydrogène et le carbone, c'est encore sous la forme des hydrocarbures que nous connaissons bien !

Jean-Pierre Jolivet souligne que les propriétés physiques nouvelles apparaissent à certaines échelles de division de la matière (comme la magnétorésistance). Pour la production énergétique, « *les systèmes nanométriques ne feront pas de l'électricité de puissance, mais pourront apporter des grands bénéfices pour des gens dans des situations isolées.* »

Jacques Bordé (COMETS-CNRS) demande si les nanotechnologies peuvent apporter des solutions pour mieux confiner un réacteur ?

Jean-Pierre Jolivet souligne que dans le domaine des matériaux, la nanostructuration aboutit à une plus grande résistance mécanique ou une meilleure plasticité (les atomes glissent les uns sur les autres) : cela permet de fabriquer des céramiques superplastiques (qui ne cassent plus). De même, ajoute **Hervé Arribart**, on sait depuis cinquante ans élaborer une fonte ductile (pour les canalisations d'eau), plus solide grâce à des particules nanométriques de carbone qui s'auto-organisent à l'intérieur de la fonte.

Pour **Claire Auplat**, il y a une autre manière d'aborder la hiérarchie des innovations nanotechnologiques. Au lieu de considérer les performances, on peut regarder les investissements et l'allocation des fonds de recherche. Ainsi, elle décrit les dépenses publiques américaines de la National NanoInitiative (NNI): « *Aux Etats-Unis, 850 millions de dollars annuels sont alloués au secteur. Un tiers de cette somme va aux applications militaires notamment pour améliorer des textiles résistants aux impacts, le stockage de l'énergie (autonomie de 144h du soldat), le monitoring des paramètres vitaux, les communications.* » Claire Auplat insiste pour dire que ces perspectives sont encore au stade de la recherche, sans véritables résultats concrets pour l'instant.

Note

La question du potentiel Nano-bio pour l'énergie n'a pas été traitée... Elle est pourtant majeure : piles à bactéries, microorganismes pour l'énergie...

2- Les risques

Alain Lombard, toxicologue, considère qu'il faut distinguer entre les nanoparticules incluses dans une matrice, comme un plastique ou une crème, et les nanoparticules minérales ou organiques libres et fonctionnalisées. Il pense que le plus grand risque vient des nanoparticules

libres. Il aborde le problème du cycle de vie de ces particules, la question des rejets dans l'environnement et des décharges en fin de vie des produits. Il émet l'hypothèse de la contamination de l'homme par la chaîne alimentaire.

On n'a pas exploré tous les effets sanitaires et la diffusion dans l'environnement des nanoparticules. Pour les gens qui les fabriquent et les manipulent, celles-ci peuvent pénétrer dans les poumons, et, de là, diffuser dans différents organes. En revanche, une fois que les particules sont intégrées dans des matrices, les risques, pour les consommateurs, sont quasiment nuls. De même, une fois que des nanotubes de carbone sont intégrés dans un film plastique pour en renforcer la solidité, le risque de contamination est nul.

Reste la question du devenir de ces objets renfermant des nanoparticules. Comment va-t-on les recycler ? Y aura-t-il des décharges contrôlées ? Par exemple, si des nanotubes de carbone sont utilisés dans des pneus, l'abrasion ne va-t-elle pas les libérer dans l'air ? Sur ces questions qui ont trait au cycle de vie de ces particules, on a très peu d'informations.

De même, que sait-on du devenir des particules d'oxydes de titane utilisés dans certains cosmétiques, dès lors qu'elles sont larguées dans l'eau ? Les poissons seront-ils contaminés ? Et l'homme ingèrera-t-il ces substances via la chaîne alimentaire ?

Hervé Arribart assure que Saint Gobain prend en compte très sérieusement les risques liés aux nanoparticules. Une cellule de réflexion et de décision, définissant les règles à respecter et les méthodologies à mettre en œuvre afin de protéger à la fois les employés et les utilisateurs, a été mise en place. On s'interdit aussi de travailler avec certains produits pouvant présenter des risques particuliers (microfibres, par exemple). De façon générale, le développement durable est une valeur de l'entreprise qui, d'ailleurs, actuellement se valorise aux yeux des actionnaires.

Jean-Pierre Jolivet mentionne des solutions de dépollution apportées par les nanotechnologies. Par exemple, au CEREGE (Centre d'Enseignement et de Recherche en Géosciences de l'Environnement, CNRS-Aix Marseille), dirigé par **Jean-Yves Bottero**, les chercheurs développent des membranes inorganiques capables de purifier une eau pour la rendre potable. Cela peut sauver des vies dans des régions du monde comme le Bangladesh, dont les eaux de consommation sont polluées par l'arsenic.

3- Critique du développement durable et de la société industrielle.

Un participant intervient pour dire que « *toutes les informations partagées sont - en étant un peu provocateur - de la propagande* ». Ainsi, dit-il, le développement durable est aujourd'hui un maquillage du capitalisme frénétique. La techno science évacue souvent les problèmes politiques en proposant des solutions technologiques à des problèmes qu'elle a réduits, et qu'elle est incapable de saisir - vu que la science est découpée en disciplines. La techno-science apporte des solutions techniques. Il poursuit en demandant qu'on aborde le débat politique. Qu'est-ce qu'on produit, pour quoi faire ? Quelle est l'autonomie des gens en ce monde ? Qui comprend comment ça marche ? Est-on en présence d'une libération ou bien d'un asservissement ?

Gérard Toulouse (physicien, ENS) répond que l'on peut rendre la question du développement durable plus facilement discutable en se référant à l'« empreinte écologique » (la superficie que devrait avoir un pays pour continuer à consommer comme il le fait) et à la « biocapacité ». Des pays vivent de façon durable et d'autres vivent à crédit, aux dépens d'autres pays ou des générations futures. L'important est de savoir où nous en sommes en France, et comment vivre selon nos moyens. Pour cela, il y a des données à connaître, et des études à faire.

Participant

« À une question d'ordre politique qui porte sur le fond, vous répondez par une réponse de calcul. En fait, on ne peut pas parler de développement durable et équitable sans questionner le développement lui-même (Centrale nucléaire, ITER, industrialisation, militarisation, armes plus destructrices. centralisation des populations, du pouvoir). Cela fait un siècle que l'on sait ce que fait l'industrialisation. On connaît les pollutions. La super-chimie, pourquoi ne serait-elle pas super-cancérogène ? »

Dorothee Benoit Browaeys

On ne va pas contester ici les dégâts de l'amiante, des dioxines ou du DDT. Mais l'effort pourrait être de nous organiser pour trier les techniques. Comment formuler ce que vous voulez dire de façon que les scientifiques, les politiques, les industriels puissent faire évoluer le système ?

Participant précédente

« Pour être plus dans le concret, on a un débat aujourd'hui, alors que ça fait cinq ans que l'on investit massivement dans les nanotechnologies. MINATEC, le plus gros centre de recherche européen en nanotechnologies, va être inauguré, dans trois mois à Grenoble. Je ne vois pas comment le débat va pouvoir infléchir les choses. Il faut bannir ce type de technologies. »

Claudia Neubauer, de la Fondation Sciences citoyennes, revient sur les aspects politiques et sociaux. Elle regrette qu'on se limite d'abord à un débat technique au lieu de le remettre dans un contexte politique et social. Elle donne quelques repères :

- Les grands programmes d'énergie en Europe (dans le cadre des « programmes cadres » (PCRD) qui existent depuis une trentaine d'années) allouent de petites sommes pour les énergies renouvelables (20 % du budget total) Le chiffre du financement d'Euratom pour le nucléaire est plus grand que la totalité des budgets des énergies de recherche et développement en Europe.
- Sensibilisation à la consommation d'énergie. Une expérience très intéressante a été menée à Hongkong. La TV, au moment du « prime time » a appelé ses spectateurs à éteindre toutes leurs lumières dans leurs appartements. Et on a suivi à l'écran la baisse de la consommation d'énergie. Notre rapport à l'énergie est une question de formation, une question de conscience, une question de responsabilité politique et médiatique. Il faut mener des campagnes de sensibilisation à la consommation d'énergie.
- La justice sociale est prédominante. C'est elle, et non les nanotechnologies qui va déterminer le fait que les plus pauvres vont être ou non approvisionnés en énergie.
- Le problème de l'appropriation des technologies par les pays du sud, et de leur marge de manœuvre, est essentiel. Pourquoi ne pas créer des technologies, des innovations qui répondent spécifiquement à des contextes locaux ?

Avant de donner la parole au « Grand Témoin », **Dorothee Benoit Browaeys** reprend le fil du débat et en rappelle la finalité :

« A-t-on des objets communs les uns avec les autres par rapport à ce débat ?

On a commencé à exposer un certain nombre de perspectives, d'objets qui pourraient être pertinents pour produire de l'énergie pour faire des économies d'énergie, moins polluer... Et face à cela, on a des participants qui viennent dire : On ne veut pas de tout cela... Ces innovations ne sont pas pertinentes, dans la mesure où la fuite en avant est telle que nano ou pas nano, la technique ne permet pas de traiter les problèmes. »

Intervention de Philippe Aigrain (« grand témoin »)

Quatre questions me paraissent importantes :

1. Le fait qu'on renomme des techniques existantes de façon opportuniste est-il un problème ? Quels sont les impact des financements nanotechnologies sur les financements dans d'autres domaines qui ne sont pas en mesure de faire ces opérations de renommage ?
2. Techniques ou phénomènes physiques en quête d'applications. Secteurs en quêtes de solution nanométriques ? Mais où est la demande par rapport à des défis sociaux ? Où est l'exploration des propriétés de la matière pour elle-même ?
3. L'optimisation de la consommation d'énergie dans un dispositif donné. Comment se compare-t-elle en bénéfiques avec des actions sur les facteurs influençant sur la demande ? Tient-on compte du volet production et du reste du cycle de vie ?
4. Phrase sur l'électricité et l'eau qui arrivent au bidonville mais pas à ses habitants. La question est : la concentration sur des objectifs techniques nous détourne-t-elle de ces autres objectifs sociaux ? Des exemples comme la voiture propre semblent le montrer.

Bernard B. (participant) fait de la recherche dans les nanotechnologies. À propos de la veille toxicologique indépendante et des régulations à mettre en place, il propose de mettre en place une structure pour permettre de faire une veille sur les risques des nanotechnologies, une sorte d'ANR des risques.

D. Benoit Browaeys demande si l'on peut faire évoluer les modes d'innovation pour les rendre durables (personne n'est intéressé à faire des téléphones mobiles durables).

Yves Le Bars est d'accord sur l'alternative : « *Ou bien on arrête les recherches nanotechnologiques, ou bien on réussit à mettre en place un dispositif de régulation qui aille aussi vite que les innovations. Sinon il faut arrêter (...) Et je suis inquiet sur cette capacité à évaluer. L'ANR ne considère que les perspectives scientifiques, les retombées industrielles. Les préoccupations sociales ne sont pas intégrées dans les dossiers de réponse aux appels d'offre (...) Le chercheur étant enfermé dans sa discipline, ce cloisonnement nous amène "dans le mur".* »

Selon **Hervé Arribart**, « *c'est faire un mauvais procès à l'ANR de dire qu'il n'y pas de critères d'évaluation des risques ; il y a un autre programme de l'ANR qui prend cette thématique en compte...* », ce que confirme **Jean-Pierre Jolivet**.

4- Nanotechnologies : révolution technique ou poudre au yeux ?

Roger Moret (Centre de compétences nanosciences C'Nano) pense que c'est une erreur de parler de rupture et de révolution quand il n'y en a pas. La science donnera de nouvelles possibilités d'économies d'énergie, de nouveaux matériaux (mais attention aux cycles de vie complets). Il y a un cortège de choses positives (dépollution des eaux) et de choses négatives comme de nouveaux risques. Faut-il en rester pour autant aux voitures actuelles polluantes et ne pas essayer de les améliorer ? Idem pour les médicaments ?

Jean-Jacques Salomon (Cnam) considère que dans le domaine de la chimie et de l'électronique, on a rebaptisé des techniques existantes. Mais il y a apparemment des choses nouvelles du côté des matériaux. La science est aujourd'hui le théâtre du fantasme. Les nanotechnologies recyclent les désirs déployés avec la génomique. « *Mais du point de vue de la recherche fondamentale il n'y a rien.* »

Michael Graetzel et **Jean-Pierre Jolivet** ne sont pas d'accord du tout. Ils expliquent que le champ nano a permis de mettre en évidence de nouvelles propriétés de la matière. Ainsi, la magnétorésistance géante est un phénomène quantique vraiment surprenant et producteur d'avancées théoriques. L'exploration scientifique et l'innovation font preuve d'un certain courage.

Claire Auplat rappelle que, selon certains chercheurs américains, les nanotechnologies relèvent davantage d'une méthodologie que d'un domaine scientifique particulier.

Participant : « *Je suis inquiet vis-à-vis de l'inconnu, de l'absence de maîtrise C'est grotesque de dire que l'on va évaluer toutes les conséquences. Dans le domaine de l'eau, par exemple, l'oubli des autres civilisations est atterrant.* »

Philippe Aigrain fait plusieurs remarques :

- Y a-t-il une réticence à freiner l'innovation pour remettre au rythme la capacité d'évaluation ?
- Dans une vie, il y a des moments où il faut pouvoir vivre à crédit. Ne faut-il pas l'accepter aussi des pays les plus pauvres et dans quelle mesure ?
- Il y a dans le domaine nano une « tache aveugle » qui concerne l'appropriation.
- Peur de l'inconnu ou du trop connu ?
- Faut-il des scientifiques spécialisés dans les risques de la science ou des scientifiques citoyens du monde ? Sur le cas de la biométrie couplée aux RFID (techniques relativement anciennes mais dont le déploiement est récent) qui a posé les problèmes : des étudiants en philosophie, des juristes, des militants des droits de l'homme, aucun scientifique.
- Les avancées scientifiques résultent souvent d'une vision critique, d'une tentative d'élucidation du pourquoi ça marche ou du pourquoi ça foire. C'est vrai des mécanismes d'expression du génome (brisure des dogmes fondamentaux de la biologie moléculaire par exemple, prise de conscience de la complexité des régulations), mais vrai aussi des phénomènes mésoscopiques.

5- Face au constat de nos limites (terrestres & corporelles), promouvoir une autre culture technique

Deux pistes pour progresser : Elaborer de nouvelles priorités pour incarner la précaution et abandonner une position scientiste de maîtrise du monde pour construire un nouveau projet nanotechnique.

Claire Weill

La question pertinente à poser à ce stade serait : « Qu'est-ce qui nous réunit ? » Nous avons pris conscience de la limite de la condition humaine sur une planète finie. La planète, nous ne pourrons pas la quitter demain, pas plus que notre corps, quels que soient les promesses avancées ici ou là. Et, si nous sommes ici, même de façon conflictuelle, c'est bien parce que nous partageons cette prise de conscience, quelles que soient les générations.

Or face à ces limitations, l'entrée par la technique pousse à chercher des solutions technologiques alors qu'il faudra aussi des innovations sociales, organisationnelles. Il faut que l'on réfléchisse tous ensemble, et cela peut nous réunir.

La terminologie « Nano » est utilisée pour faire rêver, obtenir des crédits, espérer résoudre tous les problèmes planétaires (santé, énergie, environnement, sécurité). Les réactions de peur suscitées constituent, comme le fait un prisme, un révélateur d'angoisses très présentes en ce début de siècle (finitude des ressources fossiles, changement climatique, instabilités géostratégiques et problèmes d'insécurité...), qu'il faut prendre très au sérieux. Il ne faut toutefois pas sous-estimer l'importance de repréciser les termes utilisés, comme les nanotechnologies, les nanosciences, la notion de convergence. Il faut savoir de quoi l'on parle, avant toute chose.

Face à certain nombre de risques, les Etats ont pris conscience qu'il fallait s'organiser pour « expertiser en amont » et prendre des mesures de « précaution ». Les textes réglementaires récents à ce sujet montre que la philosophie de la précaution est passée ; mais les instruments et les institutions créés (Agences sanitaires...) sont très loin de produire aujourd'hui des outils adaptés à la mise en œuvre de la précaution. Elles n'arbitrent pas les questions comme : « Que veut-on mesurer ? Avec quels moyens ? A quel niveau de précision et pendant combien de temps ? ». Le suivi de faibles signaux sur des temps longs est l'un des aspects de la veille sur les risques potentiels.

La question des risques fait intervenir des questions systémiques majeures. Pour revenir à l'interrogation des chercheurs sur leur propre pratique, de nature éthique en particulier, celle-ci pose la question difficile du « dedans / dehors » pour un chercheur. Il ne peut mener une telle réflexion uniquement avec ses pairs, il faut qu'il se confronte à d'autres, à l'extérieur de son laboratoire. L'organisation de telles réflexions hors du champ du laboratoire n'est pas une chose simple a priori.

Un dernier point, très important qui vaut pour les nanotechnologies, mais aussi dans l'industrie chimique : une partie de la recherche se fait dans le privé ; dès lors, une fraction des résultats, des processus, des produits, ont une forte part de confidentialité. Dès lors, comment partager et valider des données sur les dangers et les risques des produits, dans un milieu où la confidentialité est de rigueur ? De ce fait, une telle expertise échappe aussi bien aux politiques qu'aux citoyens. Que font les Etats en ce sens ? Il faut garder cette problématique à l'esprit, tout comme celle de la difficulté qu'ont les Etats à s'organiser en Europe pour mettre en place une expertise communautaire (*cf supra*) avant d'arguer que l'on arrivera toujours à confiner les risques de manière suffisante.

Bernadette Bensaude-Vincent trouve le débat très éclairant. Eclairé par la contestation qui révèle une chose souvent non exprimée : le fossé entre deux systèmes de valeur.

« J'ai été frappée par l'expression de la super-chimie. Si la chimie ne produit pas seulement une grande quantité de marchandises, du capital, des pollutions... elle produit des valeurs fortes qu'on appelle du scientisme écrasant, c'est-à-dire l'idée que la science va trouver des solutions à tous les problèmes de l'humanité. Or, les nanos se sont développées avec un discours extrêmement scientiste. On a retrouvé les grands credos : "résoudre le problème de l'eau potable, de l'énergie, etc." Il faut se demander : "Est-ce que ces valeurs sont fondamentales à l'approche nano ?" »

Les nanos sont une méthodologie, un projet technique. En partant des briques élémentaires, des molécules isolées, les nano-ingénieurs se donnent la position d'un créateur qui construit le monde à partir de briques isolées. Cela génère des valeurs. Or il y a d'autres postures possibles, d'autres façon de mener des projets techniques. On pourrait réfléchir ensemble à comment, avec les nanos, on peut faire d'autres projets qui soient "amélioratifs". C'est-à-dire que l'on peut travailler avec la nature en l'imitant, ou en utilisant des forces d'auto assemblage de la nature... Ne peut-on pas promouvoir une autre culture des nanos ? Ou est-ce que l'on va rester dans ce modèle qui a aidé à les promouvoir, et surtout à attirer de l'argent dedans. Un projet scientiste encore plus grossier que celui de la fin du XIX^{ème} siècle ! »