



# Stratégie nationale de recherche et d'innovation 2009

Rapport du groupe de travail  
**Sciences et technologies innovantes autour de la  
matière et des matériaux**



# RESUME

C'est à l'échelle du nanomètre que la matière révèle des propriétés physiques, chimiques, biologiques différentes, ouvrant la voie à des applications répondant aux défis sociétaux (énergie, développement durable, santé, sécurité...) et à la conception de produits dont le potentiel d'innovation est un enjeu stratégique mondial.

Le domaine *Matière et Matériaux* est donc abordé sous l'angle volontairement restreint des **nanosciences** (manipulation et contrôle de la matière à des échelles de quelques centaines à quelques milliers d'atomes pour aboutir à des phénomènes scientifiques nouveaux) et des **nanotechnologies** : elles élaborent des matériaux présentant des propriétés nouvelles (**nanomatériaux**) et préparent la diffusion des connaissances scientifiques en technologies exploitables par le monde industriel, dans les secteurs clés de la construction, de la mécanique et du textile, des communications, de l'industrie aéronautique et spatiale, de l'énergie durable, de la santé et de l'électronique (**nanoélectronique**).

L'ampleur des bouleversements potentiels causés par l'entrée dans le « nanomonde », des bénéfiques qui en découleront (en particulier sur le plan environnemental), mais aussi des risques potentiels dont il faut prendre la mesure pour mieux les maîtriser, justifie un débat national organisé par la Commission du débat public selon les préconisations du Grenelle de l'Environnement.

Dans ce secteur, parmi les plus prometteurs du début du XXI<sup>e</sup> siècle, la France possède d'incontestables atouts mais ils doivent être consolidés, notamment dans une perspective de déploiement au plan européen, et améliorés pour faire face à la concurrence mondiale et faire de ce secteur un des outils pour la sortie de crise.

## **Objectif 1 : Repousser les frontières de la connaissance, anticiper les ruptures technologiques et faire face aux défis scientifiques à travers le prisme des nanosciences et nanotechnologies**

- *Préparer la micro-nanoélectronique du futur.* Quatre axes de recherche fondamentale et technologique sont décisifs : le développement de solutions pour dépasser les limites de la technologie CMOS<sup>1</sup> actuelle, la révolution des objets intelligents, l'électronique hybride et l'intégration matériel/logiciel particulièrement importante pour le développement des systèmes embarqués. Ces recherches nécessiteront une coordination qui regroupe les représentants des industriels et du monde académique.
- *Tirer parti du formidable potentiel des micro et nanotechnologies en santé,* grâce à des interactions fortes entre mondes de la physique, de la chimie, des STIC, de la biologie et de la clinique, en renforçant la recherche de base aux interfaces, pour rapprocher ces sciences et technologies des patients.
- *Développer à partir des micro et nanotechnologies de nouvelles métrologies ultrasensibles au service de la biologie* en lien avec les grands enjeux des sciences du vivant à l'ère post-génomique : compréhension du fonctionnement de la cellule à l'échelle nanométrique; convergence avec la biologie des systèmes.
- *Focaliser le développement des nanomatériaux innovants et des nanotechnologies* sur des champs d'application à forts enjeux sociétaux : énergie (énergie durable), environnement, diminution de l'empreinte écologique des matériaux. Le consensus des scientifiques et des

---

<sup>1</sup> CMOS : filière standard à base de transistors Métal-Oxide- Semiconducteur

industriels doit être recherché autour des feuilles de route qui serviront de base à la programmation du domaine.

- *Créer et maintenir une très grande infrastructure* de recherche du meilleur niveau international ouverte à la fois aux chercheurs et aux industriels, autour de grandes et petites plates-formes d'équipements, de fabrication et d'instrumentation.

### **Objectif 2 : Stimuler l'innovation en nanotechnologies**

- *Favoriser le développement d'une politique de soutien aux PME et aux jeunes pousses du domaine* en prenant en considération le coût important des investissements spécifiques à ce secteur. Sont à explorer : l'allongement de la durée d'incubation, l'adaptation des procédures d'attribution des contrats (ANR, OSEO), une politique d'acquisition de brevets qui leur soit plus favorable, ou encore l'ouverture plus large des infrastructures publiques de recherche.
- *Développer une culture de la prospective et de la mobilisation coordonnée autour de ces sujets (prospective scientifique, feuilles de routes et agendas stratégiques)*. L'objectif est d'établir des priorités au sein d'écosystèmes favorables partagées par un ensemble d'acteurs académiques et industriels sur un défi irriguant de nombreux secteurs industriels.
- *Accompagner sur des cycles pluriannuels court, moyen et long terme les innovations majeures*, en particulier dans la nanoélectronique. Cette visibilité est essentielle au regard des investissements requis, tant sur le plan financier qu'humain, et de l'implication de tous les acteurs concernés, dont les industriels et la recherche publique.
- *Favoriser l'émergence et le développement de grands centres d'intégration technologique (nanoInnov)*, cohérents avec les forces industrielles territoriales afin de renforcer la compétitivité industrielle française grâce aux nanotechnologies.

### **Objectif 3 : Répondre aux questions sociétales, notamment celles liées à l'analyse bénéfiques/risques potentiels des nanomatériaux**

- *Prendre en compte les préconisations du Grenelle de l'environnement* sur le développement d'éco-technologies en stimulant l'utilisation des possibilités offertes par les nanosciences et les nanotechnologies dans ce domaine.
- *Coordonner au plan national la recherche sur l'étude et la maîtrise d'impacts éventuels des nanotechnologies* sur les aspects suivants :
  - *Caractérisation, détection, traçabilité et toxicologie* des nanomatériaux.
  - *Impact potentiel des nanomatériaux sur l'environnement* : écotoxicologie, cycle de vie, procédés sûrs de fabrication, récupération et gestion des déchets.
  - *Renforcer la base scientifique permettant de définir le bon niveau des mesures de prévention*, lorsqu'elles sont nécessaires, pour la sécurité du personnel, du public et de l'environnement.
  - *Favoriser le débat national entre les acteurs des nanotechnologies et le public* pour évaluer dans les différents secteurs les bénéfices et les risques résultant de leur production et leur utilisation.

### **Objectif 4 : Promouvoir l'innovation par le mouvement des hommes, la formation et l'interdisciplinarité.**

- *Favoriser la mobilité bi-directionnelle* des chercheurs et enseignants-chercheurs entre le laboratoire et l'entreprise.
- *Développer la formation à la culture de projet et à la prise de risques afin de* prendre en compte la dimension entrepreneuriale et favoriser la création de jeunes pousses dans ce domaine. Des ateliers de création d'entreprise et de gestion de projets industriels devraient compléter les formations au niveau des Masters.
- *Favoriser l'avènement de projets pluridisciplinaires* (biologie, physique, chimie et électronique etc..), aussi bien au sein des organismes et des programmes de recherche que dans les divers systèmes de formation.
- *Favoriser l'employabilité des docteurs* en leur donnant accès tout au long de leur formation aux meilleurs outils pour qu'ils puissent fabriquer, caractériser, modéliser les objets de leur recherche.



# SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION : PERIMETRE, ENJEUX .....</b>	<b>1</b>
1.1	LE DEFI ET SES ENJEUX .....	1
1.2	LES COMPOSANTES DU DEFI.....	2
1.2.1	<i>Nanosciences et nanotechnologies</i> .....	2
1.2.2	<i>Caractérisation de la matière</i> .....	2
1.2.3	<i>Matériaux innovants</i> .....	3
1.2.4	<i>Micro/nanotechnologies et sciences du vivant</i> .....	4
1.2.5	<i>L'électronique et les disciplines associées</i> .....	4
<b>2</b>	<b>CARACTERISATION ET ANALYSE DE LA SITUATION DE LA FRANCE SUR LE DEFI.....</b>	<b>5</b>
2.1	SYNTHESE DU DIAGNOSTIC.....	5
2.2	ANALYSE SWOT (FORCES, FAIBLESSES, OPPORTUNITES, MENACES).....	8
2.3	ELEMENTS DE PROSPECTIVE .....	10
<b>3</b>	<b>L'ANALYSE STRATEGIQUE .....</b>	<b>12</b>
3.1	SAVOIR DETECTER ET VALORISER LES INNOVATIONS MAJEURES .....	12
3.2	GARDER NOTRE AVANCE EN MICROELECTRONIQUE AU CŒUR DU SYSTEME EUROPEEN D'INNOVATION .....	12
3.3	FAIRE DE NOS FORCES EN NANOSCIENCES UN REEL AVANTAGE POUR L'INNOVATION	13
3.4	PROMOUVOIR UNE POLITIQUE DE BREVETS TRES INCITATIVE ET DE SOUTIEN AUX JEUNES-POUSSES ET A LEUR CROISSANCE .....	13
3.5	ADAPTER L'OFFRE DE FORMATION AUX ENJEUX A VENIR .....	13
3.6	REPENDRE AUX QUESTIONS SOCIETALES, NOTAMMENT CELLES LIEES A L'ANALYSE BENEFICES/RISQUES POTENTIELS POUR LES NANOMATERIAUX .....	14
3.7	METTRE EN COHERENCE LES EFFORTS ET ELABORER DES FEUILLES DE ROUTE ET DES AGENDAS STRATEGIQUES .....	14
	<b>ANNEXE 1 - CARTE DES CENTRALES DE NANOTECHNOLOGIES .....</b>	<b>15</b>
	<b>ANNEXE 2 - COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL .....</b>	<b>17</b>



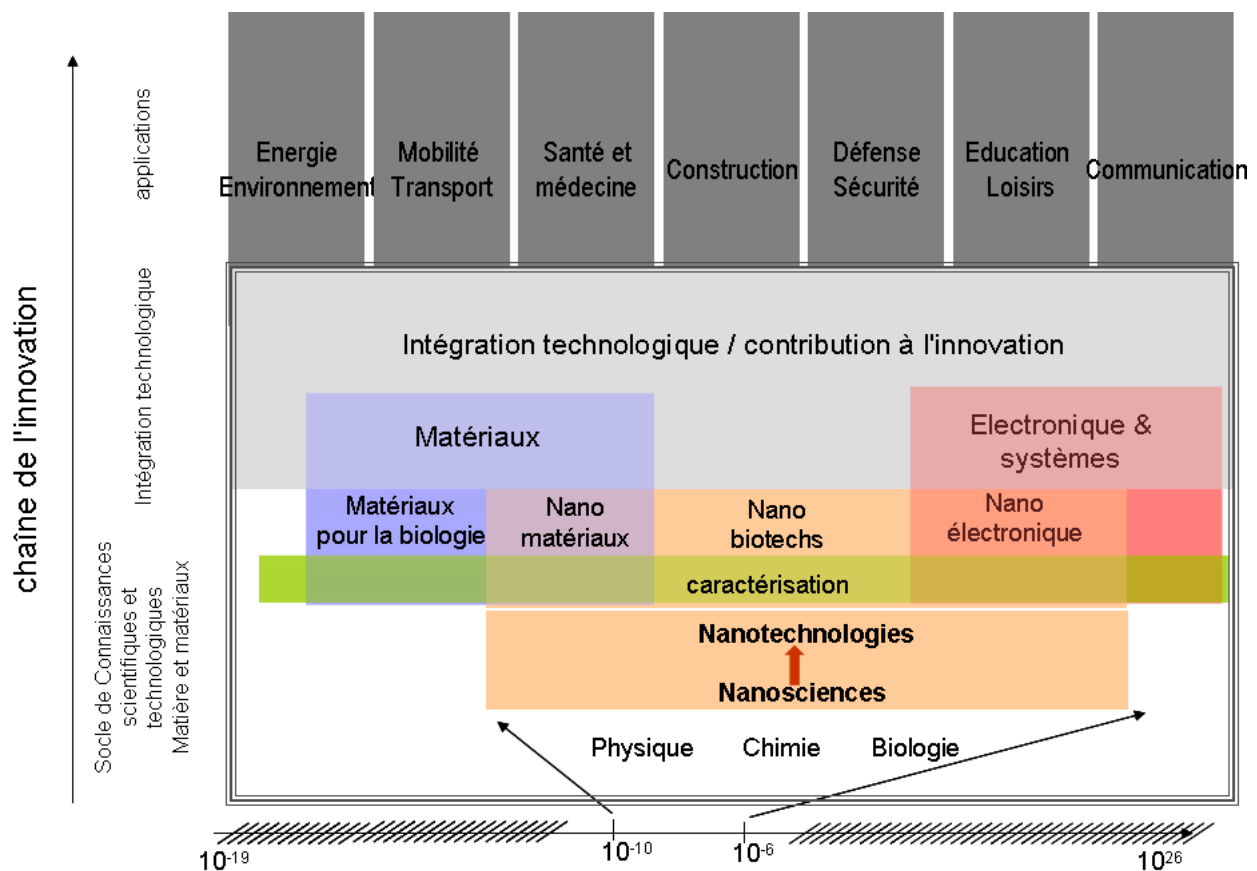


# 1 INTRODUCTION : PERIMETRE, ENJEUX

Ce chapitre considère des sciences et technologies diffusantes qui étudient ou manipulent la matière à l'échelle atomique, entre 1 nanomètre (nm) et 100 nanomètres. A cette échelle, les propriétés physico-chimiques classiques et quantiques coexistent dans bien des cas et ouvrent la voie à de nouvelles applications d'intérêt scientifique et industriel en remettant en cause les méthodologies et les techniques utilisées à une échelle moins réduite. *Les nanosciences et les nanotechnologies* constituent l'un des domaines de développement scientifique et technologique les plus prometteurs du début du XXI<sup>ème</sup> siècle.

## 1.1 Le défi et ses enjeux

Le périmètre concerné par ce défi est matérialisé par la figure ci-dessous.



Ce périmètre, volontairement limité, présente l'avantage de la cohérence et préserve de riches potentialités scientifiques et industrielles. Ce défi intéresse des sciences et technologies innovantes et diffusantes, construites sur un socle de connaissances disciplinaires (physique, chimie et biologie) et organisées en quatre domaines :

1. les nanosciences et nanotechnologies qui préparent la diffusion des connaissances scientifiques en technologies exploitables par le monde industriel. Trois domaines clés s'en dégagent : les nanomatériaux, la nanobiotechnologie et la nanoélectronique ;
2. la caractérisation de la matière et des matériaux ;
3. la fabrication de matériaux et dispositifs innovants dans les secteurs clés de l'automobile, la communication, l'industrie spatiale, l'énergie durable ou la santé ;

4. la nanoélectronique qui est l'axe essentiel de progrès pour l'électronique, les systèmes et les technologies de l'information.

Par leur potentiel d'innovation, ces domaines sont aujourd'hui des enjeux stratégiques dans les pays en pointe technologique (Etats-Unis, Japon, Allemagne). Il en va de même pour plusieurs pays émergents (Corée, Taiwan) et pour les nouveaux géants industriels, l'Inde et la Chine.

## **1.2 Les composantes du défi**

### **1.2.1 Nanosciences et nanotechnologies**

Les nanosciences et nanotechnologies s'intéressent à la même échelle physique, et par conséquent partagent et développent des outils communs. Elles n'en ont pas moins des finalités distinctes. Les nanosciences requièrent la manipulation et le contrôle de la matière pour élaborer des objets de laboratoire permettant la mise en évidence et l'étude de phénomènes scientifiques nouveaux. Les nanotechnologies visent à formaliser des concepts et des savoir-faire permettant d'élaborer des matériaux ou des systèmes dont la fonctionnalité répond à un besoin particulier, en vue d'une application identifiée. De ce fait, elles se préoccupent également des procédés de mise en œuvre pour la fabrication de masse, et de l'impact qu'aura le produit développé sur le marché.

Nanosciences et nanotechnologies sont indissociables pour le développement des matériaux du futur. La France possède des atouts indéniables dans ces domaines et tant l'intérêt fondamental que les enjeux technologiques associés justifient le regroupement des forces sur le plan national et une collaboration active entre physiciens, chimistes et biologistes, ainsi qu'entre concepteurs, fabricants et utilisateurs. Une telle mise en commun des forces est essentielle pour explorer et développer en particulier trois domaines :

- la nanoélectronique qui ouvre de nouvelles perspectives scientifiques à partir d'effets physiques peu exploités jusqu'à récemment (électronique quantique, électronique moléculaire, spintronique, nanophotonique, ...). De nouvelles opportunités en résultent, technologiques (électronique basse consommation) et applicatives (systèmes sur puce, objets communicants) ;
- les nanomatériaux et matériaux structurés à l'échelle nanométrique, présentent des propriétés nouvelles, liées à la taille ou à l'organisation (nanotubes de carbone, fullerènes, ...) ;
- les nanobiotechnologies, à la jonction avec le monde du vivant et de l'inerte, ouvrent la voie à de nombreuses possibilités d'applications, en particulier en biologie, en médecine et en agro-alimentaire.

Les trois domaines s'appuient sur trois compétences transverses essentielles : la nanofabrication et la nanocaractérisation ; la modélisation multi-échelle et multi-physique ; la sécurité et la gestion des risques autour des nanomatériaux.

### **1.2.2 Caractérisation de la matière<sup>2</sup>**

Dans ce domaine, la caractérisation de la matière regroupe des techniques d'observation et d'analyse, propres aux échelles nanométriques, avec en particulier la microscopie électronique ou en champ proche, l'imagerie, la spectroscopie basée sur l'interaction entre rayonnement et matière. Cette caractérisation est indispensable dans les domaines suivants :

- l'étude de la structuration des matériaux élaborés, par exemple, par lithographie et irradiation ou par auto-assemblage moléculaire ;

---

<sup>2</sup> La caractérisation fonctionnelle de dispositifs ou systèmes n'est pas détaillée ici. Elle est intégrée dans l'analyse faite du domaine de l'électronique.

- la caractérisation des matériaux innovants aux propriétés remarquables : matériaux composites, matériaux pour l'énergie, nanomédicaments...
- l'étude de nouveaux phénomènes à l'échelle atomique et moléculaire (nouveaux catalyseurs, biomécanismes moléculaires et cellulaires);
- l'étude de la tenue des matériaux aux conditions extrêmes : matériaux sous irradiation pour le nucléaire, matériaux pour l'aéronautique et le spatial, matériaux à haute température pour la propulsion.

En couplant les méthodes d'imagerie et de spectroscopie, on accède au lien entre la structure microscopique du matériau et ses différentes propriétés. Qui plus est, la miniaturisation des systèmes va de pair avec des phénomènes physiques aux dynamiques de plus en plus rapides. Les équipements d'observation, utilisant par exemple le rayonnement synchrotron ou les lasers ultra-rapides permettent d'appréhender ces phénomènes.

### 1.2.3 Matériaux innovants

Les matériaux sont à la base d'environ 70% des innovations technologiques, d'après la récente étude de la DGCIS<sup>3</sup>. Ils fondent les performances des composants et des systèmes dans tous les secteurs industriels. L'innovation dans ce domaine se construit sur un large socle de connaissances et concerne la synthèse, les procédés d'élaboration et la mise en œuvre de ces matériaux. La structuration à l'échelle nanométrique permet de plus de concilier des propriétés traditionnellement peu compatibles. Ce potentiel d'innovation concerne les secteurs dits de haute-technologie (santé, électronique, spatial). Mais il irrigue aussi des secteurs plus traditionnels comme la construction (le béton et le verre), la mécanique et le textile.

#### 1. Les matériaux pour l'énergie

Dans le cadre d'un développement durable, l'énergie est un enjeu majeur. Des matériaux et des procédés de fabrication innovants sont en développement dans ce large secteur incluant énergie, transport et bâtiment. L'optimisation des coûts et la réduction de l'empreinte écologique de ces matériaux font également partie de l'enjeu. Citons par exemple :

- les matériaux à fort rendement pour le solaire photovoltaïque, pour la thermoélectricité, les piles à combustible, l'amélioration des batteries et les super-capacités stockant l'énergie électrique<sup>4</sup> ;
- l'amélioration des catalyseurs grâce au rapport surface/volume favorable : pot catalytique, chimie et raffinage des produits pétroliers ;
- les nanomatériaux pour les économies d'énergie dans le secteur de la construction: bâtiment passif grâce aux matériaux à changement de phase; éclairage (LEDs et OLEDs) ; meilleure efficacité énergétique des appareils domestiques, dont l'électronique ;
- les matériaux en conditions extrêmes pour la fission et la fusion thermonucléaire.

<sup>3</sup> DGCIS : direction générale de la compétitivité, de l'industrie et des services. Référence de l'étude : Voir rapport « Nanomatériaux : positionnement des compétences françaises ». Développement et Conseil (novembre 2007)

<sup>4</sup> Dans le domaine du stockage de l'énergie, les nanomatériaux peuvent apporter des avantages de natures variées :

- rendre possible des réactions qui ne le sont pas avec des matériaux massifs
- préparer des matériaux nano-composites minéraux, organiques/minéraux...
- réaliser des structures d'électrodes originales (structures nano-poreuses).

## **2. Les matériaux bio-inspirés :**

Le vivant, dont les éléments de base s'organisent majoritairement à l'échelle nanométrique, peut servir de source d'inspiration pour développer de nouveaux concepts et de nouvelles stratégies dans l'ingénierie des matériaux. La compréhension de l'assemblage de certains systèmes naturels (fil d'araignée, nacre, feuille de lotus par exemple) permet déjà la fabrication de matériaux nouveaux plus performants et à moindre empreinte écologique. La "chimie douce" s'avère incontournable pour une approche "biomimétique" de matériaux sur mesure. De nombreuses applications très innovantes en découlent déjà : textiles, revêtements, adhésifs, photo-catalyse..... L'auto-assemblage de biomolécules est un autre exemple de domaine à fort potentiel de rupture pour le développement de matériaux innovants.

## **3. Les matériaux pour la santé et l'environnement**

Pour la santé, les grands enjeux actuels sont la biocompatibilité « active », les matériaux pour applications diagnostiques et thérapeutiques, les matériaux pour les prothèses.

Dans le domaine de l'environnement les nanomatériaux naturels interviennent dans de très nombreuses applications industrielles, par exemple les composites, les pneus, les ciments, les catalyseurs... Ils contribuent par exemple au traitement des pollutions et à la filtration des eaux à l'aide de membranes nanoporeuses.

### **1.2.4 Micro/nanotechnologies et sciences du vivant**

Les biopuces et les laboratoires sur puces, en fort développement, intègrent et miniaturisent des systèmes d'analyse biologiques essentiels portant sur l'ADN, les protéines ou les cellules. Ainsi les nanotechnologies contribuent à l'exploration et la compréhension du vivant. Par exemple :

- La nano-instrumentation permet d'étudier les interactions moléculaires et cellulaires à une échelle inaccessible par les outils de la biologie conventionnelle.
- Les nanostructures sont utilisées pour transporter des principes actifs, ou en tant que traceurs pour visualiser des phénomènes *in vivo*.
- Les micro et nanotechnologies trouvent de plus en plus d'applications en biologie et en médecine : diagnostic, instrumentation, soins thérapeutiques, aide à la personne, médicament...

### **1.2.5 L'électronique et les disciplines associées**

Le secteur de l'électronique est un moteur d'innovation technologique important. La compétitivité de pans entiers de notre économie dépend de la force des industries nationale et européenne du secteur.

Ce secteur est fortement structuré avec:

- au niveau européen, des « plates-formes technologiques » (ENIAC<sup>5</sup> sur les composants, ARTEMIS sur les systèmes embarqués) et des programmes EUREKA (CATRENE, CELTIC).
- au niveau national, des programmes dédiés de l'ANR (P3N, VERSO), un réseau national des grandes et petites centrales de nanotechnologie, des groupements de recherche du CNRS (C'Nano), des pôles de compétitivité (MINALOGIC, SYSTEM@TIC, SCS,...).

---

<sup>5</sup> ENIAC : plateforme technologique européenne sur la nanoélectronique, ARTEMIS : plateforme technologique européenne sur les systèmes informatiques embarqués, CATRENE : Cluster for Application and Technology Research in Europe on NanoElectronics, CELTIC : Cooperation for a European sustained Leadership in Telecommunications, P3N : programme ANR nanosciences et nanotechnologies, VERSO : programme ANR réseaux du futur et services, GdR : Groupement de recherche CNRS

- un des deux écosystèmes micro-électronique européen de rang mondial implanté à Grenoble-Crolles<sup>6</sup>. Celui-ci bénéficie d'un investissement industriel majeur et d'un soutien financier important de l'Etat, qui permettent une recherche d'excellence couplée à une intégration technologique pertinente et à des formations de haut niveau.

La recherche française est active et reconnue dans ce domaine qui se trouve aujourd'hui face à cinq grands enjeux:

- *La miniaturisation ("More Moore")*<sup>7</sup> qui concerne les technologies de fabrication des circuits intégrés CMOS (matériaux, lithographie, interconnexions) ainsi que l'intégration dans des systèmes de plus en plus complexes.
- *La diversification fonctionnelle ("More than Moore")* qui comprend la conception et l'intégration de systèmes hétérogènes complexes sur puce. Elle comprend aussi la récupération et le stockage de l'énergie pour les objets « intelligents », les communications à ultra-faible puissance, ainsi que des nano-composants électromécaniques. S'y ajoutent la photonique, l'optoélectronique et la micro-fluidique, pour le diagnostic médical par exemple.
- *L'électronique du futur ("Beyond CMOS")* qui traite des dispositifs qui succéderont aux composants CMOS actuels. Il faudra probablement adapter les architectures aux nanodispositifs sans perdre de vue leur efficacité énergétique. Le développement de ces nouveaux composants en rupture par rapport à l'état de l'art actuel constitue une opportunité majeure pour la compétitivité de l'Europe, et de la France en particulier.
- *Les technologies complémentaires* comme l'électronique grande surface incluant le photovoltaïque et/ou l'électronique imprimée, l'électronique sur support souple, les nouveaux dispositifs d'affichage (électronique organique) ou d'émission de lumière (DEL). Les enjeux de ce domaine sont considérables et les défis immédiats.
- *L'interface matériel-logiciel* qui constitue un défi reconnu par les agendas stratégiques des plates-formes technologiques européennes (ENIAC, ARTEMIS ou EPOSS<sup>8</sup>). La complexité des futures applications nécessite une co-conception matérielle/logicielle et un dialogue permanent entre spécialistes architectes de systèmes et informaticiens.

## 2 CARACTERISATION ET ANALYSE DE LA SITUATION DE LA FRANCE SUR LE DEFI

Le positionnement de la France peut s'apprécier grâce aux indicateurs que sont les publications, les brevets, la création de jeunes pousses, la valorisation de la recherche et le transfert de ses résultats vers l'industrie, le financement (public, privé), les moyens mobilisés (humains et matériels), l'efficacité de l'organisation<sup>9</sup>.

### 2.1 Synthèse du diagnostic

#### Une production scientifique de niveau mondial

D'après les données de l'Observatoire des Sciences et Techniques (OST) en 2006, la production scientifique relative aux grandes disciplines scientifiques (physique, chimie, biologie) qui constituent le socle scientifique de ce défi, situe la France à la 4<sup>ème</sup> ou 5<sup>ème</sup> place mondiale derrière les USA, le

<sup>6</sup> ST Microelectronics, IBM, Soitec, LETI-Minatec...

<sup>7</sup> Moore : en référence aux prédictions de Gordon Moore sur l'évolution de l'intégration fonctionnelle des composants électroniques et la puissance des ordinateurs

<sup>8</sup> EPOSS : intégration de systèmes intelligents.

<sup>9</sup> Dans cette première analyse, nous examinons, dans le champ du défi : les publications par disciplines et sur les nanosciences, les brevets nanotechnologies, les programmes nationaux et communautaires, l'organisation mise en place en France

Japon, l'Allemagne, et très proche du Royaume-Uni. D'après les analyses réalisées à partir des données bibliographiques de 1999 à 2004 dans le projet Européen Nanosciencia (ERANET) et des sources japonaises du NISTEP<sup>10</sup>, la France se situe en matière de nanosciences à la 6<sup>ème</sup> position mondiale derrière les USA, le Japon, la Chine, l'Allemagne et le Royaume-Uni. Entre 1998 et 2006, 6% des publications mondiales sur les nanosciences et nanotechnologies ont été produites en France (soit 35600 publications sur un total mondial de 583000<sup>11</sup>).

### **Un dispositif de valorisation technologique qui monte en puissance... mais des résultats encore à améliorer sur le plan des brevets et de la création d'entreprises.**

La France a mis en place un ensemble de dispositifs de soutien à l'innovation : 5 pôles de compétitivité directement concernés par les micro et nanotechnologies et plusieurs instituts Carnot. Néanmoins, en 2005, la France déposait seulement 1,5% des brevets dans le monde et se positionnait derrière des pays tels que la Corée du Sud et Taiwan. On note de plus que le financement de la recherche privée est très inférieur en pourcentage à celui consenti par nos concurrents. Les conditions d'une stratégie de valorisation efficace vers l'industrie ne sont donc pas réunies. Les freins à la création, et surtout au développement, des jeunes pousses seront analysés dans le cadre du défi « Ecosystème de l'Innovation », en comparaison avec les pays les plus dynamiques (Etats-Unis, Canada, Grande-Bretagne, Israël...).

### **Un positionnement inégal dans les programmes de recherche européens**

Dans les programmes-cadres européens de recherche et développement (6<sup>ème</sup> et 7<sup>ème</sup> PCRD : principalement IST-ICT<sup>12</sup> et NMP<sup>13</sup>), la position française est inégale : plutôt forte dans le programme ICT, elle l'est beaucoup moins dans le programme NMP. Les entreprises françaises n'ont pas réussi à s'établir comme coordinateur dans l'appel NMP spécifique aux PME. Ceci contraste avec la bonne performance des laboratoires publics et grandes entreprises sur les champs micro et nanoélectronique.

### **Des dépenses publiques significatives, des programmes variés et relativement larges, mais une structuration variable selon les champs**

#### ● ***Grands instruments de recherche***

La France est bien placée en accueillant sur son sol, à Grenoble, ESRF et ILL<sup>14</sup>, chacun de ces instruments étant leader mondial dans son domaine. Le maintien au meilleur niveau de ces instruments bénéficiera à la réalisation des objectifs du présent défi. L'implantation et la participation aux futurs TGE européens est un enjeu majeur pour la compétitivité française future sur ce défi.

#### ● ***Instrumentation scientifique des laboratoires***

Dans l'instrumentation scientifique qui est utilisée de manière quotidienne par les laboratoires, la situation est contrastée. D'un point de vue général, les laboratoires académiques sont relativement bien équipés mais il est indispensable de se doter des moyens nécessaires au maintien de cet équipement au meilleur niveau pour rester compétitif.

#### ● ***Micro et nanotechnologies : un effort croissant***

En 2008 l'ANR a consacré 83 M€ aux nanosciences et nanotechnologies soit 12,5% du volume de ses appels. La France a par ailleurs mis en place des groupements de recherche C'Nano assurant une mise en réseau des laboratoires et des deux réseaux de centrales technologiques (grandes centrales et centrales de proximité) couvrant l'ensemble du territoire. Les investissements effectués dans ces centrales ont permis de remettre à niveau les équipements indispensables au développement de filières innovantes et adaptés aux besoins industriels. De plus trois réseaux thématiques de recherche avancée

<sup>10</sup> NISTEP : Institut national de politique scientifique et technologique japonais

<sup>11</sup> A. Delemarle, B.Kahane, L.Villard P.Larédo journées nationales nanosciences et nanotechnologies 2008 (J3N)

<sup>12</sup> Programme-cadre européen dans les technologies de la communication

<sup>13</sup> Programme-cadre européen Nanosciences, nanotechnologies, matériaux et nouvelles technologies de production

<sup>14</sup> ESRF : Installation Européenne de Rayonnement Synchrotron. ILL : Institut Laue Langevin.

(RTRA) ont été créés : « Triangle de la Physique » sur le plateau de Saclay en Ile-de-France, « Nanosciences aux limites de la nanoélectronique » à Grenoble, et « Frontières de la Chimie » à Strasbourg. Il faut maintenir cet effort et en développer la valorisation.

En micro-nanotechnologies pour les sciences du vivant, la situation de la France est contrastée avec des forces en recherche (biophysique, bio-micro-fluidique, nanoparticules et vectorisation) mais une faiblesse liée au nombre insuffisant d'industriels en instrumentation biomédicale. Ce marché est actuellement dominé par les Etats-Unis. Mais on voit depuis peu se développer en France de jeunes pousses issues de la recherche, moteur privilégié du développement de l'innovation. Ce mouvement doit être encouragé et les meilleures d'entre elles accompagnées pour les pérenniser au niveau international.

- ***Micro-nanoélectronique : forte structuration nationale et européenne***

La France dispose d'atouts incontestables en électronique:

- une solide recherche de base universitaire.
- un centre de recherche technologique majeur en microélectronique (CEA-LETI<sup>15</sup>), contribuant entre autres au programme collaboratif sur le CMOS avancé entre STMicroelectronics et IBM.
- un investissement public et privé considérable (supérieur à 1 milliard d'euros) avec un fort soutien de l'Etat et des collectivités.

Grâce aux centrales technologiques (voir carte en annexe), des programmes de R&D partenariaux efficaces ont pu se développer. En Europe, seul le site de Dresde en Allemagne est comparable en termes de bassin d'emploi et de collaboration entre partenaires académiques et industriels. La France possède en outre un leadership européen sur le marché des composants pour systèmes embarqués (ST Microelectronic, THALES, SAFRAN). Elle est donc en position de faire évoluer le contenu de la stratégie de recherche européenne en électronique et dans le domaine de l'interface matériel-logiciel, à travers les programmes européens (ENIAC, CATRENE, ARTEMIS et EPOSS) et une association des industriels européens (ESIA).

- ***Matériaux innovants***

C'est un large domaine interdisciplinaire (mécanique, chimie, biologie) avec une collaboration étroite entre laboratoires académiques et industriels. Malgré la forte incitation de partenariat et de transfert soutenue par l'ANR, la structuration est difficile à mettre en place compte-tenu de la diversité des thématiques et des produits. La France dispose pourtant d'acteurs clés dans le domaine des transports (automobile et aéronautique), de l'énergie (nucléaire, fossiles et énergies renouvelables) ou du bâtiment (béton, verre), ainsi que de pôles de compétitivité significatifs.

---

<sup>15</sup> LETI : laboratoire d'électronique et de technologie de l'information du CEA.

## 2.2 Analyse SWOT (forces, faiblesses, opportunités, menaces)

<i>Forces</i>	<i>Faiblesses</i>
<b><i>Système de recherche, production scientifique</i></b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Production scientifique de niveau mondial, Prix Nobel récents en physique quantique et nano-magnétisme.</li> <li>• Priorité de recherche des organismes CNRS et CEA (nanosciences et nanotechnologies, électronique, nanomatériaux, interaction rayonnement - matière).</li> <li>• Des infrastructures nationales et européennes (la France est attractive)</li> <li>• Depuis 2003, bonne structuration nationale de la recherche en micro et nanotechnologies (RTB, GDRs, C'nano, RTRA).</li> <li>• Investissements importants de mise à niveau réalisés dans les grandes et petites centrales de micro et nanotechnologies.</li> <li>• Recherches prometteuses en nanobiotechnologies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Communauté universitaire utilisant l'interaction rayonnement - matière en décroissance.</li> <li>• Manque d'interactions avec la communauté des concepteurs et des informaticiens.</li> <li>• Difficulté dans la mise en oeuvre d'une stratégie matériaux cohérente et coordonnée.</li> <li>• Dispersion encore forte du potentiel « nano » en Ile de France</li> <li>• Prise en charge insuffisantes des processus REACH, notamment en « nano »</li> </ul>
<b><i>Système de Formation</i></b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Une offre de formation dans le champ du défi ouverte sur l'Europe.</li> <li>• Existence d'une coordination nationale pour la formation en micro et nanoélectronique (CNFM).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminution du nombre des étudiants en sciences dures.</li> <li>• Trop peu de formations sur certaines spécialités (microscopistes ou en nanofabrication par exemple).</li> <li>• Anticipation des besoins industriels insuffisante.</li> <li>• Manque de formations interdisciplinaires adaptées aux nanosciences</li> </ul>
<b><i>International et Europe</i></b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coordination européenne des infrastructures (ESFRI).</li> <li>• Programmes/plateformes européens (ENIAC, AENEAS, CATRENE...).</li> <li>• Micro-électronique bien placée dans les programmes coopératifs.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fragmentation de la R&amp;D en électronique.</li> <li>• Nanosciences et nanotechnologies : implication insuffisante des industriels et des laboratoires académiques français dans les programmes Européens</li> </ul>
<b><i>Valorisation et transfert</i></b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• En France, 4 pôles mondiaux de compétitivité et 5 instituts Carnot sont dédiés aux micro et nanotechnologies.</li> <li>• Grands industriels leaders de secteurs capables d'intégrer les nanotechnologies dans leur offre en particulier micro et nanoélectronique.</li> <li>• Dispositif Crédit d'Impôt Recherche attractif.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trop peu de dépôts de brevets.</li> <li>• Système de protection intellectuelle européen peu compétitif par rapport aux USA et à l'Asie.</li> <li>• Articulation recherche-innovation à renforcer.</li> <li>• Faible mobilité des chercheurs entre public et privé (dans les deux sens).</li> <li>• Peu d'industriels français impliqués dans l'instrumentation.</li> <li>• Manque d'implication des PME françaises dans les programmes de recherche coopératifs « nanos ».</li> <li>• Centres d'intégration des nanotechnologies encore insuffisamment nombreux.</li> </ul>



<i>Opportunités</i>	<i>Menaces</i>
<b><i>Les Grands Enjeux</i></b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contribution aux défis économiques et sociétaux: développement durable, ressources, énergie, santé, environnement, information, sécurité.</li> <li>• Amélioration incrémentale de la compétitivité des entreprises par l'utilisation des nanosciences et des nanotechnologies.</li> <li>• Utiliser les ruptures technologiques pour se positionner en leader: rupture probable en fin de la feuille de route microélectronique, et apport possible de technologies complémentaires.</li> <li>• Besoin d'une nouvelle électronique, induit par le développement d'éco-technologies.</li> <li>• Perspective d'une médecine personnalisée s'appuyant sur les nanotechnologies.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concurrence forte en Europe, aux USA et surtout en Asie.</li> <li>• Difficulté à faire croître les PME innovantes au delà d'une certaine taille critique en France.</li> <li>• Perte d'attractivité des disciplines de base (étudiants, chercheurs): physique, chimie, mathématiques, biologie, informatique. Risque de perte du ressourcement scientifique.</li> </ul>
<b><i>Système de formation</i></b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Renforcement de formations pluridisciplinaires.</li> <li>• Intérêt croissant des entreprises, des organismes de formations professionnelles autour des nanotechnologies.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Complexité et illisibilité du système de formation, actuellement peu attractif pour les meilleurs étudiants du monde.</li> <li>• Compétition d'autres pays ayant des offres de formation plus attrayantes.</li> </ul>
<b><i>International et Europe</i></b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construction de l'Espace Européen de la Recherche</li> <li>• Visibilité des universités améliorée au plan mondial par le plan Campus.</li> <li>• Nanosciences et nanotechnologies: une priorité affichée de la recherche pour l'Europe.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Montée en puissance de la Chine, de la Corée, du Brésil, de l'Inde, de la Russie.</li> <li>• Risque de perte de savoir faire et de sites industriels du fait de la séparation en une zone 'Fabless' incluant l'Europe, et l'Asie où serait concentré l'essentiel des moyens de production.</li> </ul>
<b><i>Valorisation</i></b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des industriels français et européens demandeurs de nanotechnologies.</li> <li>• Développement de réseaux d'infrastructures de recherche au plan européen: opportunités pour les industriels et les laboratoires académiques.</li> <li>• Développement d'écosystèmes de recherche permettant une valorisation efficace (à l'exemple de Saclay et Grenoble)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Absence de formation par la recherche (thèse) de la grande majorité des ingénieurs français, pouvant accroître le risque de perdre l'opportunité d'exploiter d'éventuelles ruptures scientifiques.</li> <li>• Concurrence exacerbée par le manque de culture entrepreneuriale chez les étudiants et les chercheurs.</li> <li>• Manque de capitaux-développeurs assumant l'importance spécifique des investissements dans les hautes technologies et des infrastructures nécessaires pour le passage en production.</li> </ul>
<b><i>Impact sociétal et industrie</i></b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des besoins sociétaux bien identifiés.</li> <li>• Technologies diffusantes, potentiellement à l'origine de nombreuses innovations industrielles.</li> <li>• Développement responsable autour des nanotechnologies.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crainte d'utilisation abusive en contradiction avec le respect de la vie privée.</li> <li>• Insuffisance de présence des experts français dans les comités de normalisation [privé et public]</li> <li>• Redynamisation indispensable de la toxicologie et de l'écotoxicologie</li> </ul>

## 2.3 **Eléments de prospective**

Que ce soit sur le plan des connaissances scientifiques et techniques ou de leur intégration dans la chaîne de l'innovation, on peut distinguer :

### **Des connaissances à développer dans les domaines à fort potentiel fondamental et appliqué**

Plusieurs de ces domaines sont susceptibles de connaître une avancée majeure pouvant amener une rupture technologique :

- Développement de nouveaux nanomatériaux (méta-matériaux, nanoparticules fonctionnalisées) et des procédés d'élaboration associés, en particulier en vue de la sobriété énergétique (cf. Défi Energie).
- Meilleure maîtrise des systèmes complexes, avec des applications à la matière condensée, et aux systèmes hors d'équilibre. Développement de la simulation numérique associée à la synthèse de matériaux et à leur caractérisation.
- Développement d'une ingénierie quantique et de spin qui impactera à terme le domaine des technologies de l'information et de la communication (TIC).
- Développement de matériaux hybrides et bio-inspirés (multi)fonctionnels par la « chimie douce », la chimie « verte » et la chimie intégrative
- Utilisation des nanosciences pour une meilleure compréhension du fonctionnement de la cellule, de la convergence entre biologie des systèmes (génomique post génome, biologie synthétique ...) et micro-nanosystèmes (bio-micro-fluidique et « laboratoire sur puce ») et de la médecine moléculaire<sup>16</sup> et translationnelle<sup>17</sup>.

La capacité du système français de recherche devrait être améliorée, pour détecter précocement ces ruptures, et accompagner leurs développements avec des moyens sur une durée suffisante.

### **Un besoin d'outils de recherche de pointe compétitifs**

L'efficacité des outils de recherche avancée est très directement gouvernée par les avancées technologiques. Rester compétitif suppose donc une capacité à développer et intégrer continuellement les nouveaux outils de recherche. On peut citer à titre d'exemple :

- Les centrales de nanosciences et de nanotechnologies
- L'émergence de techniques de caractérisation et d'imagerie haute résolution sur toute la gamme spectrale. Exemple : spectroscopie très haute résolution et dynamique rapide, accélération de particules par laser.
- Le calcul haute performance et les outils avancés de simulation et de modélisation.

### **Les nanotechnologies : un moteur d'innovation incontestable**

La compétition s'accélère en phase de prématurité avec une domination américaine marquée<sup>18</sup>. L'industrie se consolide. Les jeunes pousses commencent à vendre des produits à des coûts acceptables par le marché. Les vrais clients sont les industriels intégrateurs (pharmacie, aéronautique, automobile, communication...). Dans cet environnement, l'électronique a tracé une certaine voie : la

<sup>16</sup> Le contexte est particulièrement favorable aux ruptures : on assiste à un changement de paradigme des sciences médicales qui s'attachent à étudier et à décrire les maladies au niveau moléculaire (gène ou protéine) et non plus seulement anatomique et clinique. Les nanotechnologies permettent d'accéder plus facilement à cette échelle, et participent à cette évolution, déjà source de progrès considérable dans la connaissance et le traitement de certains cancers.

<sup>17</sup> La médecine translationnelle est une approche innovante de la mise au point de nouveaux médicaments et traitements qui centre la recherche sur de nouveaux tests pour le diagnostic et la surveillance des maladies humaines.

<sup>18</sup> Cf analyse de Lux Research sur les domaines couverts par les brevets US.

nanoélectronique s'intègre à présent dans les stratégies industrielles, des composants aux systèmes complexes, grâce à l'effort d'investissement sur les plates-formes technologiques, à l'intégration effective des innovations chez les industriels et au renforcement des liens entre l'entreprise et les universités.

Des centres nationaux d'intégration des nanotechnologies, regroupés au sein de l'Alliance nanoInnov, allant des matériaux aux composants et systèmes, visant à transformer les découvertes académiques en technologies industriellement viables en développant la recherche technologique, sont indispensables pour relever les défis majeurs de l'électronique, de l'énergie renouvelable, du véhicule propre et de la santé, en lien avec les industriels français des secteurs concernés. Facilitateurs du transfert technologique, ils devront permettre l'intégration des avancées des laboratoires et servir les demandes des industriels. Les nanotechnologies doivent être promues au rang d'outils de sortie de crise

### **L'intégration matériel / logiciel : un défi pour les systèmes embarqués**

Une rupture majeure concernant l'électronique est liée à l'explosion prévisible du marché des systèmes embarqués, dominé par l'Europe, aussi bien pour les objets nomades que dans les véhicules. Il faudra combiner la maîtrise des architectures matérielles et logicielles dès la conception en levant deux verrous :

- la mise en place d'une infrastructure logicielle pour les réseaux de capteurs-actionneurs intelligents, programmables et autonomes.
- la conception d'architectures matérielles massivement parallèles, multi-cœurs et multitâches, avec une forte puissance de calcul et une faible consommation.

Cette évolution est une priorité des plates-formes européennes ENIAC et ARTEMIS. La France est au cœur de cette rupture majeure (STMicroelectronics allié à IBM et au CEA-LETI).

Pour maintenir cette avance et la compétitivité des industriels français et européens dans les systèmes embarqués, il est indispensable de développer une recherche intégrée matériel/logiciel.

### **Une évolution de la micro - nanoélectronique à préparer**

Le développement de solutions pour dépasser les limites de la technologie CMOS, qui seront atteintes vers 2015, devient indispensable. La microélectronique devra s'appuyer sur l'utilisation d'effets physiques (électronique de spin, états quantiques) susceptibles de se traduire par une rupture similaire à celle des dispositifs à l'état solide remplaçant les tubes à vide.

Les instances françaises et européennes agissent sur ce plan de façon encore peu coordonnée. Une concertation analogue à celle qui a été mise en place aux Etats-Unis, et qui regroupe les représentants des industriels et du monde académique, s'avère donc indispensable.

### **Répondre aux enjeux sociétaux**

Le développement de communautés de recherche autour d'enjeux sociétaux (environnement, énergie, interface avec santé et médecine notamment) est à encourager. Par exemple, les micro- et nanotechnologies peuvent jouer un rôle majeur pour améliorer l'efficacité des systèmes de soin et de suivi, leur décentralisation et l'autonomie des personnes ou encore favoriser l'émergence d'éco-technologies.

De même sont à prendre en compte le questionnement pérenne sur le lien entre nanoscience, nanotechnologie et société (une idée du progrès qui est remise en cause) et les questionnements légitimes sur l'acceptabilité sociétale de ces technologies. **Le débat public autour des nanosciences**

**et nanotechnologies** constituera un élément important dans ce domaine pour prendre en compte au bon niveau les inquiétudes qui apparaissent souvent face aux grandes évolutions scientifiques et techniques et répondre aux questionnements sociétaux à propos de certaines applications de ces nouvelles technologies.

### 3 L'ANALYSE STRATEGIQUE

#### 3.1 *Savoir détecter et valoriser les innovations majeures*

La qualité du système de recherche français est avérée par toutes les analyses, ainsi que par les prix Nobel dans le champ de ce défi (A. Fert, J.M. Lehn, C. Cohen-Tannoudji, P. G. de Gennes, ....). La France est donc bien placée pour s'engager sur les nouveaux domaines émergents, dont l'impact industriel est pressenti comme fort à moyen et long terme. Les outils actuels ne facilitent pas la détection de ces « pépites d'innovation », ni la mobilisation coordonnée d'une masse critique de chercheurs et technologues (publics et privés) sur une durée suffisante. Cette mobilisation est nécessaire pour aboutir à une valorisation efficace aboutissant à une activité industrielle significative.

Plusieurs changements s'avèrent nécessaires :

- La généralisation d'une culture et d'une pratique de la prospective et de l'évaluation, au plus près des acteurs de terrain,
- La capacité de faire des choix scientifiques et techniques, et de mettre en place des outils de coordination pour exploiter les opportunités,
- La mise en place d'actions de recherche et d'innovation dans la durée avec des modalités appropriées pour des projets risqués à fort potentiel.

Ceci suppose un rôle proactif des organismes en lien avec des agences de moyens. Des exemples étrangers pourraient être utilement transposés<sup>19</sup>. Ce levier d'action français doit naturellement être d'ores et déjà conçu dans une perspective européenne. Le Grenelle de l'environnement a fait apparaître également des opportunités de développement de technologies liées à l'environnement comme moteur de croissance. Ces opportunités devront être saisies.

#### 3.2 *Garder notre avance en microélectronique au cœur du système européen d'innovation*

Il est fondamental de conserver sur notre sol une capacité de fabrication industrielle pour garantir notre indépendance technologique, la compétitivité des entreprises et préserver une recherche d'excellence. Il est nécessaire de préparer efficacement l'après feuille de route du CMOS par la mise en place d'un programme national de recherche structuré en deux phases :

- Phase 1 : "**100 graines pour l'avenir**" pour imaginer et démontrer les possibilités de véritables ruptures scientifiques et technologiques,
- Phase 2 : "**Cultivons les meilleures graines**" qui focalisera des ressources importantes sur les dispositifs ou architectures les plus prometteurs.

Pour les démonstrations de faisabilité et la validation des concepts de recherche avancée, tant des chercheurs académiques que des PME, il conviendra de sécuriser les initiatives de recherche

---

<sup>19</sup> Document FUTURIS, Janvier 2009 : Orientation nationale des politiques publiques de RDI  
SNRI 2009 – Rapport du groupe de travail « sciences et technologies innovantes autour de la matière et des matériaux » 12

technologique qui mettent en jeu les technologies industrielles les plus récentes au service de la recherche et facilitent ainsi le transfert technologique.

### **3.3 Faire de nos forces en nanosciences un réel avantage pour l'innovation**

Pour faire face à la montée rapide de pays comme la Chine ou la Corée du Sud, la France doit renforcer son dispositif de recherche en nanotechnologies de manière à faire bénéficier ses industriels d'avancées majeures pour leur compétitivité. Les instruments du dispositif sont là : recherche amont d'excellence (RTRA<sup>20</sup>, GDR), instituts Carnot, réseaux des centrales de technologies, centres C'nano, formations (Masters en nanoélectronique et nanosciences), qu'il convient de maintenir de façon dynamique et volontariste.

Il s'agit de mettre l'ambition française au niveau des meilleurs standards mondiaux : des écosystèmes d'innovation performants, intégrés dans l'Espace Européen, et donc attractifs pour la recherche et l'industrie. En France, Paris-Sud Saclay, Grenoble et Toulouse sont les 3 sites-clés d'une telle stratégie, le projet nanoInnov, proposée par le Président de la République et lancée le 5 mai 2009 par Mme la Ministre.

Les leviers d'actions de cette stratégie sont :

- un soutien accru, éventuellement sous la forme de fonds dédiés, aux programmes de recherche et d'innovation (organismes, ANR, OSEO...).
- un fonds de valorisation industrielle, destiné à accélérer la transformation des résultats de la recherche et leur transfert vers l'industrie, en particulier vers les PME.
- un investissement accru dans le développement de centres d'intégration des nanotechnologies sur ces trois sites. Cette stratégie devra être complétée par un maillage des principaux laboratoires, coordonnés et en synergie avec les centres d'intégration.

### **3.4 Promouvoir une politique de brevets très incitative et de soutien aux jeunes-pousses et à leur croissance**

Des pratiques incitatives, telles que mises en place chez les industriels et dans certains organismes de recherche, devraient permettre d'augmenter le nombre de brevets dans le secteur des nanotechnologies (nanomatériaux, nanoélectronique, nanobiotechnologies) et de l'électronique. De même, le soutien aux jeunes-pousses et à leur croissance (2<sup>ème</sup> tour financier) doit être amplifié. Ceci doit se conjuguer avec l'allègement voire la suppression de certains freins financiers et réglementaires. L'utilisation des lois existantes pour favoriser la création de jeunes-pousses devrait être renforcée<sup>21</sup>.

### **3.5 Adapter l'offre de formation aux enjeux à venir**

De nombreuses opportunités de recherche et d'innovation émergeront à l'interface entre des disciplines comme la biologie, la physique, la chimie et l'électronique. Il faut favoriser l'avènement de projets pluridisciplinaires, aussi bien au sein des organismes et des programmes de recherche que dans les divers systèmes de formation. Sur le modèle de la coordination nationale en formation micro et nanoélectronique (CNFM), il faudrait mettre en place des formations intégrant ces différentes disciplines. Des cours de création d'entreprise et de gestion de projets industriels devraient compléter ces formations au niveau des Masters.

---

<sup>20</sup> RTRA principalement concernés: Nanosciences, Triangle de la physique, Digitéo, Frontières de la chimie...

<sup>21</sup> Utilisation renforcée de la Loi Allègre de 1999. Elle permet, en particulier, aux universitaires et aux chercheurs de créer une entreprise de type start-up et de déposer des brevets.

### **3.6 Répondre aux questions sociétales, notamment celles liées à l'analyse bénéfiques/risques potentiels pour les nanomatériaux**

Pour répondre à ces questions et participer au débat public sur les nanosciences et les nanotechnologies, de nombreuses initiatives ont été prises par les organismes et les ministères concernés. Leur coordination doit être améliorée et mieux s'interfacer avec les groupes de travail et les actions en place. Les thèmes scientifiques et technologiques principaux sont les suivants :

- Caractérisation, détection, traçabilité et toxicologie des nanomatériaux.
- Etude de l'impact potentiel des nanomatériaux sur l'environnement : écotoxicologie, cycle de vie, procédés sûrs de fabrication, récupération et gestion des déchets.

Sur un plan plus sociétal, il faudra:

- Etudier le perfectionnement éventuel des mesures de prévention pour la sécurité du personnel, du public et de l'environnement. Ceci va de pair avec le renforcement de la participation française, notamment industrielle, aux groupes de normalisation internationaux.
- Permettre au public d'évaluer les bénéfices des nanotechnologies et rester à l'écoute de ses interrogations sur les enjeux juridiques et éthiques qui en relèvent. Lui donner des précisions concernant les risques potentiels et les moyens mis en oeuvre pour mieux les connaître et les contrôler. La sensibilisation aux nanosciences/nanotechnologies pourrait débiter dès le collège et le lycée.

### **3.7 Mettre en cohérence les efforts et élaborer des feuilles de route et des agendas stratégiques**

Sur ce défi particulièrement « diffusant » et donc à fort impact, le développement de visions collectives cohérentes sur les stratégies de recherche est requis pour saisir les opportunités. La microélectronique a su s'appuyer sur une feuille de route structurée tant pour le développement scientifique qu'industriel.

Les plates-formes technologiques Européennes ont également édité des « agendas stratégiques » partagés, permettant la programmation des « initiatives conjointes » (JTI).

Le champ des matériaux innovants en France nécessite une démarche analogue, dans les **domaines qui s'y prêtent**, y compris sur les aspects liés aux procédés innovants et en rupture (nano-fabrication), pour guider les choix à faire sur les matériaux à développer.

# Annexe 1 - carte des centrales de nanotechnologies

## centrales de nanotechnologies



- Grandes centrales de nanotechnologies
- Centrales de nanotechnologies dites de proximité





## Annexe 2 - Composition du groupe de travail

### Animateur du groupe :

Gerard MATHERON, directeur ST Crolles, ST Microelectronics

### Membres du groupe :

Bruno ALLENET, président du pôle de complétitivité, Axelera

Patrick ALNOT, DGRI ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche

Hervé ARRIBART, directeur, SAINT GOBAIN

Dorothee BENOIT-BROWAEYS, Déléguée générale, VIVAGORA

Jean-yves BOTTERO, directeur CNRS, CEREGE

Philippe BOURGOIN, Responsable programme nanosciences, CEA

Michel CALLON, EMP/sciences Po

Alain CAPPY, directeur IEMN, CNRS/université de Lille

Dominique CHANDESRIS, directrice adjointe MPPU, CNRS

Françoise CHARBIT, Responsable prospective, CEA

Denis COHEN-TANNOUDJI, directeur R&D Disruptives, Essilor International

Christian COLLETTE, directeur R&D, ARKEMA

Vincent CROQUETTE, directeur CNRS, ENS/Labo Physique Statistique

Anne DE GUIBERT, directrice de la recherche, SAFT

Bertrand DEMOTES-MAINARD, directeur du centre de recherche Thales Research & Technology de Palaiseau, THALES

Marc DRILLON, directeur IPCMS Strasbourg, CNRS/ULP

Patrick FALCONE, ministère de l'agriculture et de la pêche

Nayla FAROUKI, conseiller scientifique, CEA

Alain FONTAINE, directeur Institut Neel/CNANO, CNRS/Neel

Olivier HOMOLLE, directeur, BASF France

olivier JOUBERT, directeur PTA, CNRS/UJF

Claude LAMBRE, ministère de la santé, de la jeunesse, des sports et de la vie associative

Louis LAURENT, chargé de mission Fondation digiteo, CEA/DSM

Nicolas LETERRIER, directeur MINALOGIC, Minalogic

Laurent LEVY, Vice-président, NANOBIOTIX

Annick LOISEAU, directrice ONERA, ONERA

Jacques LUKASIK, directeur R&D, LAFARGE

Pascal MAIGNE, ministère de la défense

Jean-yves MARZIN, directeur LPN Marcoussis, CNRS/LPN

Philippe MARZOLF, Vice-président, Commission du débat Public

Philippe MASCLET, ministère de la défense

Jacques RAYNAUD, président, Association pour la recherche sur le cancer

Antoine SERAL, Direction des affaires publiques, MICHELIN

Louis TREPIED, ministère de l'économie, de l'industrie et de l'emploi

Nicolas VUKADINOVIC, Adjoint au directeur de la stratégie scientifique, Dassault AVIATION

Claude WEISBUCH, directeur scientifique, GENEWAVE