

Joseph ZYSS, Professeur, Directeur du LPQM (UMR 8537) et de l'Institut d'Alembert (IFR 121), Ecole Normale Supérieure de Cachan.

« Du minéral au moléculaire, des micro aux nanotechnologies, de l'ordre à la complexité : simples franchissements d'échelle ou renouvellements conceptuels et méthodologiques ? »

Il n'est pas de révolution dont la réussite, aussi éclatante soit-elle, n'en vienne à s'essouffler plus ou moins rapidement en conservatisme, sauf à s'accommoder de nouvelles mutations et à se renouveler au contact de futurs paradigmes à l'émergence toujours initialement très discrète et par définition à contre-courant, avant qu'en soit reconnu à terme le caractère fécondant (*). L'extraordinaire révolution en cours de la société de l'information n'échappera pas à cette règle : ses limites prévisibles se font déjà sentir et se doivent de mobiliser les chercheurs sur plus d'un front, tant dans le domaine des sciences dites « dures » (point de vue du conférencier) qu'à celui des sciences sociales. Dans le premier domaine, les lois de la physique quantique s'opposent radicalement à une extrapolation pure et simple des technologies actuelles selon une démarche de type « top-down » jusqu'à la nouvelle frontière à conquérir des échelles nanométriques qu'on prétendrait conquérir avec des outils plus classiques. Outre son caractère scientifiquement simpliste, une telle extrapolation se heurterait de plus à des logiques économiques et industrielles de simple bon sens au regard des coûts de lancement pharaoniques de nouvelles unités de fabrication de circuits toujours plus miniaturisés et intégrés. Signalons enfin au titre des sciences sociales une demande croissante dans le domaine de la santé que les présents enjeux de la société de l'information ne prend pas vraiment en compte mais qui pourrait devenir pour elles le principal enjeu de demain, une fois banalisé et assimilée la révolution (et le marché) du portable de même génération (téléphone, ordinateur, convergence de services multi-média etc...).

Aux côtés de la physique du transport électronique dans les semi-conducteurs cristallins qui a très largement fécondée cette filière, une communauté internationale de chercheurs d'origine disciplinaire très diverse et allant croissant, s'est constituée depuis moins d'une décennie autour de la conception, d'une fonctionnalisation très ouverte et de l'organisation d'objets de nature moléculaire, aptes à interagir tant avec des photons qu'avec des électrons et susceptibles d'être assemblés ou, mieux encore, de s'auto-assembler selon une démarche « bottom-up » permettant une optimisation fonctionnelle multi-échelle. Il s'agit de faire coopérer au sein de circuits interfaçables aux travers de canaux très divers (photons sur une large gamme spectrale allant de la lumière aux signaux radioélectriques, électrons, champs magnétiques, forces, fluide etc...) les différentes échelles pertinentes et

« emboîtées » de la molécule, de l'édifice supra-moléculaire jusqu'aux échelles mésoscopique et micronique où le top-down reprend ses droits etc..., chacun de ces franchissements correspondant à des interactions physiques ou chimiques, internes ou externes, obéissant à des lois différentes et susceptibles de contribuer conjointement à la fonctionnalité de l'ensemble.

Au débouché de nouvelles filières d'élaboration technologique à caractère « soft » en cours de définition, des fonctions de communication de traitement ou de stockage de l'information toujours plus performantes en débits, en consommation et en intégration, voire complètement nouvelles (par exemple multifonctionnelles, non-linéaires, multi-valuées etc...) sont en cours de démonstration. Le monde organique des molécules, longtemps décrié par les tenants du minéral au titre de sa moindre robustesse, offre précisément de par ses « défauts » mêmes à qui veut et se plaît à en jouer, une souplesse et une flexibilité inestimables largement hors de la portée de réseaux cristallins rigides par nature (**), une aptitude naturelle à la distribution spatiale et à la reconfiguration temporelle, ainsi qu'une compatibilité supérieure avec la sphère du vivant qui repose sur une palette d'interfaçages subtils et très diversifiée, apte à relier quasi-continûment le minéral, l'organo-minéral, l'organique et le vivant (dont le vivant lui-même offre des exemples saisissants, par exemple dans la constitution interne du cartilage osseux ou de l'émail dentaire).

De grandes avancées en cours seront illustrées par quelques exemples concrets puisés dans le domaine de la photonique et de la biophotonique moléculaires. Ce domaine, dont on tentera de définir le champ d'action (***), constitue le cœur de l'activité de l'Institut d'Alembert, une fédération de recherche nouvellement créée regroupant physiciens, chimistes et biologistes autour d'objectifs communs balayant un front large tant fondamental qu'appliqué allant des sciences et technologies de l'information aux sciences du vivant. La plupart d'entre elles reposent, depuis le milieu des années 90, d'une part sur l'avènement des générations successives de bio-puces telles que les puces à ADN et de façon croissante, les puces à protéines et à cellules et d'autre part, de façon immédiatement connexe, sur la possibilité de détecter « in situ » le rayonnement de molécules ou de nano-objets uniques ou en interaction entre eux (par exemple des oligo-nucléotides, protéines et virus marqués par des labels luminescents ou codés génétiquement à cette fin).

Ces avancées préparent à un bouleversement méthodologique et conceptuel déjà en cours dans le domaine des sciences de la vie, d'une importance sans doute comparable à l'invention du microscope au XVIII^{ème} siècle, qui permet d'envisager une nouvelle pharmacologie dépassant l'ère quelque peu aveugle du criblage pour s'attaquer à

l'élaboration raisonnée de médicaments réellement optimisés : ceux-ci seront testés, voire même élaborés dans des « nano-laboratoires cellulaires » communiquant principalement par signaux optiques au travers d'une instrumentation photonique très sophistiquée (qui sera, sous forme industrialisée, la réalité routinière de demain dans les laboratoires d'analyse et les centres de soin) dont les différentes composantes se mettent irréversiblement en place au sein d'équipes pluridisciplinaires(****).

() La psychologie et l'histoire personnelle des chercheurs à contre-courant (ce qui devrait être, à un certain niveau, la règle pour toute bonne recherche, sans bien sûr que ce critère, tant s'en faut, soit suffisant) n'est évidemment pas sans intérêt, bien qu'ayant fait l'objet de peu d'études : la communauté scientifique et ses institutions les plus prestigieuses tendent à donner d'elles-mêmes (ou à laisser passivement accréditer) une image stéréotypée de « bon élève » peu conforme à la réalité et probablement dommageable à leur crédit, une perception qu'il faudrait analyser et sans doute corriger au vu du déclin des vocations scientifiques (les médias ajoutant sans doute leurs propres biais à de telles distorsions)
On ne se place évidemment pas ici au niveau de mythes démagogiques et subtilement manipulateurs tels que celui d'un Einstein « mauvais élève », pas plus qu'à celui, non moins dangereux et falsificateur, à l'autre bord, d'un savant modèle, pur produit bien calibré des institutions.*

*(**) Mais il est vrai ô combien mathématiquement plus satisfaisants !*

*(***) Voir par exemple*

- *« Champs et enjeux actuels de la photonique moléculaire », pp.145-156 in « Nanosciences et Nanotechnologies » (rst n°18, avril 2004, Académie des Sciences et des technologies) ;*
- *Dossier « Photonique moléculaire, matériaux, physique et composants », éditeur J.Zyss (Compte rendu de l'Académie des Sciences, Tome 3(4), Mai 2002) ;*
- *« Introduction à la nanophotonique pour la biologie », J.Zyss et S.Brasseur, pp. 597-673, in « Les nanosciences, nanotechnologies et nanophysique », éditeurs M.Lahmani, C.Dupas et P.Houdy, Belin, Paris, 2004)*

*(****) dont la pratique se définit bien plus sur le terrain qu'au niveau des discours incantatoires (et pas réellement nouveaux !) sur les vertus d'une pluridisciplinarité dont les promoteurs ne sont pas toujours les « payeurs » (au sens de la carrière par exemple).*