

# Economie internationale des nanotechnologies et initiatives publiques

**Les nanosciences et nanotechnologies offrent d'intéressantes perspectives de compétitivité et d'utilité sociale, confortées par des initiatives publiques de grande envergure. Comment la carte industrielle mondiale des nanotechnologies se dessine-t-elle ? Assistons-nous à l'émergence d'une fracture submicronique ?**

par **Françoise Roure**,  
inspectrice générale, **DIGITIP**

**L**a maîtrise des nanotechnologies dans les vingt prochaines années constitue l'une des clés de la spécialisation internationale et de la compétitivité des grandes régions du monde pour le prochain demi-siècle. Le rythme de développement des nanotechnologies et leur incorporation progressive dans des biens et services marchands ou non constituent par conséquent un défi majeur.

Le façonnage de l'opinion publique par l'industrie mondialisée des médias, notamment le marché anglo-saxon de la science fiction, voile sans doute à tort, aujourd'hui, la réalité des choix qui sont assumés par les économies dominantes, et qui se traduisent par des politiques publiques d'accompagnement précises et richement dotées.

La problématique économique et sociale des développements scientifiques à

l'échelle sub-micronique offre un point de cristallisation durable de cette exigence, comme le manifeste d'ores et déjà la floraison de sites Internet recyclant des positions de type « anti-organismes génétiquement modifiés » dans les applications *présumées* nocives des nanotechnologies.

Une réponse réside peut-être dans l'espoir de trouver dans les nanotechnologies, du fait de leur potentiel d'économie d'énergie, de matière et de temps, des solutions sobres et propres pour un développement industriel durable.

Ce domaine *en cours de définition*, qui ne constitue pas un secteur ou une branche à part entière dans les tableaux d'échange interindustriels, n'échappe pas au triple critère des anticipations rationnelles, du bien commun et de la confiance, qui influence les choix de financement public. Les montants considérables

affectés aux nanosciences et nanotechnologies et leur croissance depuis 2001, s'ils ne constituent pas encore une *bulle spéculative*, témoignent néanmoins d'un pari élevé sur les effets de leurs applications sur une période de 15 ans et plus, que celles-ci se constituent ou non en filière économique d'entraînement.

Après avoir mis l'accent sur les principaux marchés issus des nanotechnologies, cet article propose un panorama des principales initiatives publiques d'appui au développement des nanosciences et leurs premières applications, dans un double contexte de foisonnement apparent des fonds publics et d'intérêt des investisseurs privés, à la recherche de nouvelles opportunités après la rectification boursière

mondiale subie par le secteur des technologies de l'information en 2001.

## Le fondement économique des politiques publiques

Les soutiens publics à la recherche et au développement civil des nanotechnologies s'élèvent approximativement à 3 milliards de dollars par an dans le monde, *non compris* les investissements en R&D relatifs aux systèmes microélectromécaniques (MEMS), dont les développements industriels récents utilisent pourtant, d'ores et déjà, des composants à l'échelle nanométrique. Avec le financement privé, l'effort mondial est estimé à 4 milliards de dollars en 2003, dont 1,2 aux USA. (1)

Schématiquement, l'Amérique, l'Asie et l'Amérique du Nord financent en 2003 un tiers chacun de cet effort.

Toutefois une analyse fine des budgets militaires viendrait considérablement chahuter cette harmonieuse répartition au profit, à court terme, des USA, et à moyen terme, de l'Est asiatique. Les applications civiles et de défense et sécurité sont inséparables en recherche fondamentale. Au niveau nanoscopique, celle-ci demeure non finalisée, à double usage potentiel. Le marché industriel et commercial qui sera engendré par la R&D en nanotechnologies reste à ce stade essentiellement indéterminé. Il résultera de l'intersection entre l'imaginaire et les compétences, le hasard et la nécessité... Il serait, selon la *National Science*

## Les applications civiles et de défense et sécurité sont inséparables en recherche fondamentale

(1) *NanoBusiness Alliance*, cité par « Des nanosciences au nanobusiness, une aventure américaine », Ambassade de France aux Etats-Unis, mission pour la science et la technologie, fiche d'information nov. 2002

Foundation, de 1000 milliards de dollars par an avant 2015, avec une répartition de 57 % pour l'informatique, 32 % pour les matériaux (340 milliards de dollars par an) et 17 % pour les sciences de la vie. (2) Il a été estimé par le groupe américain NanoBusiness Alliance à 45,5 milliards de \$ pour l'année 2002, tendant vers 700 milliards dès 2008.

Les domaines évoqués ci-après peuvent être pris séparément. Mais leur convergence à l'échelle sub-micro-

nique ouvre des perspectives insoupçonnées, aux effets bénéfiques qui doivent être nuancés en fonction des perturbations que l'industrie des nanotechnologies pourrait induire par accumulation de leurs effets sur une très longue période (cent ans et plus), ou *a contrario*, qu'elle est susceptible de limiter, voire d'éliminer. Ces domaines, parce qu'ils produisent des biens essentiellement intermédiaires, précèdent ainsi les marchés concrets, porteurs ou non d'utilité sociale. Les observateurs s'accordent à reconnaître que la *vitesse de maturation des marchés* sera très différente selon les segments visés, en tant que résultat des contrastes attendus dans l'évolution de l'offre et de la demande.

Les industries de l'information et de la communication supportent simultanément une double dynamique, avec des temps d'application variant de quelques mois, pour le processus constant de miniaturisation des semi-conducteurs, à quelques dizaines d'années en ce qui concerne l'approche *bottom up* (ordinateurs quantiques, adressage et communication entre objets infiniment petits).

Plusieurs géants industriels considèrent que la production à l'échelle nanométrique est d'ores et déjà la clé de leur survie dans la concurrence internationale, sachant que le marché de l'électronique fondé sur les nanotechnologies est estimé à 300 milliards de dollars par an à l'horizon 2010-2015.

Le groupe Sony a annoncé le 21 avril 2003 sa décision d'investir 1,5 milliards d'euros dans la fabrication de semi-conducteurs selon le procédé tech-

nique de 65 nanomètres sur des tranches de 300 mm. Les puces sont destinées à être utilisées dans son futur réseau mondial large bande pour les jeux vidéo et de loisir.

Dans sa communication financière publique à l'Autorité des marchés financiers (AMF) relative au premier semestre 2003, la société STMicroelectronics indique clairement aux actionnaires que son activité dépend de sa capacité de protéger sa technologie par des

droits de propriété intellectuelle. Elle coopère avec Motorola Inc. et Philips Semiconductors International BV pour la recherche et le développement commun d'une technologie CMOS avancée de 90 à 32 nanomètres sur tranche de silicium de 300 mm à Crolles (France), pour un investissement commun estimé à 1,5 milliards de \$. Une étape envisagée est le travail de plaquettes de silicium dites 8 pouces à l'échelle de 0,13 micron dans une unité de production de ST Microelectronics située à Rousset (Marseille).

A cet égard, il convient de noter que l'un des deux actionnaires de référence de ST Microelectronics, Finmeccanica, a annoncé le 23 mai 2003 un accord stratégique avec le groupe Carlyle dans le domaine de l'aéronautique de défense européenne, ce dernier reprenant 70 % de Fiat Avio, filiale du groupe italien qui fournit une partie des moteurs et les *boosters* à poudre de la fusée Ariane. Carlyle group, société non cotée en bourse, est aussi un investisseur dans le domaine des nanotechnologies. Son acquisition fait sens, sachant que le marché des biens aérospatiaux basés sur les nanotechnologies est estimé à une dimension annuelle de 70 milliards de dollars à l'horizon 2010. (3)

Élément essentiel de la fabrication des circuits intégrés, la lithographie représente une part croissante du coût de production. Les financements les plus importants dans la recherche en lithographie de nouvelle génération comme l'extrême ultra violet, la lithographie rayon X, par faisceau d'électron ou ionique, se font en *partenariat public-*

*privé*, avec un accent particulier sur l'EUV, qui pourrait s'imposer d'ici une dizaine d'années avec le passage des étapes technologiques 50 et 30 nm.

Des consortiums trilatéraux (USA-Asie-Europe) se sont formés dès 1999 dans la perspective de production d'outils de lithographie optique 157 nm d'ici 2003, manifestant clairement leur interdépendance dans les phases pré-compétitives. Le consortium Sematech, qui inclut AMD, Intel et Motorola entre autres, a passé un accord de recherche avec l'université d'Albany de l'Etat de New York, pour développer les infrastructures de lithographie EUV. Il a reçu un appui financier de 320 MUS\$ de l'Etat de New York, lequel a annoncé l'emploi de 530 personnes. La société Tokyo Electron Ltd y est associée et met en place en ligne de fabrication de composants électroniques de taille initiale de 45 nm.

## Demande publique et demande privée

*Le marché des biens intermédiaires* que sont les nanocomposants autres qu'électroniques est également en plein essor et fait l'objet d'une course internationale dans la recherche et la réalisation industrielle ; il a vocation à constituer un marché de masse. L'un des signaux précurseurs en ce domaine est le fait qu'au Japon apparaissent des brevets relatifs aux objets et usages de la vie quotidienne (cosmétiques par exemple), dont l'origine de l'invention provient de l'inclusion de nanocomposants.

*Le marché de la chimie*, qui dépend fortement de l'économie des brevets, est estimé dans ses applications nanotechnologiques, à 100 milliards d'US\$ à l'horizon 2010-2015.

*Les industries stratégiques* qui émergent des nanosciences, avec des degrés de maturation très contrastés, sont issues des convergences nanobiologique et nanoinformatique d'une part, et résultent de la fabrication et de l'intégration de nanocomposants non électroniques

(2) «The big down», ETC group 2002

(3) «Societal implications of nanoscience and nanotechnology», NSET Workshop report, National Science Foundation, mars 2001, p.3.

à des processus industriels classiques d'autre part.

Les futurs marchés reposant sur les *nanotechnologies végétales* se situent à l'intersection de la chimie, de la physique et de la biologie; ces dernières sont issues de la biologie structurale qui a pour objet d'organiser un continuum entre la biosynthèse, le catabolisme et la compréhension du comportement des systèmes moléculaires complexes. L'auto-assemblage et l'auto-organisation structurent ce domaine scientifique, qui reste à articuler avec la biologie cellulaire pour intégrer les notions de développement temporel et spatial d'un organe ou d'un tissu. (4)

Les *perspectives de sécurité alimentaire* à long terme ouvertes par l'apport des nanotechnologies à la chaîne alimentaire justifient sans doute un important investissement en ressources humaines pour couvrir l'ensemble du processus, de la recherche fondamentale à la gestion quotidienne des spéculations agricoles.

En ces domaines, la *problématique de la toxicité et de la pollution* induites par les nanoproductions mérite une approche scientifique et éthique rigoureuse. En effet, si celle-ci n'est pas correctement appréhendée en temps utile, elle peut rapidement incruster dans l'opinion publique une « vraie-fausse » idée des apports des nanosciences, et de la capacité des acteurs publics et privés de mettre en place une architecture réglementaire et physique de précaution et de gestion des risques industriels y afférent, qui soit effectivement assumée et transparente. L'Union européenne développe à cet égard une approche nouvelle pour les substances persistantes, bioaccumulatives et toxiques issues de la chimie, qui n'est pas spécifique aux nanoéléments, tout en prenant en considération les coûts additionnels de protection de l'environnement induits pour les industriels. Ainsi esquissés, ces marchés doivent être passés au crible de la segmentation pour identifier leur espérance et leur calendrier de développement réel.

Classiquement, les caractéristiques d'une courbe de *demande finale* sont conférées par les valeurs que les consommateurs attribuent aux biens ou services reposant sur la nouvelle tech-

nologie en tant qu'offre originale ou alternative, et selon les prix. Pour les applications des nanotechnologies, la courbe de demande semble devoir être *différenciée* dans la période de marché émergent selon qu'il s'agit d'acheteurs publics ou privés.

La demande publique peut précéder la demande privée. Elle peut la stimuler en « essuyant les plâtres » d'un apprentissage initial de biens et systèmes aux spécifications techniques très précises (pour les marchés de défense et de sécurité notamment), qui permet le retour d'expérience utile à la réduction des coûts et nécessaire à la mise au point de productions de masse. Ce type de demande présente un *coefficient d'élasticité-prix très faible*. (5)

Les acteurs de l'offre sélectionnent nécessairement, parmi les opportunités de mise sur le marché, les meilleures chances de rentabilisation des investissements consentis, à l'aide de segmentations multicritères des clients finaux qui guident les priorités et les aires de diffusion. Le calendrier et la segmentation de l'offre issue des nanotechnologies dépend par conséquent des anticipations des « lieux » où leur impact sera le plus fort quant au choix des acheteurs.

Le marché du sport est un exemple du comportement des acteurs de l'offre. Ainsi, une société française a réussi à capter en deux ans plus de 5 % du marché américain des raquettes de tennis en incluant dans sa gamme une structure rendue plus résistante par l'utilisation de nanotubes de carbone. Ce succès fait partie de l'argumentaire développé par le département du commerce américain pour justifier l'effort budgétaire demandé par l'administration Bush en faveur de la NNI en 2004 (cf. *infra*).

L'accessibilité des produits issus des nanotechnologies dépendra naturellement de l'évolution de leur prix, lui-même dépendant des coûts de production.

Le *coût de la production à l'échelle submicronique* tendrait à évoluer inversement à la loi de Moore, annonçant des concentrations géantes pour engranger les économies annoncées d'énergie et de matière. A titre d'illus-

tration, le coût d'une unité de fabrication des mémoires de masse et des microprocesseurs, de l'ordre du milliard de dollars au milieu des années 90, pourrait atteindre 5 milliards de dollars à l'horizon 2010, en tenant compte des mesures rendues nécessaires pour supprimer ou contenir les imperfections et contaminations environnementales à l'échelon nanoscopique (Crolles II est estimé à 3,5 milliards d'euros).

Le coût de la main d'œuvre sera fonction de l'investissement qui sera consenti dans la formation initiale

et continuée des ressources humaines, et il importe de préparer l'évitement de goulots d'étranglement en ce domaine crucial.

## Brevets et propriété intellectuelle

Quelle trame s'annonce-t-elle pour le *tissu industriel* des nanotechnologies ? L'observatoire des micro et nanotechnologies estime que 200 start-up ont été créées dans ce secteur depuis 1997, dont 60 % aux USA et 30 % en Europe dont 7 % françaises. (6) Elles côtoient des géants industriels de secteurs diversifiés. Les fonds de *venture capital* se développent dorénavant dans ce secteur, avec l'origine suivante : 207 M\$ pour les USA, 100M\$ depuis Israël, 30,1M€ au Royaume-Uni, 12,6M\$ en Allemagne. (7) Le démarrage des initiatives publiques en Asie, notamment en Corée du Sud, va modifier considérablement ces données relatives à court terme.

L'économie de rente sur la base des brevets et marques déposés sera un élément essentiel du niveau de retour sur investissements et du caractère écono-

(4) Note d'introduction aux nanotechnologies à partir de la question des organes végétaux», M-H BICHAT, section commune CGM-CGTI, janvier 2003.

(5) «An economist approach to analyzing the societal impacts of nanoscience and nanotechnology», I. Feller, The Pennsylvania State University, in NSF, cf supra

(6) <http://www.cea-technologies/ceahtml/microna-no59-601.html>

(7) «Nanotechnology opportunity report», Executive summary, Cientifica 2nd edition, juin 2003

miquement incontestable d'une production qui serait estimée industriellement stratégique. Or s'il est vrai qu'un élément dans sa forme naturelle ne peut être protégé par un brevet, le coût de la création reproductible d'une forme purifiée en vue d'applications industrielles peut justifier la propriété intellectuelle et sa protection.

Les brevets sont un signal précurseur du positionnement à venir des entreprises et des nations dans la concurrence internationale.

Aux Etats-Unis et en Europe, les statistiques de l'USPTO et de l'Office européen des brevets (OEB) montrent que l'origine scientifique des brevets de nanotechnologie est dispersée sur plusieurs sciences dont aucune ne domine. Les trois sources les plus importantes sont la chimie physique (21 % des brevets), la catégorie multidisciplinaire, reflétant concrètement la convergence (16 %) et la physique appliquée, les autres disciplines variant entre 2 et 8 %, dont la science des matériaux (4 %). (8) Au Japon, le nombre de brevets (au sens du *Japan Patent Office*) relatifs aux nanotechnologies est passé de 3900 en 1998 à pratiquement 6000 en 2001, dont 30 % déposés par des sociétés non japonaises en 2000 (L'Oreal, 3M, Procter et Gamble, IBM notamment), avec une forte concentration dans les matériaux nanostructurés, les dispositifs nanostructurés inorganiques, les corps nanostructurés à base carbone et organiques, les matériaux nanostructurés macromoléculaires et inorganiques, et les technologies fondamentales des nanostructures.

A titre d'exemple, les métalloènes sur lesquels reposent les nouveaux catalyseurs utilisés à l'échelle nanométrique dans la production des plastiques ont été brevetés par Dow

Chemical. Cette société a déposé 50 brevets aux USA et en Europe dans le domaine des interpolymères, protégeant ainsi des combinaisons de matière inconnues jusque là, ayant des propriétés commerciales uniques. Exxon Mobil dispose de 200 brevets relatifs à des catalyseurs de cette nature.

Ce bref aperçu des perspectives et enjeux industriels induits par les nanosciences et leur convergence, s'il contribue à apporter de la visibilité aux évolutions en cours aux non-spécialistes, ne doit pas pour autant masquer les incertitudes importantes dans lesquelles se situent les choix publics.

Selon M.C Roco (9), une trentaine de pays sont positionnés dans la course aux nanotechnologies en 2003.

Il convient par conséquent d'observer les grandes initiatives publiques potentiellement structurantes au plan mondial, et les processus d'accompagnement susceptibles de faire émerger des innovations industrielles significatives dans un contexte industriel mondialisé.

Mais face aux barrières capitalistiques élevées induites par la conjonction du coût de la R&D et de la croissance de coût des unités de production, il faut avoir conscience que toute tentative nationale publique d'acquisition volontariste d'une position compétitive, qui serait tentée à partir d'une position de marché marginale, semble vouée *a priori* à l'échec. Il n'y aura pas de rattrapage accessible financièrement et en termes de propriété intellectuelle (au sens anglo-saxon du terme) dans le domaine des info-bio-nanotechnologies dans les vingt prochaines années : il faut donc partir à temps.

## Les grandes initiatives publiques

L'Union européenne a pris la mesure de la course aux nanotechnologies dans son 6<sup>ème</sup> programme cadre en réservant 11 % de ce budget, soit 1,3 milliards d'euros pour la période 2002-2006, dont 700 M€ consacrés

à la recherche (contre 150 M€ dans le 5<sup>e</sup> PCRD). Le lancement d'une plateforme industrielle de nanotechnologie vise à réunir toutes les parties prenantes significatives du secteur dans l'UE.

Le Commissaire européen à la recherche, Philippe Busquin, a estimé que les financements annuels nécessaires à l'effort public et privé de R&D

en nanosciences et nanotechnologies devrait s'élever à un niveau compris entre 600 et 900 M€.(10) Les applications civiles visées concernent le stockage et la distribution d'énergie, la détection, les mesures et essais, les processeurs, les analyses biologiques et l'administration des médicaments, la robotique et le matériel prothétique.

Le premier appel à propositions du 6<sup>e</sup> programme-cadre de R&D comprend les nanotechnologies et nanosciences, les matériaux multifonctionnels basés sur la connaissance, et les nouveaux dispositifs de production ainsi que l'ingénierie de la fabrication des produits et des services en 2010. Il comporte un volet destiné aux PME en appui au développement de nouveaux produits et services à valeur ajoutée fondés sur la connaissance dans des secteurs industriels traditionnellement moins intensifs en recherche et développement technologique. (11)

Quelques projets sont emblématiques du potentiel des nanosciences : nous en citerons trois :

- *Polymer Micro Sensor Fab* (puce jetable pour des analyses d'ADN à faible coût); c'est un projet de pharmacogénomique, avec la recherche de l'extraction de l'ARN messenger d'un groupe de cellules ou d'une cellule isolée.

D'une manière plus générale, un marché en plein essor est celui des *capteurs et détecteurs* d'éléments environnementaux bactériologiques et chimiques sur la base de laboratoires sur des puces (*lab on a chip*), organisés en réseau, capables de transmettre les informations. La convergence joue ici pleinement, avec le développement des applications reproduisant les sens par des moyens électroniques: nez électronique, œil bionique, reproduction de données haptiques et mains artificielles.

- *Mesure des nanocourants* pour la réduction des courants électriques à

(8) «Linking science to technology, bibliographic references in patents» Project report Commission européenne, EUR 20492/1, décembre 2002, pp.93 à 95.

(9) «Government nanotechnology funding : an international outlook». M.C. Roco, National Science Foundation, June 30, 2003.

(10) Participation de P. Busquin à la conférence de presse du colloque «production durable: le rôle des nanotechnologies», 7 octobre 2002

(11) Cordis Focus 212



l'échelle du nanoampère nécessaire à la miniaturisation et à la réduction de la dissipation de chaleur dans les nanocircuits électroniques. Ce projet requiert la coopération de physiciens et de métrologistes.

Plus généralement, le groupe de haut niveau sur les mesures et les tests a recommandé à la Commission européenne, compte tenu des enjeux scientifiques, industriels et de souveraineté, de consacrer une part significative du budget du 6<sup>ème</sup> PCRD à la *nanométrie*, en appui sur les organisations Euromet, Eurachem, Eurolab et Euspen notamment, et le NIST américain. (12)

• *Nanorobots*. L'initiative Robosem, en partenariat avec 6 pays de l'UE, dont la France, est dédiée à la création d'outils de dimension submicronique capables d'assurer des fonctions d'assemblage indispensables à la production industrielle, en utilisant la technologie du microscope à balayage électronique qui pourra « voir » en temps réel l'objet et le module de préhension. Le robot sera logé dans la chambre sous vide du microscope. Les procédés actuels utilisent un microscope dont la résolution ne dépasse pas 400 nanomètres. Au sein du programme GROWTH, ce projet est doté de 5 M€ (13).

## Panorama des projets

L'Union européenne développe aussi des partenariats scientifiques avec d'autres pays, notamment avec la *Confédération helvétique* et la *Fédération de Russie*.

Le gouvernement et les organisations internationales ont été jusqu'en 1997 les principaux financeurs des nanosciences en *Russie*, avec l'intervention de laboratoires en réseau (Institut Ioffe de Saint Petersburg, Institut Lebedev et l'université d'Etat à Moscou, Institut des microstructures de Novogograd, institut de la physique des semi-conducteurs à Novosibirsk entre autres). (14)

La Fédération de Russie se préoccupe depuis 1998 de recycler elle-même les résultats issus de ses laboratoires de recherche, en favorisant la création de *start up* et une rémunération appropriée des inventeurs, en leur apportant une structure d'appui pour la protection internationale de la propriété intellec-

tuelle, le dépôt des brevets et la commercialisation des innovations, ainsi que l'accès aux principaux laboratoires publics de recherche appartenant à l'Académie des sciences. Les financements publics consacrés à ce domaine n'ont pas fait l'objet de publication récente.

S'alignant sur les pratiques de sociétés américaines telles que Zymex ou Calmech, une holding de *start-up* russes (15) dans le domaine des nanotechnologies a été constituée pour commercialiser d'ici 10 à 15 ans les premiers produits. Elle dispose en particulier d'un brevet protégeant la technologie de *quantum wire*, positionnée pour remplacer le moment venu dans les applications industrielles les techniques de lithographie utilisées dans la fabrication des microprocesseurs, ainsi que dans la composition des futurs ordinateurs quantiques.

L'Asie se caractérise par plusieurs initiatives publiques significatives dans le domaine des nanotechnologies.

C'est le Japon qui investit le plus (1,042 milliards de dollars en 2003 dont 388 millions dans la recherche compétitive), Ses axes prioritaires sont les technologies de l'information, l'environnement les sciences de la vie et les matériaux. Il dispose d'une avance technologique en particulier dans le domaine des techniques de nanofabrication et des matériaux nanostructurés. Parmi les thèmes de recherche à l'horizon 2020 figurent les techniques de cryptographie quantique avec des nanostructures, les nanos-usines chimiques utilisant des traitements de pointes en silicium, et la création de nouvelles matières à l'échelle nanométrique.

Le secteur privé s'est récemment adapté pour réduire le délai de commercialisation des résultats de la recherche. Le marché japonais des nanotechnologies est estimé à 163 milliards d'euros en 2010, les matériaux magnétiques pour les mémoires à haute densité en constituant la part la plus importante. (16) Parmi les marchés grand public, celui des cosmétiques incorporant des nanocomposants est déjà en phase de développement.

La Corée du Sud a planifié sur la période 2001-2010 un investissement public de 2 milliards de dollars, dont 19 %

sont affectés à un programme national d'industrialisation des nanotechnologies. Le programme relatif au développement des technologies de mécatronique et de fabrication à l'échelle nanométrique est doté à hauteur de 100 millions de dollars sur 10 ans. Nanopoudres, nanoparticules, nanocomposites, nanotubes, photocatalyse figurent parmi les orientations des *start-up* coréennes. Les grands groupes industriels tels que Samsung investissent pour réduire le temps d'accès au marché des produits incorporant des nanotechnologies.

La République populaire de Chine a lancé sa propre initiative publique dans le cadre du plan 2001-2005, les nanotechnologies bénéficiant d'une dotation de 300 millions de dollars. L'ambition à court terme consiste à incorporer les applications disponibles dans les processus de production des industries existantes. Les compétences de recherche appliquée devraient converger vers un site à Tianjin avec l'ouverture du centre « Nanotechnology Industry Base ».

L'effort public de soutien à la R&D et aux applications industrielles de Taïwan est estimé à 110 millions de dollars pour 2003.

## Les efforts des Etats-Unis

Les Etats-Unis d'Amérique ont fait des technologies numériques le vecteur porteur de leur spécialisation internationale. Au cœur de la vision de la dominance économique globale pour les années 2010 à 2020 se trouve la convergence NBIC (nucléaire biologique informatique et cognitive) des nanosciences. Celle-ci est supposée

(12) «The need for measurement and testing in nanotechnology» HLEG on Measurement and testing, in Position paper, Danish Institute of fundamental metrology, 26 février 2002.

(13) Sergei Fatkov, «Nouveau projet de conception d'un robot à l'échelle nanoscopique» Handelsblatt, 18 octobre 2002, in BE Allemagne n°117 –Brève réf.ADJIT 11018

(14) "Funding of nanotechnology in Russia" sept. 1999. Voir : in [http://www.wtec.org/loyola/nano/Russia/01\\_03.htm](http://www.wtec.org/loyola/nano/Russia/01_03.htm)

(15) groupe Sceptre, cité par Hugh Casey, Los Alamos National Laboratories, in <http://www.onrifo.navy.mil/reports/2001/FINAL.htm>

(16) Mutsibishi Research Institute, cité in « Nanotechnologies et électronique moléculaire au Japon », Service pour la science et la technologie de l'Ambassade de France à Tokyo, 4 mars 2002, 64 p.

déboucher sur des schémas comportementaux humains et d'interaction entre les objets et les hommes reposant sur des processus inédits d'auto-assemblage, de répllication et de communication systémique. Nous ne savons pratiquement rien de ces schémas car ils dépassent tout simplement nos facultés d'imagination ou flirtent dangereusement avec l'amélioration des performances humaines...

Une vision prospective est celle de la production industrielle d'avatars qui peuvent prendre l'apparence et adopter une attitude humaine dans un environnement en trois dimensions, utilisables sur écran ou sous forme d'hologramme, en particulier capables d'enseigner et d'entraîner. (17)

Cette vision, certes futuriste, est explicitée dans un appel à propositions de la DARPA du 23 juin 2003 sous le nom de programme *LifeLog*. Le document administratif correspondant décrit la vision de long terme du bureau de la technologie du traitement de l'information (IPTO) de cette agence, relative à une nouvelle génération de systèmes réellement cognitifs, se traduisant dans tous types d'assistant (personnel, médical, financier et d'enseignement). (18) Élément illustrant la convergence des nanosciences, le contrôle de l'information biométrique est au cœur de l'industrie de la biométrie, dont le marché est estimé à 2,7 milliards de dollars. A cet égard, le *National biometrics security project*, dont la création a été annoncée dans l'Etat de Virginie, bénéficie d'un soutien public de 20 millions de dollars.

Dans le domaine militaire, la dotation globale de la DARPA pour le soutien au développement des nanomatériaux, nanosciences et techniques associées est estimée en 2004 à 445 millions de dollars, l'orientation de convergence NBIC étant affirmée. L'*Institute for soldier nanotechnology* (19) a été créé en mars 2002 avec un budget de 50 millions de \$ auprès du Massachusetts Institute of technology (MIT). Outre les préoccupations de moindre vulnérabilité et de meilleure récupération, la réduction drastique du poids et la disponibilité illimitée en énergie sont deux volets majeurs des applications recherchées.

L'initiative nationale civile en faveur des nanotechnologies (NNI) prend politiquement appui sur l'utilité sociale de leurs applications dans une perspective de développement durable. Elle met en particulier l'accent sur le potentiel de réduction d'émission de CO<sub>2</sub> de 200 millions de tonnes par an qui serait rendue possible par la généralisation des nanotechnologies dans les processus industriels produisant ou consommant de l'énergie.

A titre d'exemple, la société Nanocrystal Imaging installée près de New York est parvenue à modifier des atomes de phosphore pour augmenter leur émissivité de lumière visible. Les nouveaux nanophosphores permettraient de commercialiser des ampoules électriques capables de transformer près de 100 % de leur énergie en lumière (contre 5 % par les filaments de tungstène actuels), constituant ainsi un gisement considérable d'économie d'électricité allant de 25 % de la consommation électrique des ménages américains, à plus de 80 % dans des pays moins développés. (20)

L'intervention du gouvernement fédéral en 2004 au titre de la NNI devrait s'élever à 847 millions de \$ dont 197 millions attribués au département de l'Énergie, en progression de 48 % par rapport à l'année fiscale 2003, et 222 millions au département de la Défense. A ces financements s'ajoute l'apport du capital-risque estimé à 425 millions de dollars en 2002. (21)

Point fort de l'initiative publique, les objectifs interagences de recherche civile sont mis en cohérence auprès du *National nanotechnology coordination office* (NNCO), selon un mode d'organisation interministériel éprouvé dans le domaine des sciences et technologies de l'information et la communication. Les synergies sont facilitées du fait même de la structure de vote des moyens budgétaires qui a lieu par programme, la dotation budgétaire de chaque agence concernée étant précisément décrite dans un seul et même acte législatif.

Les effets de la guerre contre le terrorisme sont perceptibles dans la forte croissance du financement des applications de sécurité. Entre autres, il convient de noter l'offre emblématique du produit VeriChip (22) par une filiale de la société Applied Digital Solutions pour un abonnement de 10 dollars par mois en février 2002 après paiement de l'implant sous-cutané commercialisé à 200 dollars. Ce produit a fait figure de *précurseur* pour des prolongements et usages volontaires, ou à l'insu, ou *innommés* tels que le marquage destiné à éviter la contrefaçon par usage d'« étiquettes » à nanoimplants, ou l'inclusion de nanocomposants dans les instruments de paiement à support non dématérialisés.

La dotation du département de l'agriculture dans le cadre de la NNI passe de 1 à 10 millions de dollars entre 2003 et 2004, marquant ainsi la reconnaissance de l'émergence de cette problématique. Dans le domaine alimentaire, les nanotechnologies constituent une arme paradoxale. En effet, elles peuvent comporter une problématique de type OGM, mais également contribuer à la résolution économique et sociale de sujets majeurs en terme de santé publique.

La Rutgers University (NJ, USA) a recruté le premier professeur de nanotechnologies alimentaires pour développer le champ des aliments *nutriceutiques*, capables d'utiliser des protéines pour distribuer des médicaments à des zones

### Les effets de la guerre contre le terrorisme sont perceptibles dans la forte croissance du financement des applications de sécurité

(17) "Visionary projects. The communicator: enhancement of group communication, efficiency, and creativity" Philip Rubin, Murray Hirschbein, Tina Masciangioli, Tom Miller, Cherry Murray, R.L. Norwood, John Sargent, in NSF, cf. supra

(18) LifeLog BAA 03-30, DARPA IPTO, in <http://www.darpa.mil/ipto/solicitations/open/03-30-PIP.htm>

(19) Workshop on nanoscience for the soldier, in <http://aro.army.mil/phys/Nanoscience/section2.htm> "Army teams with MIT to establish Institute for Soldier Nanotechnology", in: <http://www.dtic.mil/armylink/news/mar2002/r20030313r-02-011.html>

(20) "Les industriels américains misent sur la percée des nanotechnologies", Michel Kitareff, Palo Alto, Les Echos, 20 janvier 2003

(21) Etude Venture Economics, citée dans "Synthèse nanotechnologies: environnement international", Yole Développement, 17 septembre 2003, 30 p.

(22) <http://adsx.com/faq/verichipfaq.html>

prédéterminées du corps humain. Ce champ de recherche a des incidences potentielles sur les neurosciences et leurs applications dans la mesure où l'association de particules de 65 à 200 nanomètres à un médicament peut accroître les effets de ce médicament sur des zones cibles du corps, notamment le cerveau. Il est d'ores et déjà associé dans l'opinion publique à la forte utilité sociale attendue de la limitation des handicaps induits par la maladie d'Alzheimer.

Face au potentiel considérable que représente l'engagement public américain dans la R&D, il convient toutefois d'observer que moins de 500 000 dollars, sur les 700 millions de \$ de la NNI au titre de l'année fiscale 2003, sont consacrés à l'étude des impacts environnementaux des nanotechnologies. Or ces études sont nécessaires au plan mondial pour servir de fondement aux réglementations relatives à la gestion des risques. Les industriels eux-mêmes ont pris des initiatives en ce sens: la société américaine DuPont a pris l'initiative d'ouvrir un champ de recherche sur les impacts environnementaux de la dissémination et de la gestion des déchets comportant des nanoéléments industriels.

## Vers une « fracture sub-micronique » ?

Le panorama nécessairement succinct des grandes initiatives publiques visant à favoriser le développement des marchés fondés sur les nanosciences et technologies nous conduit à conclure que nous sommes d'ores et déjà parvenus à une mondialisation de la recherche et des développements civils présentant un intérêt économique et social certain, avec des applications commercialisées qui vont des marchés grand public aux domaines de la sûreté, de la sécurité et de la défense.

D'autres économies structurent leur propre démarche en prenant appui sur les caractéristiques de leur spécialisation internationale d'aujourd'hui, au premier rang desquelles figurent *l'Inde, le Brésil, l'Australie, le Canada et le Mexique. La Thaïlande, la Malaisie, Singapour, et l'Afrique du Sud* ont éga-

lement lancé des programmes nationaux et affiché une ambition importante dans ces domaines. De nombreux sites Internet officiels offrent au chercheur les éléments de comparaison utiles. En France, c'est également le cas bien qu'il n'existe pas encore de site «portail» interministériel, ce qui diminue la lisibilité de la cohérence d'ensemble de l'action publique aux yeux d'un observateur étranger.

Toutes ces initiatives sont appelées à des phases de coopération précompétitive suivies d'une intense concurrence. Les nations devront opter classiquement entre 3 scénarii : de dominance, de croissance faible ou de spirale de déclin selon le degré d'acceptation politique et sociale des avancées scientifiques, et de maîtrise atteint dans la gestion des risques industriels induits par les nanoéléments et leur inclusion dans des processus de production. Les choix politiques européens, parce qu'ils reposent sur une citoyenneté affirmée et un marché unifié de consommateurs attentifs, sont considérés outre-Atlantique comme le pivot susceptible de faire basculer l'économie mondiale dans l'un ou l'autre de ces scénarios.

La disponibilité et la qualité des compétences sont des facteurs déterminants dans la capacité de réalisation d'objectifs industriels. Elles feront l'objet d'une lutte d'influence pour capter les meilleurs talents dans une logique multidisciplinaire. Les nanosciences sont naturellement le point d'application de la convergence pluridisciplinaire, impliquant des équipes ad hoc formées d'électroniciens, de chimistes, de biologistes, de spécialistes des matériaux, de la micromécanique ou de la métrologie, déjà en place dans des universités américaines californiennes comme Berkeley ou Caltech, sur la base de financements civils et militaires considérables. Les cultures occidentale et asiatique ne sont pas interchangeable en ce domaine, les premières semblant évoluer, à ce stade, plus vite vers la levée des barrières cloisonnant les disciplines académiques. Mais pour combien de temps ?

Si la perception des nanotechnologies devait être considérée comme a priori dangereuse par les acteurs de la recherche, reflétant alors une opinion

publique peu ou dés-informée, des difficultés surgiraient dans la formation initiale et le recrutement des acteurs de l'offre.

Au sein du bloc occidental, l'analyse n'est d'ailleurs pas homogène. Selon un rapport du Parlement européen, il existe un décalage important et persistant entre la publicité faite en faveur des disciplines scientifiques des nanotechnologies d'une part, et le fait que ces dernières restent perçues comme ayant peu de chances d'influencer le quotidien des citoyens dans un proche avenir d'autre part (23). Cette publicité elle-même est beaucoup plus importante auprès des chercheurs aux Etats-Unis qu'en Europe, créant ainsi les conditions de l'émergence d'une *fracture submicronique* annoncée.

En conclusion, l'économie industrielle internationale des nanotechnologies, dans sa diversité, est en marche. Elle mérite que des investissements intellectuels majeurs soient faits pour observer d'abord, analyser ensuite, recommander enfin, une politique publique dans un domaine où la nature des applications et les espoirs soulevés en terme d'utilité sociale, mais aussi la meilleure connaissance des risques industriels induits, la légitiment amplement.

Un observatoire économique et social des nanotechnologies pourrait utilement être mis à disposition des décideurs publics ainsi qu'auprès de l'exécutif de l'Union européenne pour appréhender l'impact des avancées scientifiques et du comportement des acteurs. Il en va de la qualité de l'intelligence économique en ce domaine, mais aussi de celle de l'évaluation des politiques publiques.

Celles-ci devraient se concentrer, entre autres, sur une gestion éclairée de l'évolution des technologies, sur l'apprentissage social et l'appréhension scientifique des risques, et sur l'évitement d'un processus macro-économiquement régressif qui serait provoqué par une opinion publique fondée sur des peurs et des croyances, à défaut de

(23) " Les développements nanotechnologiques en Europe", note d'information. Dr. Steven Dunn, STOA, évaluation des choix scientifiques et techniques. Parlement européen, PE n°.204-avril 2002

pouvoir disposer de faits objectifs  
accessibles à tous. ●