

# Le soutien des pouvoirs publics aux nanotechnologies

**La définition des nanotechnologies est encore très floue. Selon qu'on la limite à l'utilisation d'objets de dimensions nanométriques ou qu'on l'étende aux technologies issues des comportements typiquement nanométriques de la matière, le champ couvert varie souvent du simple au centuple en termes d'industrie (1). Même s'il peut être étonnant de consacrer un article à un sujet aussi mal défini, le parti pris ici n'est pas tant de tenter une définition d'exégète que de décrire, dans les champs qui sont connexes ou dans le cœur du sujet des nanotechnologies, les principales tendances et lignes de force qui se dégagent.**

**par Ivan Faucheux,  
Philippe Parmentier,  
Gilles Le Marois**

**L**es crédits publics consacrés aux nanotechnologies en France atteignent 218 M€ en 2002, hors microélectronique. Ils sont essentiellement alloués par le ministère de

l'Économie, des Finances et de l'Industrie (Minéfi) et le Ministère délégué à la Recherche et aux Nouvelles technologies (MRNT), mais également par la DGA et l'Anvar.

Ces crédits 2002 sont ainsi répartis: 30 M€ pour les grands programmes, 30 pour les réseaux d'innovation, 88 via les instituts de recherche, dont 73 pour le CEA et 15 pour le CNRS, 20 (2) pour la DGA, 50 pour des projets soutenus par l'Anvar et associant les PME.

La politique des soutiens publics du ministère délégué à l'Industrie a pour objectif de renforcer la compétitivité de l'industrie française au travers de la R&D et de l'innovation. Dans une économie de plus en plus ouverte et globalisée, la défense de l'industrie européenne doit passer par une plus grande offensive en termes de R&D. La comparaison avec les autres grands pays, et plus particulièrement les États-Unis, ainsi que les objectifs fixés au niveau communautaire par le sommet de Lisbonne, semblent indiquer que le grand défi pour atteindre un niveau de R&D et d'innovation suffisants pour sécuriser les implantations industrielles françaises passe par une plus grande part de R&D des entreprises.

## Partenariats public-privé

Les crédits du ministère délégué à l'Industrie interviennent typiquement dans trois cadres :

- Les programmes nationaux, dont l'exemple est le programme Nano 2008 sur le site de Crolles dans le domaine de la microélectronique. Un tel programme a pour ambition, sur une thématique donnée, de placer la France, et plus largement l'Europe, parmi les lieux

d'excellence dans ce domaine, en s'appuyant sur un projet industriel d'envergure mondiale. Ces programmes s'inscrivent dans un partenariat fort avec les collectivités locales, compte tenu de l'enjeu territorial de telles interventions.

- Les réseaux de recherche et d'innovations technologiques, en lien avec d'autres organismes institutionnels, et plus particulièrement le MRNT, la DGA et l'Anvar. Ces réseaux ont pour mission principale de susciter des projets collaboratifs entre recherche publique et

recherche privée, et d'assurer une expertise scientifique et technique sur ces projets. Les réseaux micro-

nano-technologies (RMNT), matériels et procédés (RNMP) et GenHomme sont particulièrement concernés par la recherche et l'innovation dans le domaine des nanotechnologies. Le RMNT a ainsi soutenu, entre 1999 et 2002, 119 projets de recherche dont 51 ont reçu un financement pour un budget sur 4 ans estimé à 43 millions d'euros. Ces projets sont fortement coopératifs, avec 5 partenaires en moyenne par projet. Les partenaires (3) sont à 46 % des laboratoires de recherche publics, 24 % des PME, 17 % des groupes industriels et 13 % des EPIC (4) :

- Les *clusters* Eurêka, qui sont des programmes pilotés par les industriels, sur la base d'une *roadmap* technologique définie conjointement par ces derniers,

(1) Le poids de la microélectronique et des micro-systèmes étant, à cet égard, conséquent.

(2) Estimation qui reste à valider.

(3) Ministère de la Recherche : Rapport sur les Réseaux de recherche et d'innovation technologique - Bilan au 31 décembre 2002.

(4) EPIC : établissements publics à caractère industriel et commercial.

et qui associent des PME et des laboratoires publics sur des projets de grande ampleur. Ces projets sont ensuite financés par chacun des Etats concernés. A titre d'exemple, le programme Medea+ en microélectronique a associé, à ce stade, 16 pays et 226 partenaires, dans le cadre de 38 projets. Ces derniers représentent un effort total de plus de 11 000 personnes par an (soit, en moyenne, 300 hommes par an par projet). Les partenaires sont à 30 % des grandes entreprises, à 32 % des laboratoires publics et à 38 % des PME. Ces programmes ont pour objectif de favoriser, sur la base de projets identifiés et expertisés, des collaborations entre industriels et laboratoires publics. Ces collaborations doivent permettre de développer, au sein de l'industrie française, des nouveaux produits et procédés, et de développer les capacités d'innovation de ces entreprises pour leur permettre d'être compétitives. Complémentaire de l'allègement de l'environnement fiscal qui bénéficie de façon générale à l'innovation, au travers des plans Innovation, l'intervention directe permet dans certains secteurs stratégiques de renforcer la capacité de R&D de ces derniers.

**Le projet de recherche « Crolles II », qui concrétise cet accord, se concentre sur le cœur numérique des futurs systèmes sur puce, qui sera commun aux trois entreprises**

Le MRNT a lancé le grand programme « Nanosciences » dans le but de dynamiser la position de la France au niveau mondial dans le domaine des nanosciences et nanotechnologies et mieux coordonner les actions dans ce domaine. Une allocation de subventions de 50 millions d'euros devrait être allouée au total en 2003 pour soutenir leur développement. Ce programme poursuit 3 objectifs :

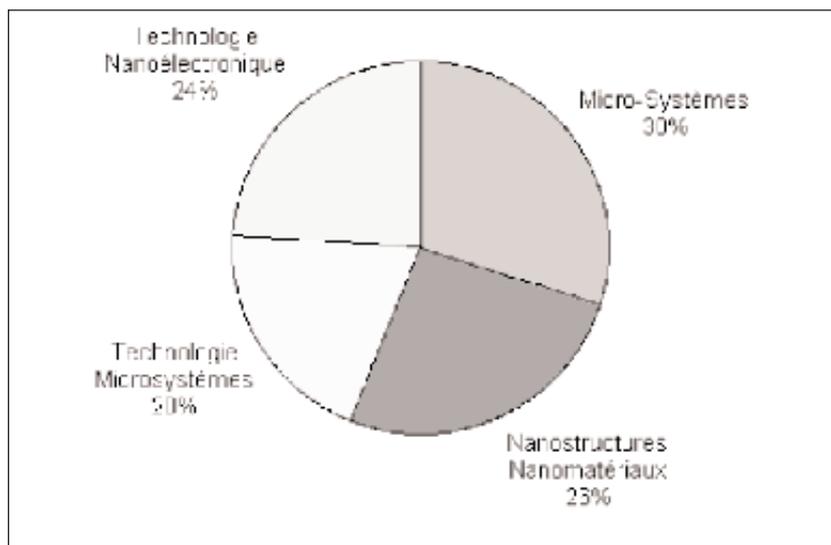
- Soutenir des activités de recherche dans le cadre de projets de recherche ou projets intégrés sur les nano-sciences et nano-technologies (12 millions d'euros),
- Développer quatre grands centres de compétences (Minatec Grenoble (5), Laas Toulouse, IEMN Lille, IEF/LPN Paris) ayant une taille critique compétitive à l'échelle mondiale et permettant la mise en commun d'équipements pour des projets « amont » et l'accueil de scientifiques (30 millions d'euros).
- Promouvoir le développement de *clusters* au travers d'activités de recherche multi-disciplinaire à l'échelle locale, pour la diffusion des connaissances vers les PME/PMI. 8 centres spécifiques qualifiés au titre des nanotechnologies apporteront un soutien de proximité (8 millions d'euros).

La France jouit également du rayonnement de certains centres scientifiques, tout particulièrement le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) et le Centre national de la recherche scientifique (CNRS), qui se sont forgé une réputation internationale de premier plan dans le domaine des nanotechnologies (6).

Les fonds français sont entre autres le résultat d'une coordination mise en place en 2002 entre le MRNT, le CEA et le CNRS et d'une action concertée multidisciplinaire d'un montant de 10 millions d'euros. En janvier 2002 et à l'initiative du CEA, un pôle d'innovation en micro et nanotechnologies (Minatec) a été installé à Grenoble qui a pour vocation finale de devenir le centre européen de la recherche dans ce domaine.

**Un des tout premiers pôles mondiaux**

L'industrie des semi-conducteurs est stratégique pour l'ensemble des pays développés: au cœur des produits et services de la société de l'information, elle joue un rôle central dans la maîtrise des nouveaux systèmes et équipements. Dans des domaines tels que les télécommunications, le multimédia, l'automobile ou les cartes à puces, la valeur ajoutée migre d'une part vers les systèmes sur puces et d'autre part vers le logiciel embarqué. L'importance stratégique de la maîtrise technologique dans les semi-conducteurs, la concentration en cours du secteur, les atouts français et le rôle clé de la R&D ont fait que la consolidation du potentiel français de R&D dans les semi-conducteurs, et notamment dans les systèmes sur puces, est un enjeu décisif pour notre pays. Le Minefi consacre à ces thématiques près de 130 M€ par an. Dans ce domaine, les projets soutenus par le Minefi s'appuient sur une politique définie au niveau national et déclinée sur des grands pôles d'excel-



**Répartition des projets labellisés par le Réseau micro-nanotechnologies depuis sa création en 1999.**

(5) Petit déjeuner de presse " Les nanomatériaux au CEA ", 25/03/03, <http://www.cea.fr/ir/presse/dossiers/DOSSIERnanomatériaux.pdf>.

(6) AFIL Japon Newsletter, n° 103 janvier-mars 2003, Spécial Nanotechnologies : " La France met le cap sur les nanotechnologies ", Invest in France Agency

lence territoriaux. Le premier d'entre eux, par son ampleur et son intérêt stratégique, est le pôle de Crolles. Sur ce projet, Motorola, Philips et STMicroelectronics ont annoncé, en avril 2002, leur volonté de joindre leurs efforts à Crolles, dans la région de Grenoble, pour y construire l'un des tout premiers pôles mondiaux de R&D en microélectronique. La décision de Motorola d'implanter à Crolles une part importante de son potentiel de R&D dans les semi-conducteurs, auparavant située à Phoenix (USA), est particulièrement significative de cette volonté. Le projet de recherche « Crolles II », qui concrétise cet accord, se concentre sur le cœur numérique des futurs systèmes sur puce, qui sera commun aux trois entreprises. Reposant sur la construction d'une ligne de production pilote, il portera sur le développement des futures filières nanoélectroniques, avec des dimensions critiques de quelques nanomètres (1 millième de micron) et sur des plaquettes de silicium de grande dimension (300 mm). Ces technologies correspondent à une réduction d'un facteur proche de 4 des dimensions des technologies les plus avancées à ce jour. Le montant global des investissements en capital s'élèvera à 1 585 M€ d'ici 2005, avec des perspectives d'accroissements le portant à plus de 2 250 M€ d'ici 2007. Ce montant fait de cette opération le plus gros projet industriel en France des dix dernières années. A cela s'ajoutent des dépenses de R&D prévues pour dépasser 1 250 M€ d'ici 2007. Avec un montant total d'investissement prévu de plus de 3 500 M€ jusqu'en 2007, le projet Crolles II devrait permettre la création de plus de 1 500 emplois directs et d'environ trois fois plus d'emplois indirects dans la région. En outre, la synergie entre les activités de R&D et la ligne de production pilote de 300 mm permet d'ancrer durablement sur le territoire national un pôle de compétences de rang mondial dans le domaine des semi-conducteurs.

Les autres grands pôles qui se développent territorialement sont :

- la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur, sur le thème des objets communicants sécurisés, avec les opérations du

**Dimensions critiques attendues pour le cœur numérique, pour les familles de produits et dimensions critiques associées (en nanomètres)**

Année de production	2004	2005	2006	2007	2010	2013
DRAM (1/2 point)	90	80	70	65	45	32
Microcontrôleur (1/2 point)	90	80	70	65	45	32
Microcontrôleur (largeur de grille)	53	45	40	35	25	18

centre intégré de microélectronique, et des grands acteurs locaux du secteur ;

- l'Île-de-France, dans le domaine des technologies magnétiques, et notamment des mémoires sur base de ces technologies (MRAM) ;

- l'électronique de puissance, qui se développe sur la Basse-Normandie, la région Centre et la région Midi-Pyrénées, en cours de structuration.

L'intervention du Minefi, au-delà d'une intervention en soutien, se fait en lien avec les collectivités locales. C'est une émergence de pôles locaux, territorialement ancrés, et permettant de consacrer une excellence mondiale.

En complémentarité de ces pôles locaux, l'intervention via les clusters Eurêka (Medea, Pidea et Eurimus dans les domaines des technologies silicium, de l'interconnexion & *packaging*, et des microsystèmes respectivement) permet d'asseoir des liens entre ces pôles et les grands acteurs européens du secteur (industriels et laboratoires publics). Cette construction d'une intervention à deux étages (un niveau territorial, un niveau européen de construction d'un espace industriel d'excellence dans le domaine de la R&D) permet de tirer parti des ressources locales, et du bénéfice des collaborations européennes.

## Poursuivre la miniaturisation

La complexité croissante des fonctions numériques exige la poursuite des efforts déjà engagés dans le cadre de la *roadmap* internationale ITRS (loi de Moore). A l'horizon 2010, ceci implique que les transistors fabriqués soient en technologie 32 nm et en-deçà. Si aujourd'hui, un composant peut rassembler jusqu'à 1 milliard de transistors, l'enjeu est de pouvoir réaliser en 2010 des transistors au moins 16 fois plus puissants et complexes. Le programme Medea+ vise à accompa-

gner cette évolution en abordant les points critiques aujourd'hui identifiés que sont notamment les matériaux (passage au SiC, SiGe, ...), les architectures des transistors et les technologies de fabrication (notamment la lithogravure, avec le passage de techniques par faisceau d'électrons. La maîtrise également des technologies futures dans le domaine des mémoires enfouies (MRAM notamment) doit permettre de compléter le cœur numérique par des fonctions de stockage fiables et concentrées. Les dimensions critiques attendues pour ce cœur numérique sont, pour les familles de produits et dimensions critiques associées, énoncées dans le tableau ci-dessus (en nanomètres).

Afin d'obtenir des systèmes complexes, intégrés et miniaturisés, il sera nécessaire :

- de réaliser le *packaging* des cœurs numériques développés dans le cadre de Medea+, ainsi que l'assemblage et l'interconnexion de ces cœurs numériques avec d'autres composants (composants passifs, microsystèmes, batteries, antennes,...) : c'est l'enjeu du programme Pidea.

- de relier ces systèmes avec le monde réel : c'est l'objet des microsystèmes qui assurent à la fois des fonctions de capteur (pression, accélération, rayonnement, analyse chimique, analyse biologique,...) ou d'actionneur (têtes d'imprimantes à jet d'encre, têtes de lecture/écriture de disques durs, micro-miroirs mobiles,...) : c'est l'enjeu du programme Eurimus.

Les projets de R&D collaborative entre les laboratoires publics et le secteur privé sont soutenus au travers des Réseaux de recherche et d'innovation technologique (R2IT).

En ce qui concerne les sciences du vivant, plusieurs réseaux se sont créés dans les années 1999-2000, pour une durée de cinq ans, avec un fonctionnement indépendant, et des financements assurés par les ministères participants

(Recherche, Industrie, Agriculture, Environnement).

Dans ce cadre, le réseau GenHomme (Génomique Humaine) est co-géré par le MRNT/DT et le Minefi/Digitip.

Sur la période 2000-2003, environ 78 projets ont obtenu un «label» garantissant l'excellence scientifique et la pertinence des projets de R&D. Parmi ces projets, certains concernent des applications relevant des outils liés à la génomique, la protéomique ou les cellules biologiques.

La nano-biotechnologie est représentée par deux types d'applications : la manipulation de nano-objets ou de nanovolume, et la nano-structuration.

La manipulation de nano-objets consiste à intégrer le prélèvement biologique (ADN, protéine, sérum, cellule, etc.) dans un environnement «intelligent», adapté au type d'expertise à réaliser (hybridation sur substrat, détection optique à l'aide de fluorophore, étude et suivi de population cellulaire par microscopie optique, microscopie par force atomique, ...).

La manipulation de nanolitres de liquide nécessite des développements dans le domaine de la fluidique, et la maîtrise des surfaces (hydrophile/hydrophobe).

La nano-structuration concerne plutôt le transport, le conditionnement, la localisation de produits actifs dans les milieux vivants : ces produits sont principalement des molécules chimiques et des protéines.

Le couplage de ces éléments avec, soit des polymères nano-structurés (amélioration de la dissolution en milieu physiologique, pour l'insuline par exemple) ou le couplage avec des traceurs pour l'imagerie (radiopharmacie,...) sont autant de projets de R&D qui présentent un caractère industriel, et procurent des avancées significatives en diagnostique et traitement médical.

## Le domaine des matériaux

Ce domaine est transversal au monde industriel et se situe souvent en amont d'innovations majeurs (nano-tubes de carbone pour les TIC, l'énergie, la santé...). Les projets de recherche coopérative sont essentiellement soutenus au travers des réseaux RNMP (réseau national des matériaux et pro-

cédés), RMNT et des appels d'offres européens, les financements publics français étant assurés par les ministères de l'Industrie et de la Recherche, la DGA et l'Anvar.

Par ailleurs une réflexion est en cours dans le cadre de l'initiative Futuris, afin d'identifier les (nano)technologies considérées comme clés pour nous, sur la base d'un état des lieux des initiatives et perspectives en France et dans le monde, hiérarchisées en fonction :

- de leur degré de maturité,
- du risque scientifique et technique que comporte leur développement,
- de leur enjeu économique
- de nos atouts (ou faiblesses) dans ce domaine et de notre positionnement sur les marchés visés.

En première analyse (qui mériterait d'être systématiquement étayée en suivant la démarche proposée ci-dessus) et sur la base d'études de marchés convergentes, les perspectives commerciales des matériaux concernent :

- à court terme, le domaine des transports (nano-composites pour l'allègement et le renfort des structures), la cosmétique et la santé (nano-poudres pour écrans UV, pour la pharmacie, nano-biocapteurs), les équipements de caractérisation, de contrôle et la chimie (surfaces nano-structurées pour capteurs, pour catalyse). La France se doit de jouer un rôle de premier plan dans le développement de ces technologies, compte tenu de l'excellence de nos entreprises dans la plupart de ces domaines.

- à moyen terme, le secteur des TIC (nanotubes, fullerènes, nanocristaux pour circuits, écrans, nanolithographie), de la santé (nanosystèmes, nano-composants pour diagnostique, pharmacie) de l'énergie (PAC, stockage), de l'agroalimentaire et du bâtiment (nanocomposites). Compte tenu de l'importance stratégique de ces domaines fortement concurrentiels, il importe de bien se positionner et développer les alliances appropriées.

- à long terme, les technologies développées selon l'approche *bottom-up* (composants, systèmes moléculaires réalisés à partir de la manipulation des atomes et molécules). Si la visibilité du marché qui devrait concerner les secteurs des TIC et bio, est aujourd'hui faible, la vigilance s'impose.

## Un NNI français ?

Compte tenu de l'importance que revêtiront les nanotechnologies en termes de compétitivité et de mutations dans de nombreuses branches de la société, il est souhaitable de donner dans ce domaine une impulsion politique forte et durable, à l'exemple de la politique initiée depuis dix ans déjà dans le domaine de la microélectronique.

Dans le domaine des technologies exploratoires, la mise en place d'un grand programme interministériel, que l'on pourrait baptiser NanoTech ou NNI français, impliquant les industriels dans l'élaboration des objectifs et permettant une véritable mise en réseau des compétences d'entreprises et de laboratoires, doté d'une organisation réactive et ouverte, susceptible de drainer des fonds privés, serait propre à assurer au pays une position de premier plan dans le domaine des nano-technologies et de leur mise en œuvre industrielle.

Cette initiative doit être ouverte à des participations internationales, de façon à inciter les meilleurs experts étrangers à y collaborer. Il conviendra également de favoriser les regroupements d'équipes interdisciplinaires et inter organismes au sein d'instituts fédératifs et de promouvoir au sein de fondations le rapprochement entre la recherche publique et la recherche industrielle sur des objectifs à moyen terme.

Dans le domaine de la microélectronique, la poursuite des efforts déjà entrepris, et qui a permis de faire de l'industrie française et européenne dans ce domaine une des premières industries mondiales (ce qui n'était pas le cas il y a dix ans) est primordiale. Outre l'aspect stratégique de cette industrie, le développement de nombre de nanotechnologies utilise les outils de la microélectronique. La perte de la maîtrise technologique durement acquise dans ce domaine, outre le gâchis qu'elle représenterait pour nombre d'acteurs français et européens, mettrait gravement en péril les développements des nanotechnologies. Loin de s'opposer, les thématiques dans ces domaines se complètent, et s'appuient sur la compétence fonda-

mentale qui les anime : la compréhension fondamentale de la matière aux échelles nanométriques. C'est cet acquis qu'il faut conserver. ●