

NANOSCIENCES ET NANOTECHNOLOGIES

**« LE DÉVELOPPEMENT PAR L'INFINIMENT PETIT : ÉLOGE DE
L'INTERDISCIPLINARITÉ »**

Trois ouvrages :

**L'évolution du secteur des semi-conducteurs et ses liens avec
les micros et les nanotechnologies¹.**

par Claude **Saunier**, sénateur.

Nanosciences et nanotechnologies²

Nanosciences et progrès médical³

par Jean-Louis **Lorrain** et Daniel **Raoul**, sénateurs

Jean-Claude Mounolou⁴ et Françoise Fridlansky⁵. – Année 2003-2004 : en quelques mois trois éminentes institutions de la République – l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, l'Académie des Sciences et l'Académie des Technologies – publient trois rapports sur les avancées des nanosciences et l'émergence dans le domaine public des nanotechnologies. Le lecteur moyen a toute raison de s'étonner ! Il a appris la notion de nanomètre à l'école (c'est un sous-produit du système métrique) ; il sait que la matière est structurée à l'échelle du nanomètre (c'est la dimension des petites molécules voire des atomes les plus volumineux) ; il sait que le vivant utilise à cette échelle une diversité potentielle d'organisation de la matière (depuis des millions d'années certaines espèces de mollusques cristallisent le carbonate de calcium en nacre quand d'autres en font de vulgaires coquilles) ; il sait enfin que les gouttelettes des crèmes de beauté produites par l'industrie des cosmétiques ont quelques nanomètres de diamètre. Bien avant les années 2000 donc les nanosciences et les nanotechnologies avaient leur place dans notre culture, notre environnement et notre économie. Depuis longtemps aussi les histoires imaginaires des petits démons invisibles ont été racontées par les grands-mères aux petits enfants. Dans l'euphorie scientifique et technique du XX^{ème} siècle, les romanciers en ont fait de la science-fiction : ainsi par exemple les petits objets nanométriques de la « gelée grise », dotés d'autoreproduction et capables d'intelligence, pouvaient initier de féroces compétitions darwiniennes avec les sociétés humaines...

Alors pourquoi assiste-t-on à la publication de trois rapports officiels en un an ? Pourquoi les médias font-ils des nanosciences et des nanotechnologies des sujets de controverse (et de promotion de leurs ventes) ? Pourquoi relancer à ce propos un scénario qui oppose les enthousiastes impénitents de la science aux humanistes sages mais malheureux ? L'ordre d'apparition des trois

¹ Rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et techniques (n° 566 de l'Assemblée Nationale et n° 138 du Sénat), éditions du Sénat, janvier 2003, 162 pages.

² Rapport sur la Science et la Technologie n° 18, Académie des Sciences et Académie des Technologies, éditions Tec & Doc, avril 2003, 480 pages.

³ Rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (n° 1588 de l'Assemblée Nationale et n° 293 du Sénat), éditions du Sénat, mai 2004, 308 pages.

⁴ Président de l'Académie d'Agriculture de France.

⁵ Centre de Génétique moléculaire, CNRS, avenue de la Terrasse, 91198 Gif sur Yvette.

rapports pourrait constituer un élément de réponse à ces questions. En effet le premier rapport considère que l'évolution économique et technique de la filière des semi-conducteurs vers les micro-processeurs est inéluctable. Par extension, il explique que la « société du silicium et de l'informatique » est conduite par la course à la miniaturisation des objets et à la complexification des constructions tout autant que par la recherche constante d'un abaissement des coûts et d'un maintien (si ce n'est mieux) du rendement financier des investissements publics et privés. Parce que l'engagement de nos sociétés dans la gestion des informations de toute nature est irréversible et que, en parallèle et pour d'autres raisons, des scientifiques ont mené des programmes de recherche fondamentale et enrichi notre connaissance de la matière, les microtechnologies vont laisser peu à peu la place aux nanotechnologies.

L'introduction et les trois premiers chapitres du rapport de C. Saunier (p. 1 à 121) présentent l'analyse : ch.I : les « puces » : une révolution tranquille mais fragile, ch.II : la course vers l'infiniment petit – des défis technologiques aux espérances socioéconomiques, ch.III : le retard français et européen dans la compétition mondiale. Il apparaît que connaître et penser les nanosciences puis mettre en œuvre les nanotechnologies seront les atouts du développement futur. L'auteur appuie son analyse sur les auditions de personnalités compétentes françaises et étrangères qu'il énumère dans une première annexe (p. 152 à 158). Il illustre ensuite la démarche industrielle dans une seconde annexe très courte (p. 159 à 162) mais très utile pour le lecteur non averti : le vocabulaire technique spécialisé est présenté en donnant pour chaque mot la place et la fonction qu'il qualifie dans les procédés de fabrication.

Le chapitre IV du rapport (p. 122 à 151) est consacré aux propositions de l'auteur, propositions adoptées ultérieurement par l'Office parlementaire. Elles sont intitulées : « soutenir les filières de haute technologie » et ont une ambition prospective et structurante. Elles dessinent une politique d'Etat en matière de nanotechnologies : choix des objectifs, investissements à faire en recherche, développement de la gestion pluridisciplinaire des connaissances, soutien structurel et financier à l'ensemble des acteurs publics et privés, adaptation de la fiscalité nationale, adaptation des réglementations européennes aux réalités mondiales.

Ce rapport est riche, passionnant et (en apparence au moins) facile d'accès. Il a le grand mérite de placer d'emblée les problèmes sur le plan de l'économie et de la faisabilité. Il donne une idée de l'évolution des coûts, des investissements à envisager et des restructurations dans la filière industrielle des micro-processeurs. Nous avons un peu regretté que, dans cette perspective, le rapporteur n'ait pas osé chiffrer les propositions politiques qu'il avance. L'exercice est délicat pour des raisons de circonstance, mais aussi sans doute parce que ces propositions souffrent d'une ambiguïté intrinsèque, non exprimée, due à la superposition d'un credo libéral et d'un souhait d'intervention de la puissance publique nationale.

Une seconde ombre d'importance plane sur ce texte : elle concerne la part de l'évolution du secteur des semi-conducteurs vers les nanotechnologies qui est pilotée par la politique de défense (et de renseignement) puis mise en œuvre par les institutions militaires et les industries spécialisées. Cette contribution est évoquée très indirectement pour son caractère stratégique, mais elle n'est ni présentée ni discutée. Nous retrouverons cet « oubli », sans doute volontaire, dans les deux autres rapports.

A l'opposé, le déplacement de la valeur vers les services, le langage et les images symboliques - déplacement qui suit l'effort premier de connaissance, d'innovation et de production - est lumineusement illustré dans ce mouvement des microprocesseurs vers les nanoprocesseurs. M. Saunier poursuit l'analyse par une réflexion sur l'évolution symbiotique permanente de l'homme et de ses artefacts. Il évoque les perspectives positives et négatives de ce mouvement dans le contexte des références éthiques et juridiques actuelles. Il discute les coûts et les perspectives de formation et d'emploi, les risques pour la vie privée, les droits de propriétés et les brevets. Il dresse en contrepoint les espoirs économiques et sociaux dans les domaines de la santé, de l'environnement, de l'énergie et de la transformation des industries vieillissantes.

Ce rapport constitue pour nous lecteurs une fort utile entrée en matière, en particulier parce qu'il examine avec plus d'attention que les deux autres les implications économiques, politiques et structurelles de l'expansion prévisible des nanosciences et des nanotechnologies.

En développant son analyse C. Saunier indique que, selon l'avis des scientifiques consultés, « nanosciences et nanotechnologies sont encore largement dans le champ de la recherche académique et de ses interfaces avec les développements technologiques de base ». L'essentiel reste donc à venir et plusieurs pistes sont évoquées : l'électronique moléculaire, les systèmes d'information quantiques, l'informatique ADN. Plus que par une rupture l'évolution passerait par des croisements progressifs et interdisciplinaires entre science et technologie. La lecture du rapport des Académies des Sciences et des Technologies – Nanosciences, Nanotechnologies – fournit la matière à une réflexion sur ces sujets.

« Nanosciences, Nanotechnologies » est l'œuvre collective (480 pages) d'un groupe de travail de 42 scientifiques. MM. Corriu, Nozières et Weisbuch ont assumé avec talent la responsabilité de faire émerger un document cohérent, de dégager les lignes directrices de l'avancée des connaissances et de présenter les recommandations essentielles.

Ce rapport est introduit et accompagné de commentaires sur l'historique de la commande globale faite aux Académies par leur tutelle et sur la démarche adoptée. La rédaction a commencé dès 2001 et immédiatement le groupe de travail a souhaité restreindre son étude à la chimie, la physique et les technologies, excluant le champ de la biologie (nous reviendrons sur ce point ultérieurement). De plus le rapport est bâti sur le mode vertical disciplinaire : un chapitre de nanochimie, un autre de nanophysique, un dernier de nanotechnologie (chacun chez soi !). Cela surprend bien le lecteur qui espérait une présentation scientifique interdisciplinaire pour un domaine de connaissances et d'usages parfaitement transversal, le nanomètre n'étant pas la propriété d'une discipline...

Mais cette présentation a trois mérites. Le premier est de nous obliger à nous investir intellectuellement et personnellement dans chaque démarche scientifique : A chacun donc de s'appropriier les acquis, les concepts, les théories et les méthodes de chaque spécialité, de suivre le cheminement qui la mène au nanomètre et d'apprécier les limites de l'approche ; à chacun ensuite de construire sa propre interdisciplinarité. Le lecteur a donc l'occasion de revenir sur lui-même et sur sa formation scientifique, de s'interroger et de s'informer plus avant pour suivre le raisonnement qui lui est proposé.

Le second mérite est de révéler des différences significatives intéressantes dans le sens et le choix des mots utilisés par chacun : « Nanosciences » pour un chimiste n'est tout à fait le « Nanosciences » d'un physicien et réciproquement. Nous, profanes, traduisons cela en disant que le cheminement vers le nanomètre amène la chimie et la physique de la matière (celles qui manipulent globalement et efficacement les matériaux) à la rencontre de la physique quantique et probabiliste (celle qui s'intéresse à des objets individuels que nos yeux ne voient pas). Dans cet exercice les connaissances se chevauchent mais les concepts, les théories et les méthodes se bousculent et sont à leurs limites. Les subtilités de cet affrontement sont peut-être plus utiles au lecteur qu'un discours unique et superficiellement interdisciplinaire ; il a l'occasion d'exercer sa liberté dans l'effort !

Pour le chimiste l'objectif de la nanochimie (partie I du rapport, p. 8 à 164) est la construction de nano-objets dont il essaie de décider la structure et les propriétés. Les voies et moyens de la synthèse sont les bases scientifiques et techniques. L'imagination et l'ambition du chimiste se révèlent lorsqu'il fait le projet d'objets inédits, complexes et porteurs de fonctions multiples qui ouvrent un champ infini d'interactions avec d'autres objets. Pour cette pratique les auteurs du rapport se disent sûrs de leurs bases et libres de créer. Le premier chapitre (p. 55 à 60) traite du choix des objets à élaborer. Les idées avancées trouvent d'abord leur origine dans le vivant : moteurs moléculaires, navettes et canaux, fibres et câbles (fallait-il vraiment exclure la biologie du

rapport ?) et l'ambition est de composer un corpus de nanochimie douce et biomimétique. L'ingénierie des matériaux et ses usages industriels sont la seconde source d'inspiration : de nouveaux matériaux et de nouveaux procédés viendront transformer les opérations de catalyse et de polymérisation, les activités polluantes pour l'environnement et les capacités de dépollution. Les nanomatériaux fonctionnalisés de demain trouveront leur emploi dans des domaines que le rapport de C. Saunier évoquait : nanomagnétisme (et ses espérances médicales), catalyse hétérogène, électronique moléculaire... Ils ouvrent aussi des perspectives nouvelles pour l'optique et les verres nanostructurés, pour les codages et transferts d'informations rapides et à très grandes distances. Sans doute assiste-t-on à l'émergence de disciplines neuves (la photonique moléculaire par exemple) et à de nouveaux croisements entre chimie et physique. Les enjeux économiques et sociétaux sont à l'évidence considérables à moyen et long terme. La structure choisie pour le rapport donne successivement la parole à des scientifiques compétents chacun dans un domaine, fragmente le sujet général, provoque des chevauchements et des redondances. Ceci, ajouté au poids des sources extérieures d'inspiration donne à première lecture l'impression que la chimie se transformerait en une discipline de service. Il faut se donner le temps d'une seconde lecture pour percevoir que l'émergence des nanosciences et des nanotechnologies suscite des interrogations fondamentales chez les chimistes et enrichit leur réflexion théorique. Cette contribution est presque cachée dans un chapitre qui traite d'autoassemblage et d'interactions mésoscopiques. Actuellement les chimistes reconsidèrent les questions d'autoassemblages, d'empilements et de combinaisons, et ils se posent des questions : Les théories des interactions moléculaires et de comportement des colloïdes permettent-elles de prédire les structures, les fonctions et les dynamiques des nano-objets de demain ? Quelles sont leurs limites ? Faut-il concevoir une nouvelle thermodynamique des interactions ?

En bref, l'intérêt matériel et ordinaire de la contribution de la chimie aux nanosciences est évident, mais, et surtout, un élan intellectuel intérieur à la discipline comme dans ses relations avec d'autres prend corps.

Lorsque le lecteur aborde la partie II (p. 165 à 276) du rapport – la nanophysique – l'approche est bien différente : Une introduction forte est suivie de huit chapitres présentés selon une logique hiérarchique et verticale : Les machines quantiques viennent en premier, puis l'électronique moléculaire, le transport quantique cohérent, le nanomagnétisme et les agrégats. Les trois derniers chapitres traitent des techniques et des objets : microscopies modernes, procédés d'élaboration des nanostructures et nanostructures des semiconducteurs. Appuyée sur sa dynamique propre et sa place bien assurée dans la société, la physique traite du sujet du rapport dans sa logique propre (à la différence de la chimie). L'introduction ne laisse d'ailleurs aucun doute au lecteur (p. 171 et 172) : « Un mot d'abord pour préciser ce que nous entendons par nanosciences. S'il s'agit seulement d'exploiter les propriétés des atomes et des molécules pour atteindre un résultat macroscopique, alors toute la chimie et la physique des matériaux relèvent des nanosciences !... Nous nous limitons ici à un cadre encore plus restreint : outre la structure et l'élaboration, c'est l'*exploitation* de ladite structure qui se fait à l'échelle du nanomètre. On entre dans le domaine de la nanophysique lorsque le confinement change qualitativement le comportement... ». Mais l'ordre choisi pour les exposés révèle deux préoccupations, voire deux inquiétudes, des scientifiques : la première est contenue dans le passage de dynamiques quantiques et probabilistes à des propriétés collectives et déterminées, passage qui se fait à l'échelle nanométrique. La seconde est celle du « défaut » : le sens de ce mot diffère selon le niveau, quantique ou macroscopique, auquel le physicien se place et il témoigne d'une appréciation morale négative (perceptible dans le style des auteurs), même si certains procédés et certaines machines exploitent des défauts. Dans ce contexte la science physique poursuit des objectifs bien identifiés. Elle vise ainsi à développer l'étude d'états quantiques intriqués pour avancer dans la compréhension de la complexité et la préparation des procédés du futur calcul quantique. Bien sûr elle investit l'électronique moléculaire dont il était question dans le rapport de C. Saunier et dans l'exposé des chimistes. L'enjeu premier est de

connecter des molécules individuelles, chimiques ou biologiques (capteurs), aux fils métalliques des calculateurs. Mais l'enjeu le plus excitant rejoint celui que se sont donné les chimistes : construire des nanostructures fonctionnalisées capables par elles-mêmes de calcul et de traitement de l'information. L'inspiration en la matière vient des architectures du vivant : ADN, protéines (fallait-il vraiment exclure la biologie du rapport ?). L'effort envisagé n'est pas mince. Progresser dans la compréhension du « collectif » passe pour les physiciens par l'élaboration de systèmes et de transports quantiques cohérents et la maîtrise des interférences entre systèmes élémentaires isolés. Des démarches analogues sont à construire pour l'étude du nanomagnétisme. Dans ce domaine la physique ouvre des perspectives sur le plan de la connaissance biologique (le vivant utilise les propriétés magnétiques de certains de ses composés moléculaires et la compréhension de leurs fonctions est encore incertaine), et sur les plans de la médecine et de l'ingénierie des écosystèmes. La transition vers les technologies passe par la maîtrise des agrégats (lois d'organisation, dynamiques) et la capacité de les construire en choisissant les éléments à associer selon les architectures et les fonctions collectives que l'opérateur souhaite réaliser. Ainsi l'enjeu des nanosciences et des nanotechnologies (p. 236) se situe « dans le domaine des tailles intermédiaires de la matière, entre les molécules et la matière condensée, où la portée des interactions est supérieure ou égale à la taille des objets... ». Cette portée des interactions transforme le regard que le lecteur non averti portait sur les objets physiques, et le force à les considérer selon un mode de pensée qu'il réserve souvent au monde vivant et aux sociétés.

Le rapport sur la nanophysique ne s'engage pas plus avant dans ces considérations, il reste délibérément dans son champ disciplinaire et apporte dans les trois derniers chapitres de la partie II l'information scientifique fondamentale qui est à la base des développements technologiques (microscopies, nanostructures et semiconducteurs) qui sont envisagés sous d'autres angles dans la partie III (nanotechnologies) et ont été aussi évoqués par C. Saunier.

La troisième partie du document des Académies (p. 277 à 450) traite des nanotechnologies. L'introduction place d'emblée le sujet dans le domaine interdisciplinaire : « Que sont les nanotechnologies ? Il s'agit de l'ensemble des savoir-faire qui permettent de travailler à l'échelle moléculaire pour organiser la matière, brique par brique, jusqu'à l'échelle macroscopique... les nanotechnologies doivent prendre en compte d'autres facteurs dont dépend leur mise en œuvre dans des produits commercialisables, tels que fabrication à grande échelle, compatibilité, durabilité, coût, impact sur l'environnement, etc ». L'exposé est organisé en sept chapitres. Les deux premiers établissent une liste des enjeux du domaine et des types de recherches qui se développent. Ces réflexions sont illustrées (ch.3) ensuite en détail par des exemples tirés des champs de l'information et de la communication, des matériaux, des usages des nanoparticules. Les deux chapitres suivants donnent un aperçu de la situation des savoir-faire et des capacités d'investissement, de production et de développement à l'étranger et en France. Enfin en deux chapitres sont abordés de façon très lapidaire les impacts sur la société et les nécessités de la protection de la propriété intellectuelle. Nous, lecteurs non avertis, avons cependant compris que les deux derniers chapitres qui concernent des questions de sciences humaines et sociales ne doivent leur place qu'au fait qu'elles ne peuvent pas être oubliées. Certes le style adopté est alors courageux. Cela témoigne en même temps de la position inconfortable de l'auteur qui est convaincu de l'intérêt essentiel d'une réflexion approfondie et critique sur les questions abordées, mais qui est contraint par une décision d'organisation du rapport qui a exclu des contributions des chercheurs des sciences humaines et sociales, comme elle a exclu celles des biologistes. Il n'est d'ailleurs pas fait mention de ces aspects sociétaux dans les recommandations finales. Nous respectons la volonté des deux Académies, même si nous aurions apprécié une autre pratique de l'interdisciplinarité telle qu'elle est d'ailleurs réclamée dans la recommandation finale n°3 : « apprendre à travailler ensemble » !

Ceci étant, les exposés sur les savoir-faire, leurs origines, leurs états actuels et leurs potentialités sont fort instructifs. Les acteurs présents sont mis en scène et le rapport discute les nécessités de développer des formations qui préparent les compétences du futur et suscitent des

vocations, les nécessités de penser les emplois anciens et nouveaux. Les exemples choisis nous ramènent aux exigences du réel : nanosciences et nanotechnologies ouvrent un champ infini (et les romanciers l'exploitent) mais la vie économique et sociale soumet l'action à des impératifs certains : Ainsi à l'occasion de l'irruption des nanotechnologies dans l'information et la communication, il est rappelé qu'il s'agit d'un domaine où les financements et les investissements sont considérables et qu'une nouvelle technologie se doit de réaliser des chiffres d'affaires importants. Les coûts et les échelles de productions sont critiques et cette nécessité fait bien écho aux analyses et aux conclusions du rapport de C. Saunier. Enfin et parce que, dans ce rapport aussi, l'analyse approfondie des développements des nanotechnologies dans une perspective de défense et de renseignement n'est pas évoquée alors que les industriels principaux travaillent pour ce domaine, nous avons clairement l'impression qu'une partie de l'information n'a pas été prise en compte et communiquée. Ceci affaiblit beaucoup la portée des recommandations finales... Par contre cette troisième partie du rapport des Académies appelle explicitement un complément d'enquête qui s'intéresserait au vivant, à la santé des hommes, aux écosystèmes et à la gestion des territoires ; nous avons déjà dit que nous partagions ce souhait.

Le troisième document (308 pages) – « Nanosciences et progrès médical » - de J.L. Lorrain et D. Raoul aborde spécifiquement les questions de biologie humaine et de santé. Il a pour sous-titre : « décider aujourd'hui pour être prêts demain » et il identifie dans trois chapitres trois domaines de la connaissance médicale où sont attendus des progrès importants : le diagnostic, la vectorisation et le ciblage des médicaments, la réparation tissulaire et la compensation des déficits. Suivent des propositions politiques qui désignent des champs de recherche, des investissements à réaliser, des soutiens financiers et fiscaux à attribuer aux acteurs publics et privés, et enfin la suggestion d'une loi qui fixerait le cadre et les objectifs d'une politique nationale. Ces recommandations ont été approuvées par l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et techniques en mai 2004. Cet ensemble constitue la première partie du rapport (p. 1 à 126). Une seconde partie, aussi étendue (p. 127 à 286), est faite d'annexes fort utiles, en particulier des actes d'un colloque spécialisé tenu au Sénat en février 2004.

Trois chapitres très différents composent le corps du rapport. Le premier (p. 7 à 20) constitue une introduction courte et pertinente au domaine des nanosciences et des nanotechnologies : définitions des mots et des concepts, illustrations par des exemples venus de l'information et des matériaux. L'examen des contributions à développer dans le champ de la santé constitue le chapitre essentiel (ch. II, p. 21 à 52). Ayant expliqué que l'échelle nanométrique est celle des composés biochimiques et des ultrastructures fonctionnelles de la cellule vivante, MM. Lorrain et Raoul dressent une liste d'objectifs pour les nanotechnologies médicales. Ils étudient ensuite chaque cas : nature du problème, état du savoir-faire, avancées à envisager. Premier objectif : « Mieux voir pour améliorer le diagnostic ». Il s'agit de développer des endoscopies par gélules émettant in vivo des images électroniques et de réaliser des puces à ADN et à protéines pour l'analyse in vitro. Le second objectif est : « Mieux soigner ». Les nanotechnologies amènent des savoir-faire adaptés à la vectorisation des médicaments (en particulier pour les thérapies des cancers) et à l'élaboration de nanoparticules qui seraient spécifiques et activables de l'extérieur de façon contrôlée et dynamique (particules magnétiques par exemple). Enfin « Compenser les déficits acquis ou congénitaux » est un troisième objectif de recherche de neuroprothèses, des matériaux biocompatibles permettant des réparations de cornée, de peau ou d'autres tissus. Ce chapitre ne donne certainement qu'une liste très indicative et qualitative des initiatives possibles. Ni les limites des savoir-faire actuels ni la durabilité des résultats ne sont évoquées. Nous regrettons un peu que, bien que constituant le socle du rapport, ce chapitre laisse une impression de superficialité.

Le troisième chapitre est intitulé : « Ni angélisme, ni catastrophisme ». Les auteurs passent en revue les enjeux économiques sous l'angle bien particulier des financements publics dédiés aux nanotechnologies en France et dans les pays étrangers. Bien sûr ils concluent à une différence, s'en inquiètent et recommandent une politique de soutien. Ce développement dans sa forme actuelle

n'emporte pas vraiment l'adhésion du lecteur : D'une part l'analyse des coûts et des perspectives n'est pas présentée, d'autre part sur le plan de la théorie économique le choix des auteurs entre une politique libérale et une autre où l'Etat interviendrait fortement n'est pas explicité... Les aspects dits « socio-économiques » sont ensuite examinés de façon tout aussi succincte. Les auteurs soulèvent trois vraies questions : celle de la confidentialité des informations médicales et du respect de la vie privée, celle d'une éventuelle prise en charge par la Sécurité Sociale et l'assurance-maladie, enfin celle de la mise en place de formations et d'emplois dans le secteur médical en parallèle avec la création d'une industrie nationale des nano-objets et des outils permettant leur utilisation. Ces questions ne sont pas traitées au fond. Nous regrettons aussi l'absence de référence à une quatrième question : celle des armes biologiques que préparent les états et les groupes terroristes et contre lesquelles il faut aussi se défendre.

En bref cette première partie du texte de MM. Lorrain et Raoul a le grand mérite d'être aisément accessible et de bien poser les questions. Ce rapport est relativement bref, il aurait pu être plus détaillé. Ainsi le passage de l'exposé des connaissances et des savoir-faire aux applications en clinique et aux implications socio-économiques aurait eu plus de rigueur et de précision. Parce que la science et la technique de demain sont examinées dans le cadre des références économiques, éthiques et culturelles d'aujourd'hui, parce que l'analyse n'a pas fait appel aux concepts et aux démarches des sciences humaines et sociales, les recommandations financières et structurelles ne paraissent pas tout à fait à la hauteur des enjeux. Par contre les auteurs ont eu un mérite rare et remarquable en présentant des annexes (en particulier les actes du colloque du Sénat) aussi longues que le rapport lui-même. Cette démarche courageuse témoigne d'un souci de respect (démocratique) pour le lecteur. On découvre en effet dans ces annexes une grande diversité d'opinions et de propositions. On s'explique mieux alors le glissement vers le discours plus superficiel que nous déplorions plus haut. Les suggestions sont foisonnantes, voire contradictoires. Elles constituent une riche source d'informations et de références. Le lecteur peut ainsi nourrir sa propre réflexion critique. Nous avons apprécié cette liberté, rare à la lecture d'un rapport de ce type.

Pour conclure cet exercice de lecture comparée, nous reviendrons brièvement sur les questions posées en introduction à propos des nanosciences et des nanotechnologies. Le premier point, le plus important à nos yeux, est que nous avons trouvé un très grand intérêt à chacun des trois rapports : ils constituent des sources d'information et d'éducation scientifique et technologique remarquables, claires et stimulantes pour la réflexion critique. Si nous pouvions oser une suggestion à de futurs lecteurs désireux d'entrer dans le sujet, nous proposerions, pour des raisons de tactique pédagogique, de conduire la lecture dans l'ordre suivant : en premier le rapport de MM. Lorrain et Raoul sur le progrès médical, en second le rapport de M. Saunier sur les semiconducteurs, en clôture le rapport des Académies sur les fondements scientifiques des nanosciences et des nanotechnologies. En réussissant à retenir l'attention des lecteurs et en provoquant leur réflexion, ces textes vont les convaincre du rôle à venir, dans notre vie quotidienne, des architectures nouvelles de la matière que scientifiques et industriels vont élaborer. Puisque le champ des nanosciences et des nanotechnologies est amené à prendre une large place dans la vie de la société, nous regrettons que leur irruption dans le monde vivant (autre que le domaine de la santé), dans l'agronomie et la production de bionanomatériaux, dans la gestion de l'environnement et des territoires, dans la politique de défense et de renseignement des états n'ait pas été examinée. En effet les citoyens de demain (hommes libres, hommes télécommandés, hommes assistés, hommes réparés ou hommes augmentés grâce aux nanosciences) sont au cœur de ces trois rapports. L'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et techniques a certainement, s'il le souhaite, l'autorité pour mener les enquêtes complémentaires. Quant aux Académies, nous espérons que, le temps aidant, elles mettront en œuvre pour leur propre compte les recommandations d'interdisciplinarité qu'elles nous adressent.

Lire ces trois rapports est un plaisir et un réel enrichissement.