

## Avant-propos

# Le nanomonde : de la science aux applications



Jean-Louis Pautrat



Noël Magnéa

**Q**ui n'a pas entendu parler des nanotechnologies? En moins de quinze ans, ce thème s'est imposé comme un secteur majeur de la recherche, tant pour les sciences fondamentales que pour les applications. Il polarise investissements et intérêt des décideurs. Il n'est pourtant pas aisé de définir précisément ce nouveau domaine. Pour être bref, on pourrait dire que le thème "nanotechnologies" recouvre toutes les techniques de miniaturisation extrême qui permettent de fabriquer des objets, des composants, des systèmes dont les plus petites dimensions sont inférieures à 100 nanomètres, 1 nanomètre valant un milliardième de mètre ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ). Les nanosciences regroupent quant à elles l'ensemble des disciplines scientifiques qui permettent de comprendre et de prévoir les nouvelles propriétés résultant de cette miniaturisation ultime.

Le terme nanotechnologies a fait fortune. Il a même engendré toute une descendance dont le mot "nanomonde", qui occupe ce numéro de *Clefs CEA*, est un exemple. Tout a commencé avec le développement de la microélectronique, fer de lance et moteur de ces techniques. Les circuits électroniques sont constitués de transistors reliés par des fils conducteurs afin d'assurer des fonctions évoluées. À leur création, en 1947, les premiers transistors avaient des dimensions millimétriques et les circuits électroniques étaient volumineux. Progressivement, des assemblages de plus en plus complexes de transistors et de conducteurs ont été directement réalisés sur une même plaquette de silicium. Poussés par le désir d'en mettre de plus en plus sur un morceau de  $1 \text{ cm}^2$  environ, les dimensions les plus fines des transistors ont été progressivement

réduites par les ingénieurs jusqu'à n'être que de 1 micron dans les années 1980, puis de quelques dixièmes de micron (quelques centaines de nm) à la fin des années 1990. Le début du nouveau siècle a déjà vu la réalisation de circuits intégrés dont les plus petits détails sont inférieurs à 100 nm. En 2010, ils seront proches de 20 nm! Dans le même temps, il a été ainsi possible de réaliser sur une seule plaquette de silicium de seulement  $2 \text{ cm}^2$  de surface des microprocesseurs comportant plusieurs centaines de millions de transistors, bientôt un milliard! Les usines capables de les fabriquer coûtent chacune quelques milliards d'euros, tandis que, parallèlement, le prix de chaque composant fabriqué se réduit comme peau de chagrin.

En un demi-siècle d'évolution, la microélectronique, sortie du néant, est devenue l'industrie de la complexité, de la miniaturisation et des investissements gigantesques. Cette histoire va-t-elle se poursuivre et diffuser dans d'autres domaines de la technologie? La révolution vécue par les technologies de l'information et de la communication (TIC) va-t-elle se propager? La réponse à ces questions peut être recherchée dans un certain nombre d'enseignements tirés de l'histoire récente de la microélectronique. Une demi-douzaine de leçons ont ainsi pu être tirées.

**Leçon n° 1 :** faire plus petit pour fabriquer moins cher, plus fiable, plus rapide (le « *smaller, faster, cheaper* » des Anglo-Saxons). Le passage de techniques de fabrication individuelles à des techniques collectives permet de développer une production massive et de réduire fortement les prix de revient.

**Leçon n° 2 :** miniaturiser tout ce qui peut l'être. Toutes les fois que dans un processus de fabrication, de mesure ou d'analyse on manipule des objets immatériels ou très peu volumineux, on doit penser miniaturisation. L'information portée par des paquets d'électrons ou de photons en est l'exemple typique. Cette miniaturisation a révolutionné tant le calcul et la modélisation que la communication, sous toutes ses formes. Elle est attendue dans nombre d'autres secteurs, de la mesure de paramètres physiques à l'analyse chimique ou biochimique en passant par le marquage et la détection et la synthèse, là aussi chimique ou biochimique, de petites quantités de produits.

**Leçon n° 3 :** il faut apprendre à manipuler et à miniaturiser de nouveaux supports et de nouveaux milieux. Les matériaux magnétiques par exemple, pour créer de nouveaux types de mémoires vives ou de disques. Les fluides pour lesquels il faut créer une nouvelle science, la micro-, voire la nanofluidique, qui seront à l'œuvre dans les laboratoires sur puce ou les puces à ADN. Les molécules qu'il faut apprendre à recueillir et fixer sélectivement.

**Leçon n° 4 :** sciences fondamentales et technologies doivent se faire mutuellement la courte échelle. Ni science pure, ni technologie pure, la révolution nanotechnologique demande de nouveaux outils (microscopes, machines de fabrication...), mais aussi de nouvelles approches conceptuelles (que sera le transistor du futur? Comment se comportent les fluides

“ **Associer sciences fondamentales et technologie et faire naître de nouvelles applications tout en respectant les choix de vie de chacun.** ”

à l'échelle du nanomètre?...). Ignorer cet aspect de l'évolution des sciences contemporaines serait pour une large part se condamner à l'échec. Est-il bien raisonnable de vouloir encore rigoureusement distinguer les sciences fondamentales et les sciences appliquées? L'une et l'autre, plus que jamais, ne se nourrissent-elles pas mutuellement?

**Leçon n° 5 :** les différentes sciences doivent se rapprocher et collaborer. Physique, chimie, biologie, médecine, mécanique, etc., ont émergé du corpus des savoirs de l'honnête homme. En se complexifiant, elles se sont construites comme disciplines autonomes et parfois rivales. Le volume individuel des connaissances interdit certes à quiconque de posséder tous les savoirs, mais loin d'être concurrentes, elles doivent apprendre à coopérer. En effet, à l'échelle nanométrique, à celle des atomes et des molécules, les distinctions usuelles ne tiennent plus vraiment. Bien plus, il y a tant à attendre de l'informatique et de la biologie, de la médecine et des

microsystèmes, pour ne prendre que ces deux exemples, qu'il faut bien dès maintenant travailler à cette fécondation mutuelle des disciplines.

**Leçon n° 6 :** la révolution nanotechnologique génère des peurs à mesure qu'elle ouvre des perspectives. En proposant de transformer le monde social (multiplication des ordinateurs, accès à l'information et à la connaissance...), les nanotechnologies ouvrent sur un monde d'incertitudes. En convergence avec les techniques de la biologie et les sciences cognitives, n'ambitionnent-elles pas, selon certains protagonistes, « *d'améliorer l'humain* »? La science n'a pas trop bonne presse aujourd'hui. Alors comment démêler les perspectives réalistes et utiles des spéculations fumeuses, écouter les Pasteur et empêcher les Dr Folamour de nuire? Cette leçon

reste encore sous forme de questions. Questions posées aux spécialistes, certes, mais surtout interrogations portées devant la société tout entière: Dans quel monde voulons-nous vivre? Quelles techniques acceptons-nous?

Ce numéro de *Clefs CEA* se propose donc de faire le point, non pas sur la totalité mais sur de larges domaines des nanotechnologies, ceux auxquels les chercheurs du CEA contribuent depuis des années, souvent en jouant un rôle de premier plan. Le lecteur y retrouvera les préoccupations énoncées plus haut: associer sciences fondamentales et technologie, faire coopérer physiciens, électroniciens et biologistes, développer de nouveaux moyens d'analyse et de fabrication et, enfin, faire naître de nouvelles applications tout en respectant les choix de vie de chacun.

> **Jean-Louis Pautrat**

Conseiller scientifique de l'équipe projet Minatéc

> **Noël Magnéa**

Chef du Service de physique des matériaux et microstructures  
Département de recherche fondamentale sur la matière condensée  
Direction des sciences de la matière

*CEA centre de Grenoble*